TC-882

CIDA/BRACCENTRE

З А Й Ц Е В

Рисовая оросительная система

ТС-882

В. Б. Зайцев,
кандидат сельскохозяйственных наук

Рисовая оросительная система

(Основные принципы проектирования и эксплуатации)

Издательство
„КОЛОС"
Москва — 1964

304

От издательства

Специфические условия орошения риса, связанные с созданием слоя затопления на поверхности почвы, накладывают отпечаток на все устройства рисовых оросительных систем.

В настоящей работе рассмотрены методы проектирования и эксплуатации рисовых оросительных систем.

Автор, кроме литературных материалов, использовал результаты своих наблюдений и исследований в Приморском и Краснодарском краях, в Каратальском рисосовхозе (Казахстан) и Волго-Ахтубе, а также материалы Кубанской рисовой опытной станции, проектных и эксплуатационных организаций.

Отзывы и замечания просим присылать по адресу: г. Москва, К-31, ул. Дзержинского, 1/19, издательство «Колос».

Предисловие

Перед сельским хозяйством Советского Союза партией и правительством поставлена задача — в короткий срок добиться значительного увеличения производства зерна на основе химизации и механизации сельского хозяйства и развития ирригации. Важное место в решении этой задачи принадлежит орошению, которое не только создает условия для наиболее эффективного применения удобрений и получения высоких урожаев на основе правильной агротехники, но и гарантирует от случайностей погоды.

Среди орошаемых продовольственных культур видное место принадлежит рису. Развитию рисосеяния до недавнего времени не уделялось должного внимания. Более того, в старых рисовых районах Средней Азии и Закавказья его посевы были несколько сокращены в связи с тем, что в этой зоне основные усилия направлялись на развитие хлопководства.

Еще в довоенные годы советские ученые доказали возможность возделывания риса на обширной территории, обеспеченной водными ресурсами и соответствующими климатическими условиями. Такие возможности, в частности, имеются на Северном Кавказе, в южной

части Ростовской области, в нижнем Поволжье и на юге Украины. На Кубани рисосеяние уже получило развитие в производственных масштабах. На площади более 50 тыс. *га* построены и полностью освоены специально рисовые оросительные системы.

Однако основная перспектива крупного рисосеяния связана с орошением и освоением огромных массивов в низовьях рек Аму-Дарьи, Сыр-Дарьи и Или. Развитие рисосеяния здесь не вступает в противоречие с дальнейшим расширением посевов хлопчатника. При наличии значительных водных ресурсов в этих районах может быть создана основная рисовая база нашей страны. Для осуществления этой задачи предстоит выполнить большой объем работ по проектированию, строительству и сельскохозяйственному освоению новых оросительных систем, предназначенных для культуры риса.

В отечественной и зарубежной литературе пока нет руководства, где в систематической форме излагались бы вопросы проектирования и эксплуатации рисовых оросительных систем. Предлагаемая вниманию читателей книга В. Б. Зайцева восполняет этот пробел.

Наряду с обобщением обширного материала по отечественному и зарубежному рисосеянию, в книге широко использованы результаты научно-исследовательских работ автора.

Предлагаемая книга будет полезным пособием для специалистов, работающих по проектированию новых, а также по эксплуатации и реконструкции существующих рисовых оросительных систем.

Академик ВАСХНИЛ *А. Аскоченский.*

Введение

Февральским Пленумом ЦК КПСС 1964 г. поставлена всенародная задача интенсификации сельского хозяйства. В решении этой задачи видное место отводится орошению не только технических, но и зерновых культур. Важнейшей зерновой культурой поливного земледелия следует считать рис. За двадцатилетие предстоит довести площадь под посевами риса до 1,5 млн. *га*. Потребуется ежегодно вводить в эксплуатацию от 50 до 100 тыс. *га* новых площадей под рис.

Рис служит основной пищей более чем половины населения земного шара. Рис, возделываемый при затоплении поверхности поля,— основная орошаемая культура мирового сельского хозяйства. Посевы так называемого горного, или суходольного, риса, возделываемого без слоя воды, составляют менее 5% общей площади посевов риса.

93% мировой площади посевов риса сосредоточено на Азиатском континенте. Наиболее низкие урожаи собирают в Африке, наиболее высокие — в Европе. Разительную разницу в урожаях дает практика мирового рисосеяния (табл. 1).

Таблица 1

Площади посева и урожаи риса по некоторым странам за 1958—1959 гг. [103]

Страны	Площади посева		Урожаи	
	тыс. *га*	% общемировой площади	*ц/га*	% среднемирового
Испания	63,0	0,06	59,35	306
Италия	134,1	0,12	52,42	270
Япония	3240,1	2,88	46,16	239
США	574,1	5,08	37,06	194
Китайская Народная Республика	27472,0	24,43	28,83	149
Куба	88,9	0,08	24,18	125
Мексика	125,2	0,11	20,05	104
Индонезия	7070,0	6,30	17,15	89
Бирма	4767,2	4,25	16,99	88
Бразилия	2585,6	2,30	15,89	82
Пакистан	9086,4	8,07	13,99	72
Индия	33128,0	29,41	13,69	71
Филиппины	2965,8	2,62	12,39	63
Камбоджа	1171,6	1,52	11,58	60

Урожаи риса зависят не столько от климатических или иных природных условий, сколько от уровня агротехники (табл. 2).

Мировое производство риса непрерывно растет.

Таблица 2

Посевные площади, сбор и урожай риса по данным за 1958—1959 гг. [103]

Территория	Посевные площади		Сбор		Средний урожай, *ц/га*
	млн. *га*	%	млн. *ц/га*	%	
Весь земной шар	112,35	100,0	217,97	100,0	19,33
В том числе:					
социалистические страны	30,47	27,5	84,38	38,7	27,60
капиталистические страны	81,88	72,5	133,59	61,3	16,26

В дореволюционный период рис возделывали у нас на территории Среднеазиатских республик, в Азербайджане и в низовьях р. Терек. В целях освобождения водных ресурсов для развития хлопководства он был в значительной части вытеснен из этих районов. К 1932 г. площадь посевов риса равнялась 122,3 тыс. *га*.

Работой научно-исследовательских учреждений к тому времени было установлено, что рисосеянием можно заниматься не только в Средней Азии и Закавказье, но и в более северных новых районах: на Северном Кавказе, юге Украины, в Казахстане и на Дальнем Востоке. Наиболее крупный новый район создан на Кубани.

Особенности водного режима риса, наличие слоя затопления вызывают необходимость создания сравнительно сложных и дорогих ирригационных устройств. Сельскохозяйственное освоение подготовленных к орошению площадей имеет также специфические трудности.

Предлагаемая работа является первым опытом систематического изложения всего комплекса вопросов, связанных с проектированием и эксплуатацией рисовых оросительных систем.

При составлении ее, помимо литературных материалов, наблюдений и исследований автора в Приморском и Краснодарском краях, в Таджикистане и Казахстане, использованы результаты работ лаборатории мелиорации Кубанской рисовой опытной станции, которой автор руководил с 1957 по 1961 г. В этот период в работе лаборатории принимали участие: научные сотрудники В. Ф. Загребельный, П. Я. Кречко, аспирант А. Н. Семененко и инженер Н. П. Петренко. Использованы также научные отчеты других отделов Кубанской рисовой станции, Дальневосточной рисовой станции и Южного научно-исследовательского института гидротехники и мелиорации. В работе впервые опубликованы некоторые результаты наблюдений за режимом грун-

товых вод на рисовых системах Ростовской области, выполненные кандидатом технических наук З. Ф. Туляковой. Глава XIII «Укрупненные измерители» написана при участии инженера В. П. Баских.

Автору была дана возможность пользоваться техническими архивами Гипроводхоза МСХ СССР, Краснодарского филиала Гипросельхозстроя, Южгипроводхоза, а также Краснодарского краевого управления водного хозяйства и системных управлений.

Ряд товарищей, побывавших в зарубежных районах рисосеяния, ознакомили автора со своими наблюдениями и материалами: М. С. Гаража — по республике Мали, П. С. Ерыгин — по Китайской Народной Республике, Н. Б. Натальин — по Бирме и Индонезии, А. Т. Шадрин — по Гвинее и Кубе.

Всем названным лицам и учреждениям автор приносит свою глубокую благодарность.

1. Водохозяйственные расчеты

Глава I

Возделывание риса

Климат

Рис в отличие от других сельскохозяйственных культур успешно развивается в самой различной экологической обстановке. Он возделывается в тропическом, субтропическом и южной части умеренного поясов.

Продолжительность светового дня оказывает большое влияние на течение физиологических процессов в растении и особенно на образование генеративных органов. Основная масса сортов риса — растения короткого дня. Однако в их многообразии нашлись формы, которые успешно развиваются в северных районах его ареала, необычных для риса не только по малому количеству тепла, но и по большой длине светового дня.

Сумма активных температур служит решающим фактором, определяющим возможность и условия возделывания сельскохозяйственной культуры. Семена риса могут прорастать и при температуре 10—12°.

Низшим пределом начала жизнедеятельности рисового растения обычно называют 14—15°. При таких температурах прорастание замедляется и получаются менее жизнеспособные всходы. Повышение температуры ускоряет процесс прорастания семян. Так, при 20° семена прорастают на тринадцатые сутки, а при 36° — на четвертые. Фотосинтез в листьях затопленных всходов риса идет наиболее энергично при температуре воды от 27 до 32° [21].

Несмотря на то, что в тропическом поясе температурные условия более благоприятны (табл. 3), наибольшие урожаи риса получают все же вблизи северной границы его ареала, хотя здесь и возделывают сорта с самым коротким вегетационным периодом.

Таблица 3

Сводные климатические показатели по районам рисосеяния

Климатические пояса	Длина светового дня в летние месяцы, часы, минуты	Период со среднесуточной температурой выше 15°		Среднесуточная температура, град.				Годовая амплитуда температур, град.
		продолжительность, сутки	сумма температур, тыс. *град.*	январь		июль		
				от	до	от	до	
Тропический	13,20—12,07	365	7,5—10,0	15	27	20	32	2—10
Субтропический	15,00—12,50	160—290	3,5— 6,5	— 5	13	20	32	15—25
Умеренный (южная часть)	15,00—13,50	100—160	1,6— 3,0	—20	5	20	25	20—35

Осадки в пределах одного и того же климатического пояса распределяются неравномерно. Поэтому внутри каждого из них выделяем несколько областей, однотипных по количеству и характеру распределения осадков (табл. 4). Количество осадков и их распределние в течение года в значительной степени обусловливают технику возделывания и тип культуры риса.

На рисунке 1 приведены климатические диаграммы для некоторых типичных пунктов различных поясов. В тропическом поясе имеется область непрерывных дождей, примером чего служит Баликпапан. Эта область охватывает экваториальную юго-восточную Азию. Основные районы рисосеяния расположены в областях с муссонным климатом, где в течение влажного периода выпадает до 90% годового количества осадков (Рангун). Области с засушливым климатом в тропическом поясе занимают небольшую площадь. Они расположены в Южной Америке и Африке (Тимбукту).

Таблица 4

Сводные климатические показатели по районам рисосеяния

Климатические пояса	Климатические области	Осадки, *мм*						Относительная влажность воздуха	
		за год	за вегетационный период					январь	июль
			май—октябрь	ноябрь — апрель	май — сентябрь	июнь — август			
Тропический	Без сухого периода	>2000	>1000	>1000	—	—		80—90	80—90
	С сухим периодом	700—2000	700—1500	50—250	—	—		60—80	75—90
	Засушливые	<500	200—400	<50	—	—		50—80	65—80
Субтропический	С влажным летом	900—1500	—	—	500—800	—		70—85	70—85
	С засушливым летом	500—1000	—	—	100—300	—		70—85	60—75
	Сухие	100—400	—	—	10—50	—		60—75	40—65
Умеренный	Влажные	1000—1800	—	—	—	300—700		80—85	60—85
	Умеренно влажные	500—1000	—	—	—	150—250		80—85	55—85
	Сухие	150—500	—	—	—	20—125		80—85	50—70

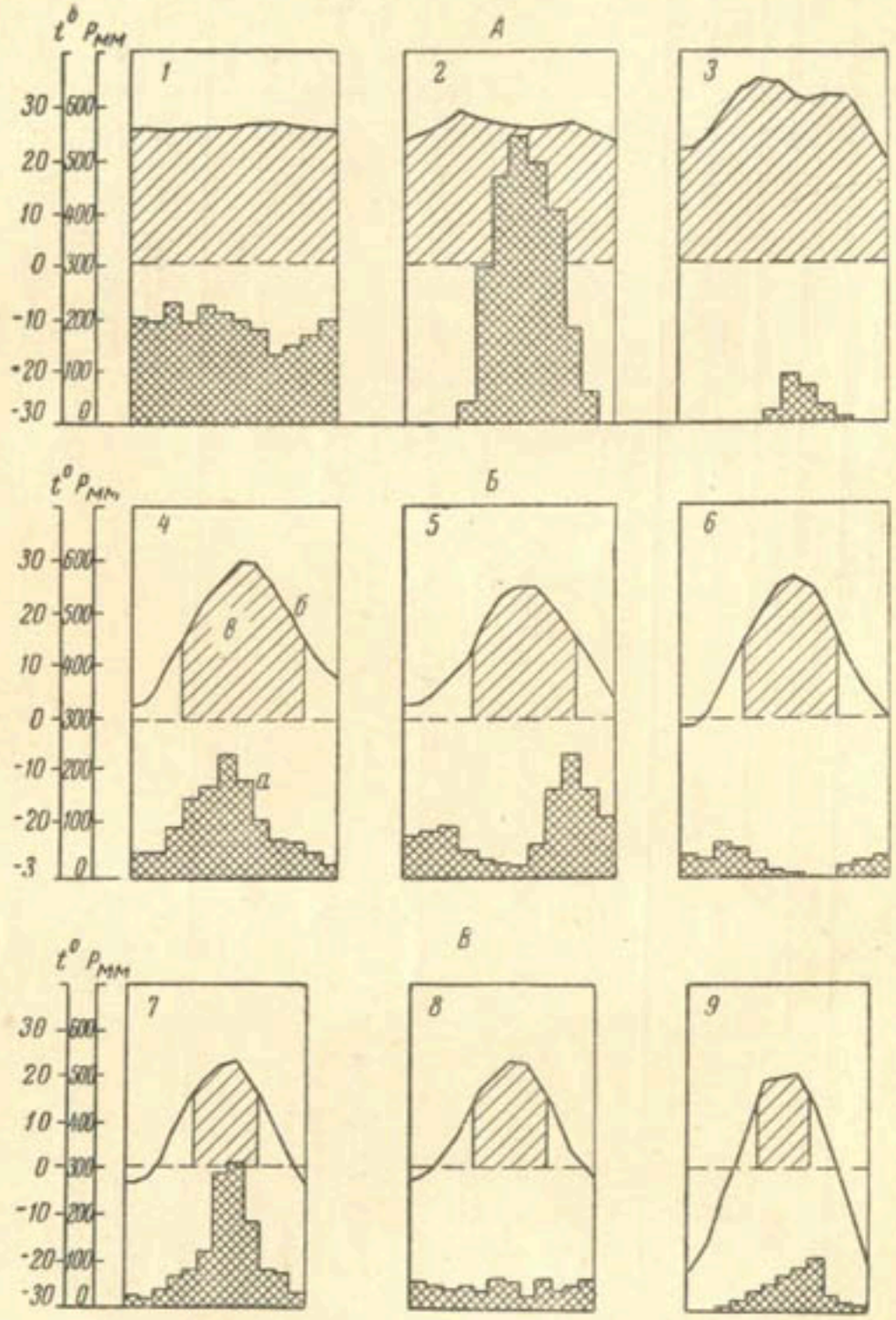


Рис. 1. Климатические диаграммы по районам рисосеяния:

А—тропический пояс: *1*—Баликпапан (Индонезия), 1°17′ ю.ш. Высота над уровнем моря (в *м*) *Н*=5; *2*—Рангун (Бирма), 16°47′ с.ш., *Н*=13; *3*—Тимбукту (Мали), 16°43′ с.ш., *Н*=250; *Б*—субтропический пояс: *4*—Ханькоу (Китай), 30°35′ с.ш., *Н*=36; *5*—Ленкорань (СССР), 38°46′ с.ш., *Н*=19; *6*—Ташкент (СССР), 41°20′ с.ш., *Н*=479; *В*—умеренный пояс: *7*—Вонсан (Корея), 39°09′ с.ш., *Н*=0; *8*—Краснодар (СССР), 45°02′ с.ш., *Н*=34; *9*—Уссурийск (СССР), 43°47′ с.ш., *Н*=25; *а*—осадки; *б*—среднесуточные температуры; *в*—период возможной вегетации риса.

В субтропическом поясе во влажных районах за время вегетации риса выпадает 500—800 *мм* осадков. Такое количество может обеспечить культуру риса лишь при рациональном их использовании (Ханькоу, Ленкорань).

В умеренном поясе вегетационный период риса не превышает 110—120 дней. В связи с этим в таблице 4 выделено количество осадков за три летних месяца. Здесь, как правило, рис возделывается только при наличии оросительных систем.

Влажность воздуха в основном определяют температурный режим и количество осадков. В тропическом поясе, в районах без сухого периода, относительная влажность воздуха минимальная 75%, максимальная 90%. В районах с сухим периодом ясно виден и годовой ход влажности воздуха. При этом минимальные значения влажности опускаются ниже 50%. В субтропическом и умеренном поясах минимальные среднемесячные величины влажности воздуха не бывают ниже 50%.

В тропическом поясе по температурным условиям произрастание риса возможно в течение всего года. Здесь можно снимать два и даже три урожая в год. В области непрерывных дождей круглогодовое возделывание риса обеспечено самой природой. В области муссонов за счет влаги дождей можно вырастить лишь один урожай в год. В субтропическом поясе только в областях с влажным летом можно выращивать рис без орошения. При этом в большинстве случаев необходимо аккумулировать и регулировать сток. В сухих областях тропического пояса и во всех остальных областях субтропиков и умеренного пояса культура риса без ирригации невозможна. Потребность в искусственном орошении риса возрастает с юга к северу.

Почвы

Рисовые поля обычно рекомендуют размещать на тяжелых маловодопроницаемых почвах. При этом считают лучшими для возделывания риса почвы, которые содержат от 50 до 70% частиц более 0,01 *мм* [55]. Однако известны случаи, когда рис возделывался на

почвах с большой фильтрационной способностью. Так, в долине р. Зеравшана издавна успешно занимались культурой риса на легких почвах. Но оросительная норма в этом случае была чрезвычайно большой и превышала 100 тыс. *м*³/*га* [61].

В результате длительного затопления разрушаются почвенные агрегаты, почва уплотняется и объемный вес ее возрастает. На рисовых чеках оседают илистые частицы, приносимые оросительной водой и являющиеся продуктом смыва глинистого материала. Содержание илистых частиц в почвах рисовых полей непрерывно нарастает.

Почвы долины р. Янцзы, на которых уже тысячелетиями возделывается рис, отличаются глубоким разложением минеральной основы почвообразующих пород, приводящим к сильному оглеению, утяжелению и уплотнению почв, что придает им высокую влагоемкость, слабую водопроницаемость и водоотдачу. В этих почвах можно видеть конечный продукт эволюции почв рисовых полей, приобретающих минимальную фильтрационную способность [46].

Корни риса обладают аэренхимой (воздухопроводящей тканью) и в снабжении кислородом из почвы не нуждаются. Поэтому уплотнение почвы под воздействием культуры риса нельзя считать отрицательным явлением и снабжение кислородом корней риса не ухудшается. Кислород проникает из корней в почву и создает вокруг каждого корешка окисленный ход, в котором обильно развиваются аэробные микроорганизмы, улучшающие условия минерального питания риса.

На поверхности затопленного рисового поля образуется биологическая пленка, исключающая возможность поступления в почву кислорода, содержащегося в поливной воде. Для сохранения плодородия в почве должен пополняться запас химически связанного кислорода, необходимого для обеспечения жизнедеятельности анаэробных микроорганизмов. Для этого в межполивной период почва рисовых полей должна проветриваться и просушиваться.

Условия снабжения питательными веществами у неполивных сельскохозяйственных растений и у риса

различны. В первом случае почвенное плодородие накапливается в стихийно складывающейся обстановке увлажнения и иссушения почвы под действием осадков и испарения. Растение вынуждено постоянно образовывать все новые массы корней, устремляющихся в те горизонты почвенного профиля, где создаются благоприятные условия увлажнения. Непрерывно нарастает и отмирает огромное количество корневых волосков, стремящихся получить непосредственный контакт с каждой отдельной частицей почвы.

При культуре риса в течение всей вегетации имеются стабильные условия избыточного увлажнения. Между восстановленной массой почвы и окисленной зоной вдоль корней создается большая разность окислительно-восстановительных потенциалов, благодаря чему происходит непрерывная диффузия к корням легкоподвижных восстановленных соединений элементов питания. Здесь они окисляются и накапливаются. Это позволяет говорить о том, что в затопленной почве создаются особо благоприятные условия для обеспечения риса элементами питания [55]. На основании сказанного можно схематически представить, что корневая система неполивных растений сама направляется к каждой частице почвы, чтобы взять от нее необходимые питательные вещества, а рис создает такие условия, что эти питательные вещества притекают к его корням. Поэтому корневая система риса относительно меньше, чем у обычных растений. Разрушение почвенных агрегатов, вызванное затоплением, обеспечивает хороший контакт частиц почвы с корнями. В этих условиях потенциальные запасы плодородия расходуются наиболее экономно. Например, в Судане в условиях богарного земледелия почва истощается в течение 3—5 лет. При культуре затопляемого риса признаки истощения появляются только через 10 лет [115].

Создание чеков с горизонтальной поверхностью и задержание на них больших количеств воды, выпадающей в виде дождей, резко замедляют поверхностный сток. Поэтому в ряде стран рекомендуется расширение посевов риса в целях борьбы с эрозией почвы, особенно губительной для земледелия в районах с обильными осадками.

Способы возделывания

Существует много способов возделывания риса. Каждый из них приспособлен к определенным природным условиям и техническим возможностям хозяйства. Вопросам агротехники риса посвящено много исследований и специальных руководств. Здесь рассмотрим два вопроса, имеющих непосредственное отношение к работе оросительной системы.

В старых районах рис сеют в воду. Поля предварительно затапливают и планируют путем «малования». Такому способу возделывания соответствуют наименьшие урожаи. Более интенсивной является культура с пересадкой, получившая распространение, кроме старых азиатских районов рисосеяния, и в западноевропейских странах. Сначала семена высевают в питомниках, почву которых тщательно обрабатывают и удобряют. Затем, примерно через месяц, рассаду высаживают на предварительно затопленные рисовые поля. В период между посевом в питомник и высадкой рассады проводят несколько обработок затопленных рисовых полей, в результате чего удается уничтожить проростки сорняков. При пересадке сокращается оросительный период и поэтому экономится поливная вода. В условиях крупного механизированного рисового хозяйства оба эти способа неприемлемы, так как требуют огромных затрат ручного труда.

В результате ряда специальных исследований и многолетней практики наилучшим признан рядовой посев риса с заделкой семян в почву не глубже 1—2 *см*. При большой глубине и последующем затоплении сильно изреживаются всходы. В США применяется посев риса вразброс с самолета на предварительно затопленные поля. В течение нескольких лет этот способ применялся и у нас на Кубани. Но рис в этом случае сильно полегает, что резко ухудшает условия уборки и приводит к большим потерям зерна.

На большинстве площадей рис возделывают в длительной монокультуре. Однако урожаи при этом получают небольшие. Но и на таком уровне они поддерживаются ценой огромных затрат ручного труда на пересадку, прополку, рыхление и др. Современная механизированная высокопродуктивная культура риса

неэффективна без плодосмена, благоприятно воздействующего на почву рисовых полей и освобождающего ее от специфических рисовых сорняков. Но севооборот должен иметь максимально возможное насыщение ведущей культурой — рисом, так как для создания рисовой оросительной системы требуется большой объем капиталовложений.

Глава II

Водный режим

Терминология

Литература по вопросам водного режима риса весьма обширна. Ее авторы пользовались различной терминологией. В результате одни и те же понятия фигурируют под различными наименованиями. При этом нередко неудачно введенный термин создает неверное представление о явлении, которое он должен обозначать.

Например, говорят о суходольной культуре риса, в то время как он получает от 8 до 12 поливов за оросительный период. В дальнейшем будем называть:

затопляемым рисом — тип культуры, при котором в течение всего оросительного периода или значительной части его на поле создается слой затопления той или иной глубины;

увлажняемым рисом — тип культуры, при котором затопление отсутствует, а влажность почвы обеспечивается естественным путем или с помощью искусственного орошения.

Мнения и факты, сообщаемые отдельными авторами, в дальнейшем излагаются с использованием принятой нами терминологии с соответствующей заменой равнозначных понятий.

О культуре увлажняемого риса

Доля увлажняемого риса в общемировой площади посевов риса в процентном отношении невелика, но в абсолютных цифрах он занимает более 2 млн. *га*.

Возможность выращивания риса без создания слоя воды на поле уже давно привлекала внимание исследователей в связи с вопросом о борьбе с малярией, так как низкий технический уровень оросительной сети и, как следствие, заболачивание прилегающих к рисовым полям земель создавали условия для выплода малярийного комара.

Посевы суходольного риса в Сыр-Дарьинской области известны с 1891 г.

В 1903 г. опыты с увлажняемым рисом были повторены в Фергане.

Во всех случаях этот сорт оказался малоурожайным.

На Персиановской опытной станции П. А. Витте провел систематические исследования по культуре увлажняемого риса. Начаты они были в 1925 г.

Выводы исследований говорят о преимуществе культуры затопляемого риса, который сильно кустится, раньше созревает и дает большие урожаи зерна, облегчает борьбу с сухопутными сорняками. Но эта культура, как уже было сказано, создавала условия для выплода малярийного комара, в то время как культура увлажняемого риса исключала возможность его размножения [9].

Увлажняемый рис можно возделывать на участках с неблагоприятным рельефом и легкими почвами. Наиболее распространенная культура увлажняемого риса — это «горный» рис. Под нее занимают лесистые горные склоны. После того как лес будет срублен и сожжен, почву не обрабатывают. Нередко даже остаются на поле крупные деревья (рис. 2). Семена риса высевают в лунки, сделанные заостренной палкой. На этом забота земледельца о посевах заканчивается до уборки. Такая техника возделывания горного риса применяется в странах с муссонным климатом, где за период его вегетации выпадает более 1000 *мм* осадков.

На каждом подготовленном участке горный рис возделывают не более 2—3 лет подряд, так как его заглушают сорняки. После этого срока участок забрасывают. Понятно, что такой характер земледелия возможен лишь в странах, где имеются большие площади неиспользуемых земель.

Урожай горного риса собирают по крайней мере в

Рис. 2. Поле горного риса в фазе трубкования (Бирма, фото Н. Б. Натальина).

два раза меньше, чем затопляемого, возделываемого в тех же странах. Качество зерна более низкое.

После того как вопрос о борьбе с малярией был окончательно и успешно разрешен, работы по увлажняемому рису, начатые в связи с этой проблемой, не были прекращены. Этот тип культуры стали пропагандировать как средство экономии поливной воды и создания условий для применения на рисовых полях сельскохозяйственной техники.

Работы по внедрению увлажняемого риса велись в Приморском крае с 1929 по 1936 г. Площадь посевов под этой культурой достигла 500 *га*. Но Дальневосточная рисовая опытная станция в течение семи лет получала очень низкие урожаи — от 6 до 18 *ц/га*. В производственных условиях в большинстве случаев получался совершенно ничтожный урожай — 1,2—2 *ц/га*. На ряде площадей увлажняемый рис вообще погибал.

Неудовлетворительный результат был получен также в Ростовской области. Здесь в проекте первой очереди

орошения был предусмотрен посев увлажняемого риса на 5,5 тыс. *га*. В 1952 г. в колхозах области этой культурой было занято 435 *га*, но урожай с большей части ее не был получен. Тем не менее в 1953 г. площадь под увлажняемым рисом была доведена до 705 *га*. Но большая часть этих посевов также погибла, а с площади 33 *га* был собран урожай по 9,6 *ц*. В то же время и в тех же хозяйствах затопляемый рис давал отличные результаты [78]. Попытки возделывания увлажняемого риса в хозяйствах юга Украины также окончились неудачно. Довольно широкие попытки внедрения культуры увлажняемого риса, предпринятые в начале столетия и в пятидесятые годы, не увенчались успехом. Основная причина была в буйном зарастании увлажняемых рисовых полей как суходольными, так и специфическими рисовыми сорняками-просянками. На прополку рисовых полей требовались такие огромные затраты труда, что возделывание культуры подобного типа становилось практически невозможным.

При освоении химической промышленностью выпуска гербицидов типа Стам-Ф-34 (3,4-дихлорпропионанилид), уничтожающих просянки, частуху, камыш и др., но не причиняющих вреда рису [10], культура увлажняемого риса с точки зрения борьбы с сорняками станет возможной.

Но для практического внедрения ее надо решить также задачу и о высокопроизводительной технике полива, обеспечивающей сохранение большого количества стеблей риса на каждом квадратном метре поля при поддержании в то же время поверхности почвы в состоянии, исключающем возможность быстрого ее высыхания и растрескивания. Делались попытки поливать рис по бороздам. Но при этом неизбежно резко уменьшается число растений на единицу площади. А при поливе затоплением по полосам и дождеванием, при сплошь засеянном поле, нельзя проводить рыхление его поверхности. Вопрос о технике полива увлажняемого риса почти не разработан.

Повышенная концентрация почвенного раствора, создающаяся при возделывании увлажняемого риса, по опытам Н. С. Кистанова в Волгоградской области приводит к покраснению зерновок белозерного риса (ВРОС 3716, Алакульский). Но такие покрасневшие

зерна, высеянные на следующий год в условиях затопления, дают белозерный рис. При возделывании в течение ряда лет без слоя воды, при высокой концентрации почвенного раствора, покраснение становится стойким и распространяется на всю зерновку. Оно сохраняется и при возделывании на затопленных чеках; такой рис дает краснозерное потомство.

Испытывались разнообразнейшие схемы возделывания риса без создания слоя затопления при различной степени влажности почвы и с применением разнообразных комбинаций периодических поливов и посушек. К сожалению, во многих опытах исследователи не учитывали такой важный в данной связи фактор, как количество воды, поступившее на поле. График, составленный нами по результатам опытов, где велся учет воды, показывает ее решающее значение (рис. 3). За 100% на графике взяты урожай и оросительная норма в том варианте опыта, где величина последней была наибольшей. Хотя опыты эти проведены в отличных условиях и по разной методике, общая закономерность здесь совершенно очевидна. Чем меньше воды подается на рисовое поле, тем меньше получается урожай. Сопутствующие факторы числа и сроков поливов, их совпадение с теми или иными фазами развития риса и др. в большинстве случаев оказывают меньшее влияние, вызывая лишь некоторые отклонения в ту или другую сторону. Только в опыте Абраменко отмечена прямая пропорциональность между затратой воды и урожаем, когда точки ложатся вблизи прямой, идущей под углом 45° к оси иксов. Большинство же точек

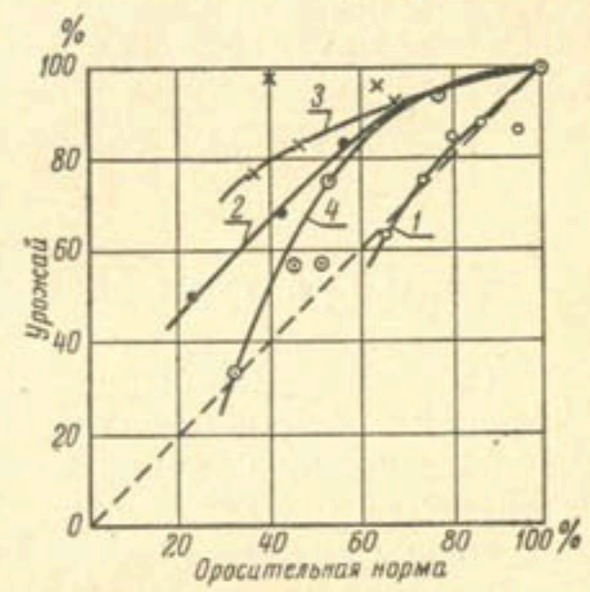


Рис. 3. Урожай увлажняемого риса в зависимости от величины оросительной нормы по данным разных авторов:

1—Абраменко, Волгоградская область; *2*—Атанасов, Краснодарский край; *3*—Иванов, Кзыл-Ординская область; *4*—Байгулов, Прибалхашье.

лежит выше этой линии, то есть урожай падает медленнее, чем уменьшается оросительная норма.

Следовательно, хотя урожай с одного гектара уменьшается, оплата урожаем каждого затраченного кубометра воды в некоторых опытах возрастает. В перспективе, когда в рисосеющих районах водные ресурсы будут использованы полностью, это обстоятельство может иметь значение, а в настоящее время культура риса с затоплением — основной и пока единственный тип этой культуры, обеспечивающий получение высоких и устойчивых урожаев при наименьших затратах ручного труда [29]. Поэтому в дальнейшем изложении будем рассматривать только культуру *затопляемого риса*.

Типы культуры риса

Основные районы рисосеяния в мире расположены в странах с муссонным климатом, где обильные осадки влажного периода года дают возможность возделывать затопляемый рис без орошения. Слой затопления создается только за счет дождевой воды. В засушливых областях посев риса невозможен без искусственного орошения. Поэтому при классификации типов культуры риса первым признаком нами взято количество осадков за вегетационный период. При этом принято, что в районах с количеством осадков менее 1000 *мм* культура затопляемого риса возможна только при искусственном орошении. В конкретных условиях могут быть отступления от этой цифры. Так, в Индии считают, что уже при 1250 *мм* осадков орошение риса становится необходимым.

Вторым признаком являются типы водного режима: затопляемый и увлажняемый рис. Пользуясь этими признаками, нами проведена классификация культуры риса на основные типы в зависимости от водного режима и обеспеченности осадками (табл. 5).

Более 70% мировых площадей посевов риса относятся к первому типу, представляющему различные варианты культуры затопляемого риса, возделываемого без ирригации, с увлажнением за счет атмосферных осадков. Но вместе с тем все же в странах с муссонным климатом идет работа по постепенному оборудованию таких рисовых полей оросительными системами с целью исключения периодических неурожаев из-за недостаточного или несвоевременного выпадения осадков и создания возможности для снятия двух и даже трех урожаев риса в год.

Таблица 5

Основные типы культуры риса в зависимости от способов орошения и обеспеченности осадками

Водный режим	Порядок водообеспечения	Осадки за вегетационный период: более 1000 *мм*	Осадки за вегетационный период: менее 1000 *мм*
Со слоем затопления	Без орошения	Первый тип. Основные площади посева риса в мире в районах с муссонным климатом. Местные осадки задерживаются непосредственно на рисовых полях или в небольших прудах и водохранилищах	—
	С орошением	Второй тип. Занимает от 5 до 30% площадей посевов риса в странах с муссонным климатом. Доля этой группы непрерывно возрастает: а) за счет освоения новых площадей; б) за счет орошения рисовых полей первой группы	Четвертый тип. Культура риса в СССР, в европейских странах, в США, на севере Китая и Японии, в ОАР и сухих районах Африки и др.
Без слоя затопления	Без орошения	Третий тип. Горный рис. Бразильский увлажняемый рис. Проектируемые госхозы Индонезии	Пятый тип. Культура риса за счет использования высокого стояния грунтовых вод
	С орошением		Шестой тип. Опытные работы по культуре увлажняемого риса при искусственном орошении

Второй тип культуры риса занимает сейчас приблизительно 24%, но доля его непрерывно возрастает. Небольшую площадь — 3,5% — занимает четвертый тип. Он соответствует районам с недостаточным количеством осадков, с пустынным и полупустынным климатом, а также южной части умеренного пояса, куда интенсивно продвигается культура риса. Названные три типа относятся к культуре риса со слоем затопления.

Без затопления рис возделывают в районах с большим количеством осадков. Для этой категории основным типом служит третий. Это горный рис, описанный в предыдущем разделе, затем бразильский тип механизированной культуры увлажняемого риса, а также вновь проектируемые с помощью советских специалистов рисовые государственные хозяйства на острове Калимантан в Индонезии.

Пятый тип характеризуется использованием грунтовых вод для восполнения недостающего количества осадков. Он издавна применяется на небольших площадках в северо-восточных провинциях Китая. Посевы располагают на островах и в прибрежных частях пойм с высоким стоянием грунтовых вод.

Несмотря на внешнюю простоту возделывания, под культурой увлажняемого риса занято только около 2,5% общемировых посевов риса. Это вызвано сравнительно малой его урожайностью, а также тем, что проблема борьбы с сорняками для этого типа культуры все еще не решена. По этой же причине многочисленные попытки внедрения в производство шестого типа культуры риса, увлажняемого искусственным орошением, пока не увенчались успехом.

Две диагонально расположенные клетки в таблице 5 остаются незаполненными, так как культура затопляемого риса в районах с малым количеством осадков без орошения невозможна, а строить оросительную систему для возделывания увлажняемого риса при количестве осадков более 1000 *мм* нет необходимости.

Условиям рисовых районов СССР соответствует четвертый тип его культуры, т. е. для областей с недостаточным количеством осадков при наличии оросительных систем. Применительно к этому типу культуры будут в дальнейшем рассмотрены все последующие вопросы.

Водный режим и микроклимат рисового поля

При возделывании сельскохозяйственных культур изменяются климатические условия в приземном слое воздуха, т. е. создается свой микроклимат, характерный для данного растительного покрова. Эти отличия обычно бывают наиболее отчетливо выражены в ясные безоблачные дни. Они слабо проявляются утром и вечером и становятся заметными к середине дня. Слой воды на рисовом поле делает все отмеченные явления еще более резко выраженными.

Интенсивность нагревания поверхности почвы зависит от того, какую часть поступающей солнечной радиации она может поглотить и с какой быстротой полученное тепло может быть от этой поверхности отведено (табл. 6).

Таблица 6

Отражательная способность (альбедо) **поверхности различных сельскохозяйственных угодий** (по А. А. Скворцову)

Характер поверхности	Свободная водная поверхность	Рисовое поле	Влажная вспаханная почва	Пар сухой	Хлопчатник	Люцерна	Пожнивные культуры
Отражательная способность, % общей радиации	10	12	14	20	22	19—23	27

Наименьшую величину отражательной способности из всех сельскохозяйственных культур имеет рисовое поле, 88% поступающей солнечной радиации которым поглощается и только 12% отражается. В этих условиях, казалось бы, температура поверхности рисового поля, а следовательно, и воздуха над ним должна быть более высокой по сравнению с полем под другими культурами. Однако в действительности наблюдается обратное явление. Поступающее тепло в основном расходуется на неограниченное испарение со свободной водной поверхности рисового поля и на интенсивную транспирацию растениями риса, обильно снабженными водой. В результате температура воздуха над поверхностью почвы

на неорошаемом участке намного выше, чем на рисовом поле.

Температура воды на рисовом поле большей частью заметно выше, чем температура приземного слоя воздуха. Разница эта может превышать 4°, оставаясь в большинстве случаев в пределах 1—2° (табл. 7).

Таблица 7

Температура воды и воздуха на затопляемом рисовом поле по декадам (Кубанская рисовая оросительная система)

Показатели	Июнь			Июль			Август			Сентябрь
	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I
Воздух	17,5	20,2	24,5	21,5	24,0	22,3	23,6	22,1	22,6	14,8
Вода	18,8	22,1	28,0	23,5	26,1	25,1	24,8	23,4	23,9	18,1
Разница в температуре	1,3	1,9	3,5	2,0	1,9	2,8	1,2	1,3	1,3	3,3

Мутная вода на чеке нагревается непосредственно лучами солнца, а прозрачная — от поверхности почвы под водой. В том и другом случае в силу конвекции теплая вода поднимается кверху. Температура воды по глубине на рисовом поле изменяется (табл. 8). Полного равенства температур никогда не наблюдается.

Температура слоя воды на рисовом поле понижается с глубиной. В среднем на каждые 2 *см* глубины разница температур в чеках в полуденные часы составляет около 0,1°.

Таблица 8

Температура воды на затопляемом рисовом поле по декадам летних месяцев (Кубанская рисовая оросительная система, 1958 г.)

Глубина, *см*	Июнь		Июль			Август		
	II	III	I	II	III	I	II	III
1	22,1	28,0	23,5	26,1	25,1	24,8	23,4	23,9
10	21,9	27,2	23,3	25,6	24,6	24,5	23,1	23,4
Разница в температуре . .	0,2	0,8	0,2	0,5	0,5	0,3	0,3	0,5

Суточное изменение температуры почвы на рисовом поле и на неорошаемом участке в солнечный день показано на рисунке 4. Наибольшая разница в температуре составляет 6,9°, она отмечена в дневные часы на глубине 10 *см*: на суходольном участке в 15 часов температура почвы на этой глубине равна 30,7°, а на рисовом

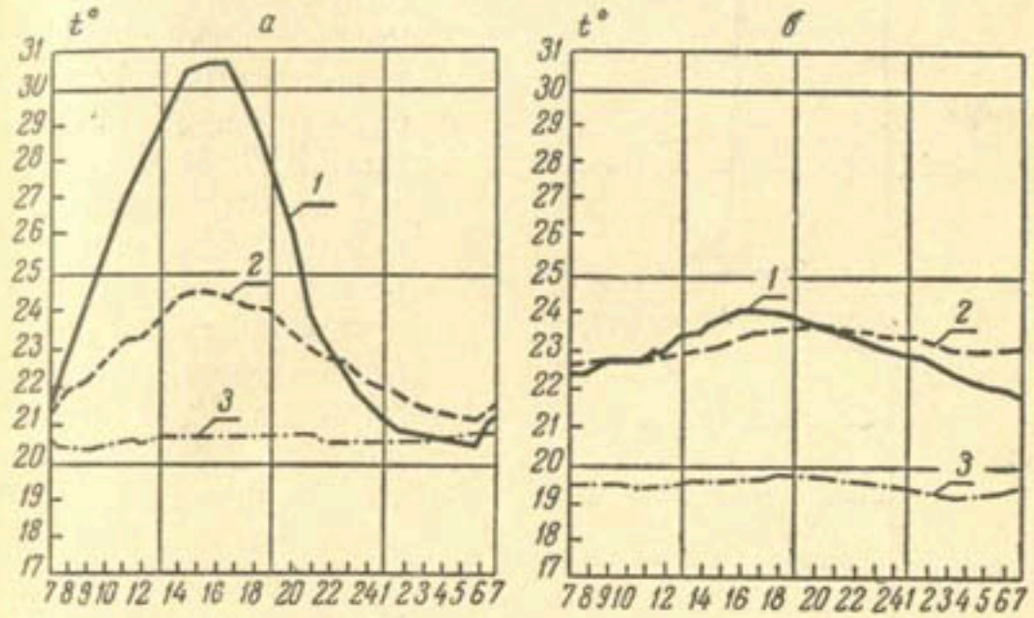


Рис. 4. Температура почвы на рисовом поле и неорошаемом участке. Приморский край (по Н. Н. Русначенко):

а — неорошаемый участок; *б* — рисовое поле; *1* — на глубине 10 *см*; *2* — на глубине 20 *см*; *3* — на глубине 30 *см*.

поле только 23,8°. В утренние и ночные часы температура почвы на рисовом поле выше. Распределение температур по вертикали на рисовом поле весьма своеобразно. Ногаи [113] приводит обобщенный график Кондо, на котором изображены кривые, показывающие максимальные, минимальные и средние дневные и ночные температуры воздуха, слоя воды и почвы рисового поля (рис. 5). Характерно, что вода и верхний слой почвы имеют более высокие температуры, чем воздух. Температура почвы довольно быстро понижается с глубиной. Разница между температурой у поверхности почвы и на глубине 45 *см* превышает 5°.

Как показали исследования, выполненные автором в 1958 и 1959 гг. на Кубанской рисовой станции, описанное выше распределение температур имеет место лишь в начале вегетации риса, когда почва интенсивно прогревается. На рисунке 6 приведены 5 типичных кри-

вых. Первая построена по среднемесячным данным для июня. По распределению температур в почве она аналогична рисунку 4. Но разница температур в верхнем и нижнем горизонте составляет только 2,5°. В то же время в отличие от графика Ногаи наблюдается значительная разность между температурой воды и верхнего слоя почвы, достигающая 3,9°. В слое воды также имеется небольшой температурный перепад. В июле разница в температурах на глубине почвы уменьшилась до 1°, а в августе во всех горизонтах почвы она имеет одно и то же значение с отклонениями от средней не более 0,2°. Аналогично изменилось и соотношение температуры воды и верхнего слоя почвы. В первую неделю сентября, когда на рисовом поле был еще слой воды, но температура воздуха упала до 14,3°, кривая получила обратный характер, так как в это время происходит теплоотдача из нижних, более теплых слоев почвы в остывающие верхние. Разница температур в этом случае достигла 3,5°. Перепад температур в слое воды равен лишь 0,1°, причем на этот раз температура у поверхности почвы выше. После удаления слоя воды с рисового поля во вторую декаду сентября охлаждение почвы пошло гораздо интенсивнее при общем понижении температур и уменьшении их амплитуды. График ежедневных среднесуточных температур воды, воздуха и почвы на затопленном рисовом поле, полученный в результате упомянутых выше исследований, приведен на рисунке 7. Температура воды в чеке постоянно пре-

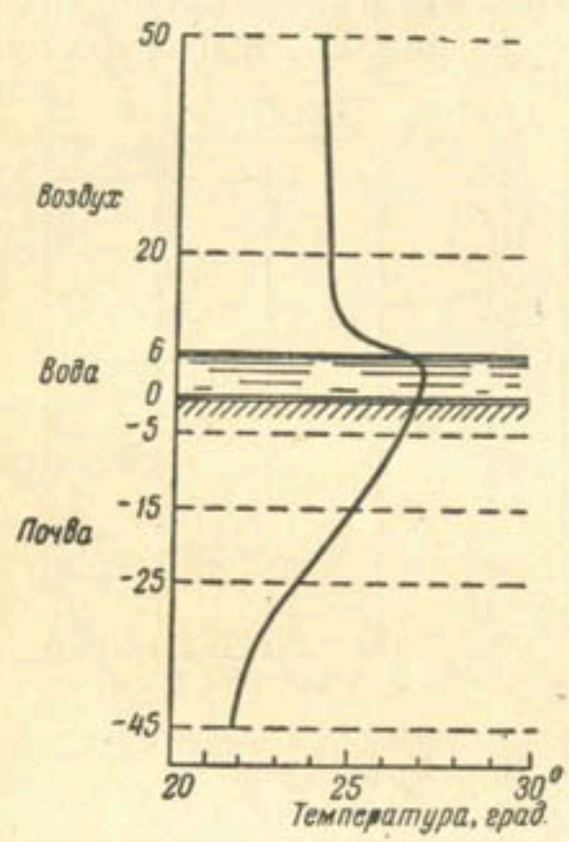


Рис. 5. Среднесуточное распределение температур на затопленном рисовом поле (по Ногаи).

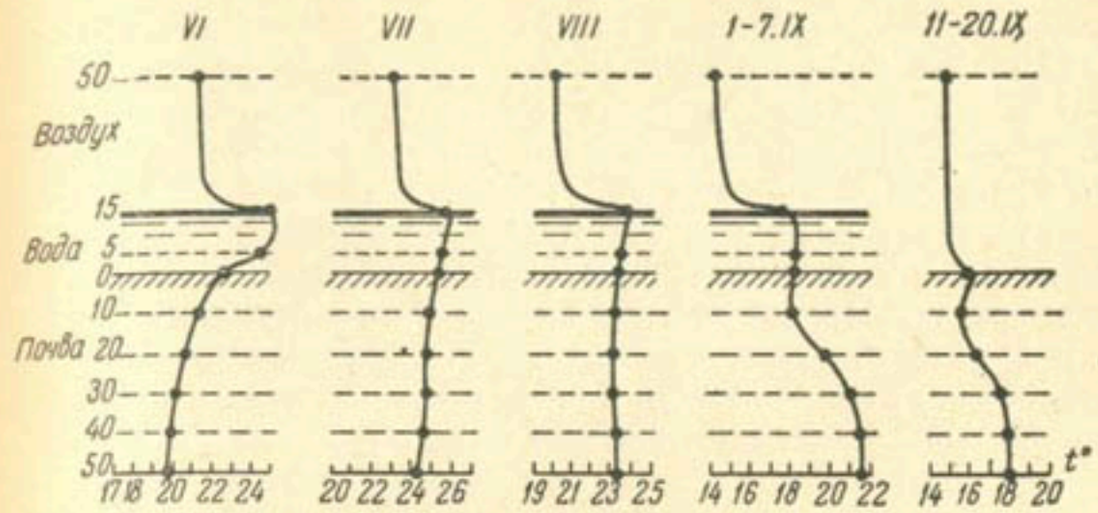


Рис. 6. Среднесуточное распределение температур на затопленном рисовом поле (Краснодарский край, 1958 г.).

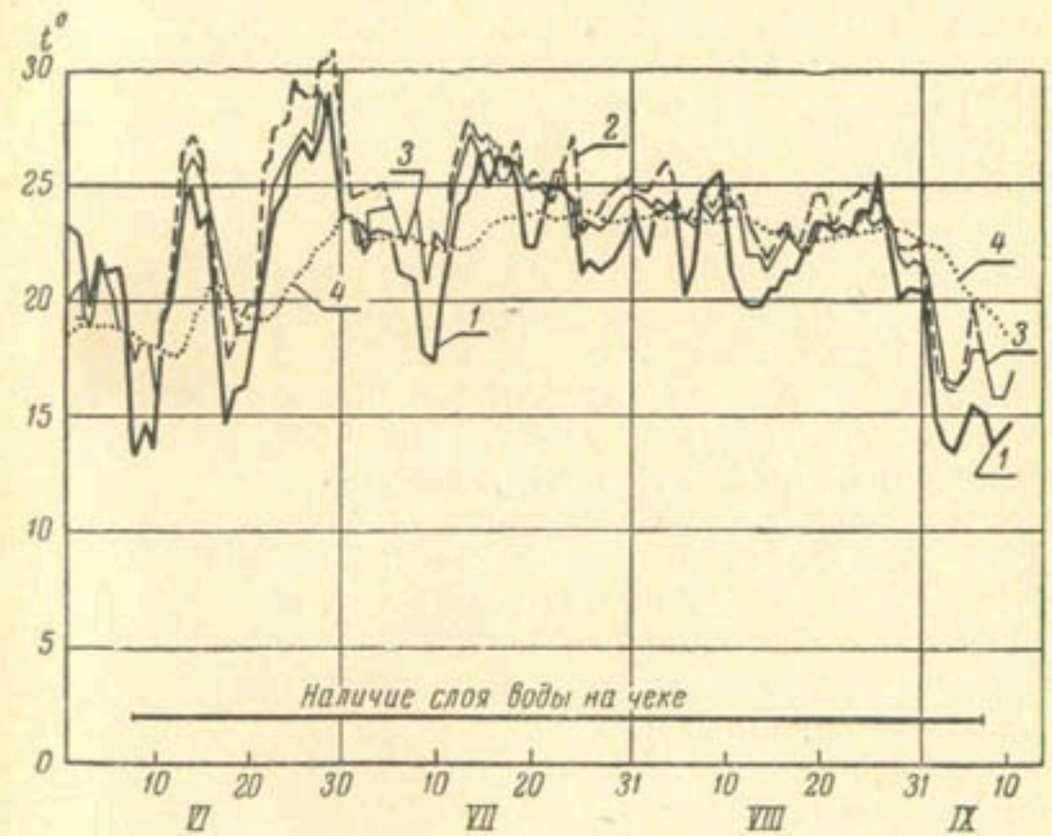


Рис. 7. Среднесуточные температуры воздуха, воды и почвы на затопленном рисовом поле (Краснодарский край, 1958 г.):

1—температура воздуха; *2*—температура воды; *3*—температура почвы на глубине 1 *см*; *4*—то же, на глубине 50 *см*.

вышает температуру поверхности почвы. Только в начале июня, когда на поле нет еще слоя воды, температура поверхности почвы ниже температуры воздуха. Затем в течение всего оросительного периода она выше температуры воздуха, довольно близко повторяя подъемы и спады его температуры. В то же время температура почвы на глубине 50 *см* в течение июня лишь в весьма смягченной форме отражает ход наружных температур. При этом максимумы и минимумы на этой глубине отстают на четверо суток от максимумов и минимумов температур на поверхности. Затем амплитуда колебаний среднесуточных температур на глубине 50 *см* сильно уменьшается и в третью декаду июля и первые две декады августа находится в пределах всего 1°. В сентябре вслед за понижением температуры воздуха довольно резко падает температура почвы, несмотря на то что вода с рисового поля еще не спущена.

Слой воды на рисовом поле, интенсивное испарение и транспирация, более низкие температуры воздуха и затрудненность его перемещения в густом травостое — все это создает условия для более высокой влажности воздуха над рисовым полем, чем над неорошаемым участком. В начале вегетации разность во влажности воздуха над поверхностью рисового поля и суходола в условиях Узбекистана составляет только 4%. Но во вторую декаду июня она достигает уже 31%, а во вторую декаду августа — 64%.

На высоте 2 *м* от поверхности почвы разница в относительной влажности воздуха над рисовым полем и неорошаемым участком почти незаметна.

Слой воды на рисовом поле не только служит для обеспечения растения риса водой и создания соответствующего направления почвенных процессов, но и существенно изменяет всю агрометеорологическую обстановку на рисовом поле. Суточный ход температур сглаживается. Днем они ниже, а ночью выше, чем на незатопленном поле. Температура воды и почвы выше, чем температура воздуха. В самом слое воды имеется разность температур: летом и днем — от поверхности вниз температура снижается, а ночью и осенью — снизу вверх повышается. Чем слой затопления глубже, тем температура воды и почвы ниже. Влажность воздуха над затопленным полем выше.

Водный режим затопляемого риса

Глубина затопления, при которой могут нормально развиваться различные сорта риса, изменяется в очень широких пределах (табл. 9).

Таблица 9

Характеристика сортов риса, испытывавшихся на опытной станции «Бордо» вблизи г. Канкан в Гвинейской республике

Группа	Название сорта	Характеристика	Вегетационный период в днях	Глубина слоя воды, *см*
Плавающий	Индокитайский 1	Крупнозернистый . . .	185	200—250
Плавающий	Малободьян	»	185	150—200
Затопляемый	Мереке	Белое зерно, округ Сигири	170	100—150
Затопляемый	Сисако	Получен из долины Нигера	165	100—120
Затопляемый	Бентубала	Мелкозернистый, очень распространен в верхней Гвинее	170	80—100
Затопляемый	Индокитайский II	Белое зерно из Сиерра-Леона	155	80—100
Затопляемый	Малони-Гба	Белое зерно, очень распространен в округе Сигири	170	80—100
Затопляемый	Малони-Уло	Из округа Сигири . .	130	80—100
Затопляемый	Бандулука	Белый, продолговатый, широко распространен в Африке . . .	155	60—70
Затопляемый	Гамбияка	Белый, широко распространен в Африке . .	155	60—70
Затопляемый	Дисси-Гбе	Белый	145	20—40
Суходольный	Фасса	Горный, очень распространен в округе Сигири	130	20—30

Глубина затопления сортов риса, испытывавшихся на Бордосской опытной станции в Гвинейской республике, изменяется от 0,2 до 2,5 *м* (табл. 9). В дельте р. Нигер есть сорта, которые выдерживают полное затопление слоем до 2,5 *м* в течение 3—4 дней [91].

В некоторых штатах Индии выведены сорта риса, выращиваемые при глубине затопления от 1,6 до 6 *м* [71]. В Китае же регулирование глубины затопления рисового поля осуществляется в пределах нескольких сантиметров (от 1,5 до 8 *см*).

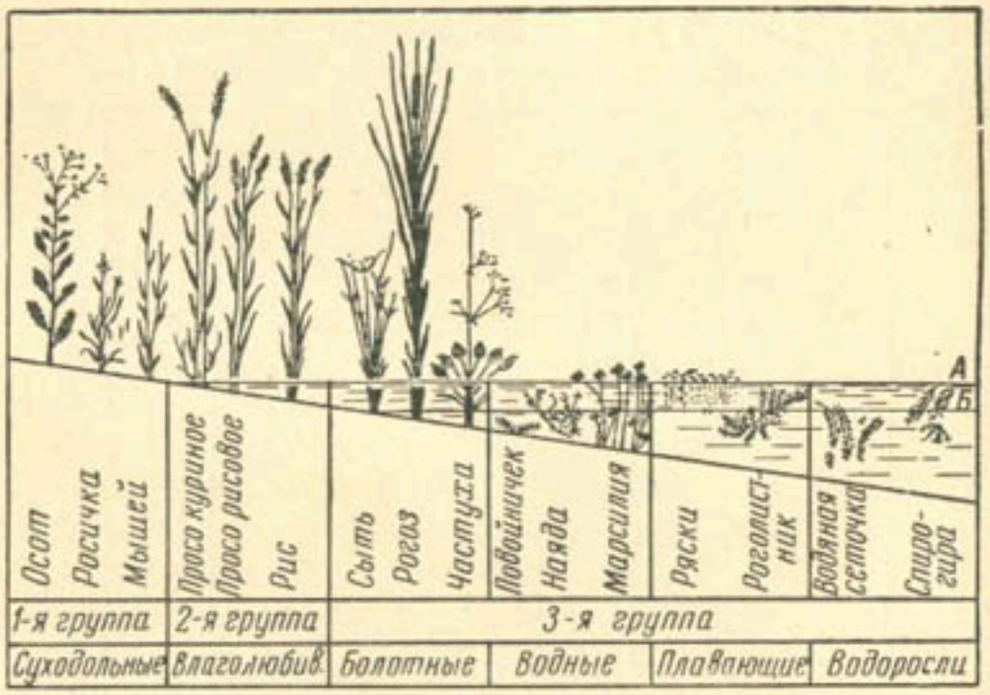


Рис. 8. Основные экологические группы растений, засоряющих посевы риса (по И. С. Косенко). Линии *А* и *Б* показывают уровень воды на рисовом поле.

Водный режим риса должен быть рассчитан не только на создание благоприятных условий для развития риса, но и на угнетение в той или иной степени сорняков. Сорняки рисовых полей по отношению к водному режиму могут быть разделены на три основные группы (рис. 8): 1) суходольные, оставшиеся на поле еще до посева на этой площади риса; 2) просянки (куриная, крупноплодная и рисовая), экологически наиболее близкие к рису; 3) растительность болот и водоемов, имеющая на рисовых полях благоприятные условия [39].

Сорняки суходольные уже в первые годы освоения новых земель под рис в условиях затопленного рисового поля вскоре вымирают. Сорняки третьей группы на затопленном рисовом поле с трудом подавляются агротехническими мерами, из которых наиболее эффективно введение в рисовый севооборот клина с суходольными, незатопляемыми культурами. При их возделывании просушивается почва и жизненный цикл водорослей и ряда болотных растений прерывается. Наиболее опасным из болотных растений оказался клубнекамыш. Кубанской рисовой станцией разработана и широко применяется в производстве система уничтожения этого сорняка с помощью гербицидов, распыляемых с самолета.

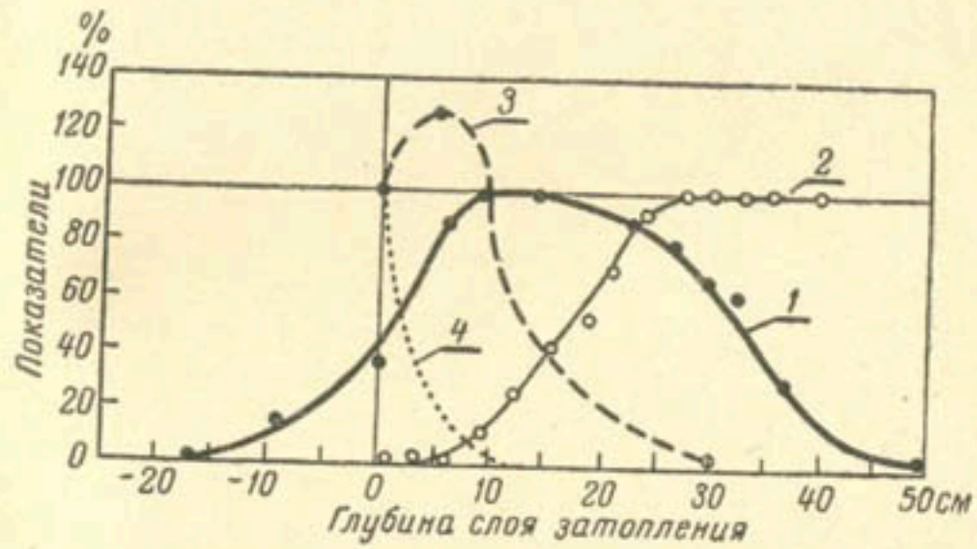


Рис. 9. Сводный график влияния различных глубин затопления на развитие риса и сорняков. (По М. В. Бородину): *1*—урожай риса; *2*—полегание риса; *3*—число растений рисового проса; *4*—то же, куриного проса.

Просянки — наиболее злостные сорняки, отлично приспособленные к условиям культуры риса — распространены во всех районах рисосеяния мира. Они созревают раньше риса. Часть семян осыпается, вследствие чего уже на второй год создается огромный запас семян сорняков в почве. Рис и сорняки по-разному реагируют на различную глубину затопления (рис. 9). На графике по горизонтальной оси вправо от нуля отложены глубины затопления, влево — высота неспланированных бугров, возвышающихся над уровнем слоя воды в чеках. По вертикали отложены величины урожая, степени засоренности и полегания риса, выраженные в процентах. За 100% принято: урожай риса при глубине затопления 9 *см*, равный 44,7 *ц/га*, и среднее число сорняков при нулевой глубине затопления. Для курино-

го проса это 37,7 шт. на 1 $м^2$, для рисового — 46 шт. Кривая полегания дает процент числа полегших растений риса от их общего числа [7].

Приведенный график отражает следующие противоречия. При малом слое затопления бурно развиваются сорняки. С увеличением глубины затопления сорняки подавляются, но урожай снижается и рис полегает. Наилучшие условия для произрастания риса и подавления сорняков складываются при глубине затопления примерно 15 *см*: когда величина урожая близка к максимальной, куриное просо уничтожается полностью, а рисовое на 60%; степень полегания достигает только 40%. Ни одна из глубин затопления, поддерживаемая постоянной в течение всего периода вегетации, не решает задачи полностью. Глубина воды на рисовом поле должна изменяться по ходу развития риса и сорной растительности. Рис может прорастать как в увлажненной почве, так и под слоем воды. При этом в отличие от просянок прорастание риса возможно и в прокипяченной воде, т. е. в совершенно анаэробных условиях (табл. 10).

Таблица 10

Прорастание риса и просянок в анаэробных и аэробных условиях
(в % по Е. П. Алешину)

Растения	Вода некипяченая (кислород есть)		Вода кипяченая (кислорода нет)	
	проросло	не проросло	проросло	не проросло
Рис ВРОС 3716	98	2	97	3
» Краснодарский 424	92	8	93	7
» Дубовский 129	92	8	94	6
Просянки	33	67	6	94

При прорастании во влажной почве, т. е. в аэробных условиях, сначала появляется корешок, а затем росток (колеоптиль). При прорастании в воде, лишенной кислорода, развивается только колеоптиль, который растет очень энергично до тех пор, пока не выйдет на поверхность воды. После этого рост надземной части замедляется, а начинает расти корешок. Под слоем обычной воды прорастание протекает так же, но, так как в воде

есть кислород, происходит и некоторое развитие корешка. При глубоком затоплении растение вытягивается и при достаточном запасе питательных веществ в семени пробивается через слой воды. С этого момента начинается процесс ассимиляции, образуется корневая система и развиваются листья. Влияние глубины слоя затопления на развитие растений риса видно из рисунка 10. В то время как в нормальных условиях рис достигает кущения, рис сорта Хоккайдо при глубине затопления 30—40 *см* представляет водорослеобразное растение, состоящее из маленького, недоразвившегося корешка и непомерно длинного нитевидного листа, заканчивающегося более или менее нормальной частью, плавающей на поверхности воды.

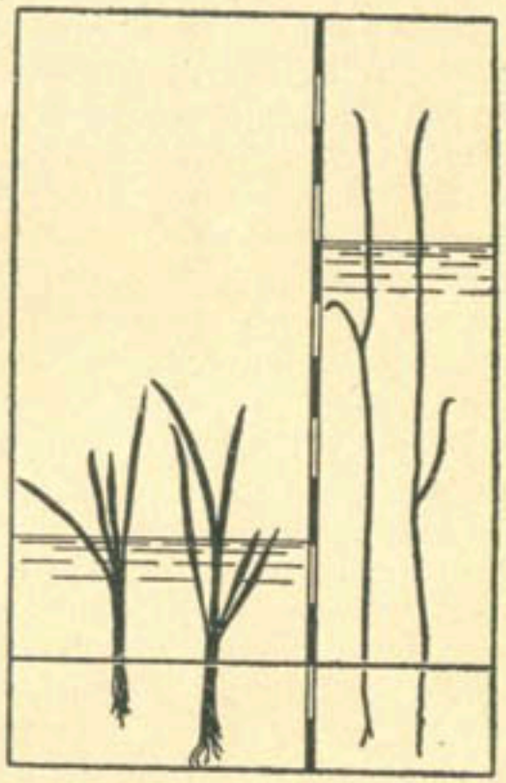


Рис. 10. Развитие риса при нормальном (*слева*) и глубоком (*справа*) затоплении.

В случае недостатка питательных веществ в семени молодые побеги не могут выйти из воды и растение погибает. Наиболее выносливы к глубине затопления рис, затем рисовое и, наконец, куриное просо. Если со времени посева рисовое поле затопить слоем воды, превышающим длину наиболее развившихся ростков сорняков и повышать этот слой по мере их роста, то можно полностью уничтожить сорную растительность. Но затопление сразу же после посева наряду с уничтожением просянок вызывает также изреживание всходов риса. В связи с этим было предложено два варианта так называемого укороченного затопления. Первый — для чистых от сорняков полей, когда слой затопления создается только после кущения риса, и второй — для умеренно засоренных, при котором затопление производится после получения полных всходов [21].

Глубина слоя затопления доводится до 25—30 *см*. Наиболее благоприятная температура воды в чеке — выше 25°. При такой температуре просянки быстро гибнут. Если же вода холодная, а значит, и более богатая кислородом, просянки выбиваются на поверхность и поле остается засоренным.

В связи с тем что современные зерноочистительные машины не дают полного отделения семян просянок от семян риса, нельзя получить чистые от сорняков рисовые поля. Кондиции посевного материала допускают на 1 *кг* семян риса I класса 5 семян сорняков, на 1 *кг* семян II класса 50 семян и на 1 *кг* семян III класса 150 семян сорняков. Этого количества семян совершенно достаточно для заселения злостными сорняками вновь осваиваемых под рис площадей. И в течение одного года так называемое чистое (без сорняков) поле переходит в разряд умеренно, а затем и сильно засоренных.

При варианте укороченного затопления слой воды на поле создается тогда, когда наряду со всходами риса уже имеются обильные всходы просянок, которые при увлажнении растут быстрее, чем рис. В этих условиях необходимо очень умелое управление слоем воды, чтобы добиться существенного снижения засоренности. При этом, если не будет низких температур, просянки все равно не погибнут. В результате на практике такой водный режим нередко приводил к сильному засорению рисовых полей. В мировом опыте рисосеяния имеется немало таких примеров.

Старые районы рисосеяния США расположены по побережью Мексиканского залива в штатах Луизиана и Техас. В начале этого столетия началось развитие рисосеяния в Калифорнии и была создана Биггская опытная станция. В материалах этой станции имеются сведения о водном режиме риса. Так, на основании работы первых лет было рекомендовано рисовые поля затоплять только на 30-й день после посева, а до этого срока поливать их, как обычные культуры. Таким образом, был предложен тот же водный режим, который у нас впоследствии получил наименование укороченного затопления [104]. В первые годы освоения целинных земель при таком водном режиме действительно получались большие урожаи — 50 *ц* с 1 *га*

(рис. 11). Однако затем урожаи из года в год стали падать. В среднем за трехлетие (1922—1924) они уже не достигали и 30 *ц* с 1 *га*. Всякая задержка с затоплением стала губительно сказываться на урожае вследствие буйного зарастания рисовых полей просянками.

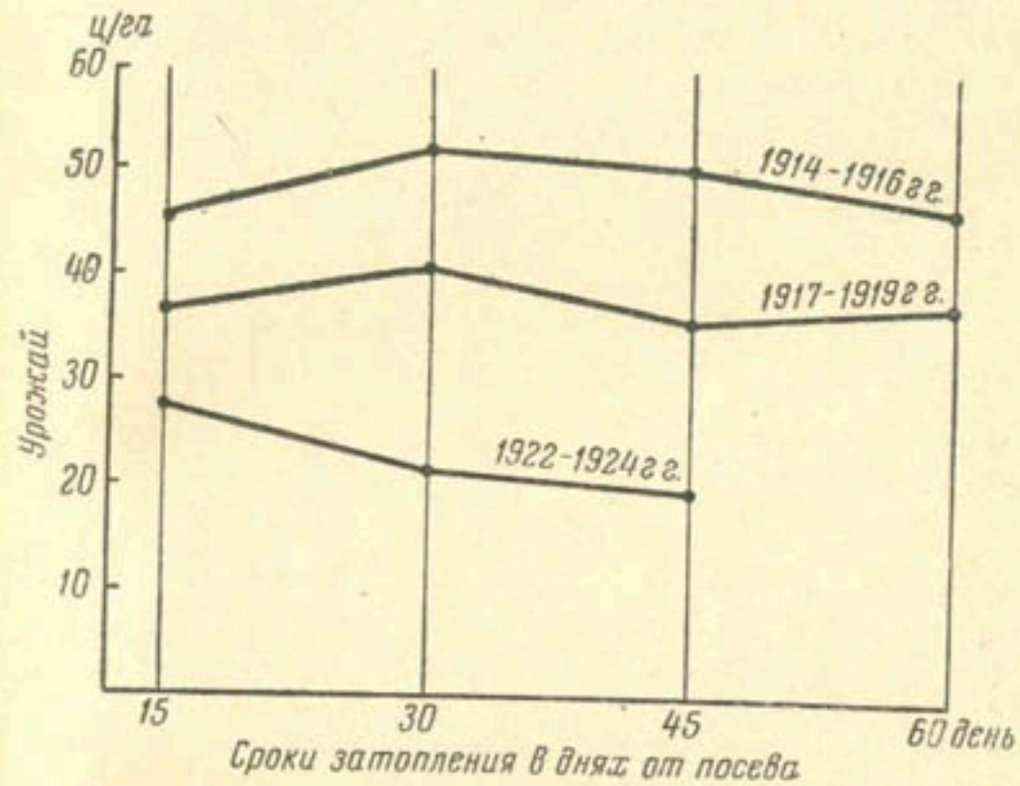


Рис. 11. Влияние сроков затопления на урожай риса. Биггс США (среднее по трехлетиям).

Поэтому была выработана новая система возделывания риса, при которой стало практиковаться непрерывное затопление слоем около 15 *см* непосредственно после посева [23, 105]. Аналогичная схема в результате опытных работ в районе Массины в 1949 г. была рекомендована для Нигерии [120] и в 1960 г. — для Луизианы [102].

Физиологически для семян риса во время их прорастания не требуется аэрации почвы (табл. 10). На этом основании Е. П. Алешин предложил водный режим затопления с перерывом [4]. Он заключается в следующем. Сразу после посева чек затопляют слоем воды на 7—8 дней, пока большая часть семян не наклюнется. К этому времени часть воды впитается и

испарится, а остальная сбрасывается. При благоприятных условиях температуры всходы в стадии шила появляются через 4—5 дней, после чего поле вновь немедленно затопляют. Просянки в этом случае в росте сильно отстают от всходов риса.

Влияние различных водных режимов на засоренность рисового поля проверено в производственных условиях Краснодарского края (табл. 11, 12).

Таблица 11

Засоренность рисового поля при разных водных режимах в период прорастание — всходы (число просянок на 1 $м^2$)

Фазы вегетации риса	Водный режим		
	постоянное затопление	укороченное затопление	затопление с перерывом
Всходы — два листа	31	284	36
Всходы — три листа	20	362	24
Начало кущения	14	394	16

При укороченном затоплении к моменту кущения сорняков на 1 $м^2$ в 25 раз больше, чем при двух других типах водного режима. Затопление с перерывом подавляет сорняки и в то же время имеет существенное преимущество перед непрерывным затоплением, создавая более благоприятные условия для развития риса.

Таблица 12

Развитие риса различных сортов при разных водных режимах в период прорастание — всходы (по Е. П. Алешину)

Показатели	Дубовский 129			Краснодарский 424		
	непрерывное затопление	укороченное затопление	затопление с перерывом	непрерывное затопление	укороченное затопление	затопление с перерывом
Число растений на 1 $м^2$ в фазу:						
всходы — два листа	194	341	388	289	354	345
всходы — три листа	167	289	289	270	311	320
Начало кущения	160	113	230	205	162	290
Полная спелость	152	113	227	200	154	285
Урожай, *ц/га*	28	10,5	38,5	34	14,2	43

Укороченное затопление создает условия для получения хороших всходов риса, но не менее успешно развиваются и просянки, которые затем вызывают изреживание риса. В результате к моменту полной спелости число растений оказывается на 30% меньше, чем при непрерывном затоплении. В то же время после непрерывного затопления поле остается сравнительно чистым от сорняков, и урожай в этом случае более чем в 2 раза превышает урожай, полученный при укороченном затоплении. Еще лучшие результаты дает затопление с перерывом на время всходов. Этот водный режим и может быть рекомендован для периода прорастание — всходы, как наиболее удачно из всех предложенных ранее решающий задачу борьбы с просянками при одновременном создании хороших условий для развития риса.

Глубокое затопление не только губительно сказывается на развитии просянок, но и подавляет прорастание клубнекамыша, этого второго злостного сорняка риса [63] (табл. 13).

Таблица 13

Прорастание клубнекамыша в зависимости от глубины заделки клубней и слоя воды (в %; по В. К. Сапелкину)

Глубина заделки клубней, *см*	Слой воды, *см*			
	0	10	20	30
1	83,2	57,5	32,5	15,0
10	35,0	15,5	7,5	0
20	8,5	3,0	0	0
30	0	0	0	0

Водный режим может оказать существенное влияние на развитие риса не только во время прорастания, но и в период кущения. Малая глубина затопления ускоряет и стимулирует энергичное кущение. Таким путем можно создать нужную густоту травостоя и при изреженных всходах, так как рис обладает почти неограниченной способностью куститься, если имеются благоприятные условия. При этом метелки образуются не только на главном стебле, но и на боковых. Каждый из последующих по времени возникновения боковых побегов дает метелку, созревающую несколько

позже, что во время уборки ведет к потере значительной части урожая. Сильное кущение влечет за собой также удлинение вегетационного периода. В условиях большинства районов СССР образование на одном растении более 2—3 побегов нежелательно. К началу кущения обычно рекомендуется слой затопления понижать до 5 *см*. Это вызывает повышение температуры воды в области конуса нарастания и усиленное кущение. Но в таких условиях дифференциация зачаточных метелок проходит быстро и метелка получается короткой, с малым числом колосков. Вторичные веточки почти не образуются. Если этот процесс протекает при более глубоком слое воды и соответственно пониженных температурах, то кущение подавляется, а развитие зачаточных метелок растягивается. Они успевают вырасти в длину и образуют много вторичных веточек. Получается более озерненная метелка, дающая высокий урожай (табл. 14).

Таблица 14

Влияние водного режима в период дифференциации метелки на развитие метелки и урожай риса (по Т. М. Фенелоновой)

Варианты опыта	Глубина воды, *см*	Температура воды, *град*	Число колосков на метелке	Урожай, *ц/га*
Контроль	10—13	25,0	80	36,2
Глубокое затопление . . .	25—30	23,4	100	49,1
Проточность	17—18	24,0	101	50,6

В свете этих фактов целесообразность принятого в практике понижения глубины затопления в период кущения (до 5 *см*) является спорной. Во всяком случае при неизреженных всходах прибегать к нему нет надобности.

В период от кущения до созревания следует держать слой затопления в среднем 10—15 *см*. Ни в коем случае нельзя допускать отсутствия слоя воды в фазу трубкование — выметывание — цветение, так как это может вызвать пустозерность и снижение урожая.

В районах с жарким климатом, где стоячая вода на чеках нагревается выше 40°, необходимо организовать ее проточность по чекам. В северных районах рисосеяния

проточность, наоборот, может привести к отрицательным результатам (рис. 12). В долине р. Кафирнигана в Таджикистане климат жаркий. Но вода в реках, берущих начало в ледниках Памира, очень холодная. Местные рисоводы в начале цепочки чеков оставляют один или два незасеянных чека, проходя по которым вода обогревается. Для той же цели воду выше системы нередко пропускают через затопленные низинки и болота. В северных районах Японии, где температура воздуха ночью опускается до 13°, температура воды на чеках при глубоком затоплении не бывает ниже 16—17°.

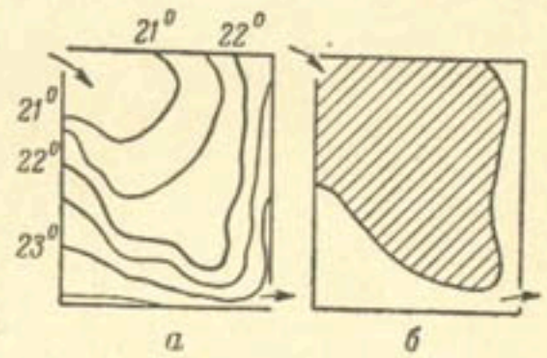


Рис. 12. Температурный режим и развитие риса при проточности (Япония) (по Чжу Ши-лину):

а — изотермы воды; *б* — на заштрихованной части рис созрел неполностью.

Слой затопления понижают или сбрасывают совсем для проведения прополок и подкормок, при борьбе с болезнями, водорослями и вредителями риса. Но доводить при этом почву до полного высыхания крайне нежелательно, так как может произойти отмирание корней, приспособленных к анаэробным условиям, и начнется нарастание новых корней с корневыми волосками. Кроме того, всякое уменьшение слоя воды обычно влечет за собой увеличение числа сорняков [98].

Прерывистые поливы риса изучали очень многие авторы [19]. В результате получены весьма противоречивые данные. Это вызвано двумя причинами: 1) механически назначенные схемы — 5 дней полив, 5 дней перерыв; 10 дней полив, 5 дней перерыв и т. п. — попадают на самые различные периоды развития рисового растения; 2) само понятие «перерыв» в орошении в большинстве случаев остается совершенно неопределенным. В результате перерыва в подаче воды на рисовом поле может или уменьшиться глубина затопления, или оно полностью освободится от воды. В первом случае, если это будет в северном районе рисосеяния, результат может быть положительным, так как

лучше прогревается вода и почва. В южных районах, наоборот, может быть перегрев воды и почвы, что отрицательно скажется на развитии риса.

После созревания риса при машинной уборке необходимо заблаговременно сбросить слой воды и осушить поверхность поля. Опытами установлено, что сброс воды по достижении рисом восковой спелости не вызывает существенного снижения урожая. Если рис убирают вручную, то поле может оставаться влажным или даже залитым водой. На полях, где были получены изреженные всходы, а потом отмечалось сильное кущение, дату начала их осушения следует устанавливать с учетом того, с чего будет получена основная доля урожая: с главных метелок или метелок подгона. Это вызвано тем, что когда главные метелки будут иметь восковую спелость, метелки подгона могут находиться еще в стадии молочной спелости. Осушать поля следует без сброса сразу полного слоя затопления. Это может повести к массовому полеганию риса. Целесообразно прекратить подачу воды заблаговременно с таким расчетом, чтобы к наступлению восковой спелости она полностью впиталась и испарилась. Такой порядок осеннего предуборочного осушения полей не только уменьшает вероятность полегания риса, но и обеспечивает более экономное расходование оросительной воды, не перегружает сбросную водоотводную сеть.

Применительно к рисовым районам СССР может быть рекомендован следующий водный режим культуры затопляемого риса. После посева поле заливают водой слоем 10—20 *см*, который во время проклевывания большинства зерен риса сбрасывают. До появления всходов, если это необходимо, дают увлажнительные поливы. После появления всходов в фазе шила поле повторно затопляют, причем глубину слоя поддерживают такой, чтобы листья ни одной из просянок не появились на поверхности воды.

В фазе кущения при хорошей густоте всходов можно дать глубокое затопление, что повышает урожай. Если кущение надо усилить, толщину слоя воды снижают до 5 *см*.

Если возникнет необходимость повысить температуру рисового поля (вода, почва, приземный слой воздуха), то глубину затопления уменьшают; если же температуру надо понизить, глубину слоя увеличивают или устанавливают проточность.

Сбрасывать воду с рисового поля в период от кущения до созревания следует только при реальной необходимости (борьба с вредителями, подкормка). После выполнения работ слой затопления должен быть немедленно восстановлен.

В фазе трубкование — выметывание — цветение сброс воды недопустим. В фазе молочной спелости рекомендуется прекратить подачу воды, а при наступлении восковой спелости возможен окончательный сброс и осушение рисовых полей.

В предлагаемой схеме водного режима отражены современные представления о роли слоя воды при культуре затопляемого риса. Однако эта схема не может быть абсолютной. Каждый рисовый район должен иметь свой водный режим с учетом изложенных выше общих принципов, специфики местных гидрометеорологических условий, возможностей хозяйства и хода развития самого риса.

В первый, наиболее ответственный период жизни риса водный режим в значительной степени определяется необходимостью борьбы с сорняками. Наряду с этим разрабатываются приемы уничтожения сорняков агротехническими средствами. Так, Дальневосточная рисовая опытная станция предложила способ посева риса с глубокой (5 *см*) заделкой. Прорастание и всходы получаются без поливов за счет естественной влажности почвы. До появления всходов проводят обработки, уничтожающие сорняки. Узбекская рисовая станция предлагает поздний срок посева (10 мая), чтобы до него многократными обработками очистить почву от всходов сорняков. Наконец, создаются специальные гербициды (3,4-дихлорпропионанилид, 2,6-дихлорбензонитрил и др.), которые в соответствующих дозировках поражают просянки, не действуя на всходы риса. По мере совершенствования агротехники и очистки рисовых полей от сорняков роль водного режима в борьбе с ними будет уменьшаться и водный режим для периода посев — кущение получит существенные уточнения.

Глава III

Рис на засоленных землях

Солевыносливость риса

Под культуру затопляемого риса могут быть заняты большие площади засоленных земель. Рис относят к культурам средней солевыносливости, помещая его в ряду между овсом на зерно и дыней Канталупой. В то же время отмечается высокая его чувствительность к засолению в период от посева до всходов. Лучшая для риса концентрация почвенного раствора считается в пределах 0,002—0,004% твердого остатка. По другим источникам, в ранний период содержание солей не должно быть более 0,06%, а взрослый рис выдерживает засоление почвы до 1% [15,35].

Детальные исследования, выполненные Кубанской рисовой опытной станцией (К. С. Кириченко), показали, что большое значение имеет не только количество солей, но и их качественный состав. Установлено, что семена риса Дунганшалы гибнут при наличии в почве $NaCO_2$ свыше 0,1% или NaCl свыше 0,2%. Но даже при 0,5% Na_2SO_4 семена укоренились и дали всходы [38].

С первого дня затопления рисового поля соли автоматически промываются, поэтому предельные нормы засоления, получаемые в вегетационных сосудах, занижены. В условиях Мугани почвы считаются годными для возделывания риса, если в верхнем 10-сантиметровом слое засоление по хлору не превышает 0,3%, а по сернокислым солям — 2% [15]. В Индии рис возделывают на почвах, в которых содержание Na_2CO_3 не превышает 0,2%, NaCl — 0,4% и NaS_4 — 0,6%.

Кроме того, что рис можно возделывать на засоленных землях, он допускает орошение водой повышенной солености. Известно даже, что рис выдерживает единовременное затопление морской водой, которая вся впитывается на месте [35].

Степень соленовыносливости риса изменяется в зависимости от сорта. Индийские сорта Садамода

№ 55—308, Хохла № 55—940 и Бахра № 54—15—5 можно выращивать на почвах с общим содержанием солей от 0,5 до 4,5%.

Возделывание риса на засоленных почвах

На тяжелых засоленных почвах сразу после посева риса необходимо создавать небольшой слой затопления при непрерывном токе воды. В этих условиях обеспечивается опреснение поверхностного слоя почвы от 1 до 5 см, чего вполне достаточно для получения нормальных всходов. На легкопроницаемых почвах, имеющих значительную вертикальную фильтрацию, не требуется непрерывная проточность. На засоленных почвах нельзя допускать длительного отсутствия слоя воды на чеках. Незалитая почва начинает подсыхать, и капиллярным током к поверхности подаются все новые порции соленых грунтовых вод. В результате концентрация почвенного раствора быстро возрастает и всходы катастрофически изреживаются. Хорошие результаты дает посев предварительно замоченных семян в воду на заранее затопленные чеки. На засоленных землях уже в первый год их освоения получают достаточно высокие урожаи риса (табл. 15).

Таблица 15

Урожай риса в первый год освоения засоленных земель
(Южная Мугань; по А. И. Гаричкину)

Сорт	Площадь посева, *га*	Засоление метровой толщи. Плотный остаток, %	Урожай, *ц/га*
Чампо	2,5	3,03	54,1
Садри	20,0	3,27	30,7
Сандри	15,0	3,51	25,2
Чиляй	6,0	2,24	20,6

Глубокая вспашка засоленной почвы отрицательно сказывается на развитии риса, так как при этом наверх выворачиваются наиболее засоленные горизонты почвы.

Приведенные в таблице 15 урожаи получены без предварительной вспашки целинных участков с посевом замоченными семенами в затопленные чеки [15].

Некоторая проточность воды на рисовом поле может оказаться необходимой в течение всего оросительного периода. Без сбросов и проточности вода в чеке испаряется, непрерывно увеличивая концентрацию солей (рис. 13). Концентрация солей прекратилась при

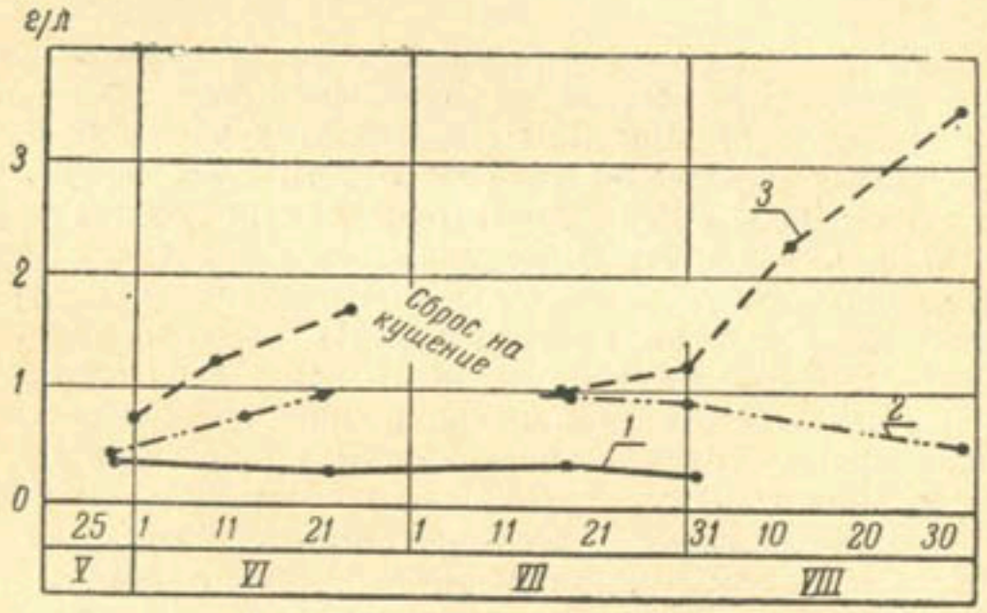


Рис. 13. Содержание солей (в *г/л*) в поливной воде и на чеках (дельта р. Терека):
1—вода в оросителе; *2*—вода в проточном чеке; *3*—вода в непроточном чеке.

сбросе воды на период кущения. Затем чек наполняется новой порцией пресной воды из оросителя. Наиболее интенсивно концентрируются соли с 31 июля по 10 августа, когда свежая вода в чек совсем не поступала. К 31 августа концентрация солей в непроточном чеке достигает 3,55 *г/л*. Величина проточности при возделывании риса на засоленных землях должна быть тем больше, чем больше величина испарения и чем меньше фильтрация и глубина слоя воды на чеке.

Пресные ирригационные воды, опускаясь вниз под затопленным рисовым полем, оттесняют в стороны более соленые грунтовые воды. В результате их соленость на некотором расстоянии от рисовой системы повышается (табл. 16).

Таблица 16

Минерализация грунтовых вод (в *г/л*) **на рисовом поле и прилегающей территории** (Ростовская область, 1956 г.)

Место отбора проб	Дата отбора проб			
	23 мая		9 сентября	
	сухой остаток	в том числе Cl	сухой остаток	в том числе Cl
Рисовое поле	6,902	1,406	1,136	0,050
Неорошаемый участок в 5 *м* от рисового поля	6,692	1,315	4,359	0,822
То же, в 50 *м*	6,705	1,300	7,209	1,263

В то время как под рисовым полем грунтовые воды сильно опреснились, в 50 *м* от него соленость грунтовых вод повысилась.

При возделывании риса на засоленных землях, помимо обычной сбросной сети, необходима глубокая и исправно действующая оградительная сеть, которая может перехватить верхнюю зону грунтового потока, идущего от рисового поля, и снизить напор в той его части, которая пойдет ниже дна водоотводного канала.

Два-три года возделывания культуры затопляемого риса опреснят почву и грунтовые воды настолько, что на этой территории можно сеять другие культуры, входящие в рисовый севооборот. При следующей ротации риса часто бывает возможно уменьшить расход воды на проточность.

Рис как мелиорирующая культура

В предыдущем разделе рассматривался вопрос об освоении засоленных земель под рис как под основную культуру. Затопляемый рис можно использовать и как «входную» мелиорирующую культуру при сельскохозяйственном освоении засоленных почв. Такой прием известен давно и применяется в ряде стран мира. Обычные осенне-зимние промывки оказывают опресняющее действие только в пределах верхнего метра на легких почвах. На тяжелых почвах опресняется гораздо меньший слой. Длительное затопление при культуре риса

приводит к опреснению не только большой толщи почвы, но и верхней части грунтовых вод (табл. 17). В связи с этим менее вероятна быстрая реставрация засоления.

Таблица 17

Изменение засоленности почвы и минерализация грунтовых вод под влиянием культуры риса (Золотая Орда; по В. А. Ковда)

Показатели, %	Глубина отбора проб, *см*	Оросительные нормы, *м³/га*					
		39 000		45 000		51 000	
		до промывки	после промывки	до промывки	после промывки	до промывки	после промывки
Плотный остаток	0—100	2,8	1,1	2,7	1,4	3,2	1,2
	100—200	1,7	0,6	1,7	0,6	1,8	0,7
	Грунтовые воды	39,5	6,8	33,5	4,3	44,8	5,6
Cl	0—100	0,500	0,007	0,500	0,009	0,700	0,013
	100—200	0,400	0,009	0,300	0,012	0,400	0,015

В результате возделывания риса засоленность почвы уменьшилась в 2—3 раза и грунтовых вод в 5—8 раз.

Применение затопляемого риса как мелиорирующей культуры имеет положительные и отрицательные стороны. Положительные стороны очевидны:

1) высокий промывной эффект, который усиливается тем, что при культуре риса исключается жаркий летний период и как бы смыкаются весенний и осенний периоды естественных дождевых промывок;

2) экономическая выгодность такого вида мелиораций, дающих уже в первый год освоения реальную продукцию и высокий денежный доход, что особо важно при освоении целинных земель;

3) возможность эффективной промывки при миробилитовом засолении (Na_2SO_4), так как при низких осенне-зимних температурах растворимость миробилита резко снижается и промывка становится невозможной. Производство в этом случае «чистых» летних промывок на целый год задерживает возможность продуктивного использования мелиорируемых площадей;

4) более глубокое опреснение почвенной толщи, чем при обычных промывках, а также опреснение грунтовых вод.

К отрицательным сторонам использования риса как мелиорирующей культуры обычно относят следующие:

1) большой расход воды;

2) переполнение коллекторной сети и связанные с этим размывы и оползни;

3) подъем грунтовых вод и развитие процессов вторичного засоления на соседних территориях.

Рассмотрим каждое из этих обстоятельств в отдельности. На Золотоординской опытной станции в Голодной степи имеется обширный материал по расходу воды при промывке затопляемым рисом (табл. 18).

Таблица 18

Эффективность промывки при культуре риса по хлору (в долях процента на вес сухой почвы; по Б. С. Конькову)

№ промывных участков	Оросительная норма, *м³/га*	Содержание Cl в метровом слое	
		до промывки	после промывки
1	9 500	0,205	0,017
2	10 570	0,182	0,018
3	16 000	0,364	0,018
4	21 860	0,242	0,008
5	22 600	0,377	0,061
6	22 540	0,638	0,025
7	33 450	0,531	0,017
8	36 150	0,242	0,006
9	54 000	0,377	0,009
10	64 050	0,259	0,012

Несмотря на огромный диапазон, в котором изменялись оросительные нормы, в промывном эффекте нет разницы. И это вполне понятно. С увеличением количества воды, подаваемой на затопленный рисовый чек, интенсивность фильтрационного оттока ее в сбросную сеть не увеличивается. Следовательно, не возрастает и вынос солей из почвы, а только повышается бесполезный сброс воды в водоотводную сеть.

В условиях Голодной степи, Ферганы, Мугани и юга Украины на тяжелых почвах оросительная норма при ограничении сброса может быть 25—30 тыс. *м³/га* [15, 42, 43]. На легких почвах большая оросительная норма не будет бесполезной и в результате энергичной фильтрации почва быстро опреснится.

В связи с вопросом о затратах воды большой интерес представляет сопоставление, сделанное Э. С. Варунцяном*. На участке закрытого дренажа по Джафарханской системе опреснение почвенной толщи на глубину 6 *м* достигнуто в течение 23 лет в результате отвода 100—110 тыс. $м^3$ воды, профильтровавшейся в дрены. На землях той же опытной станции, при форсированных промывках, опреснение на ту же глубину получено в течение одного года. При этом воды потребовалось в 2—3 раза меньше. Если же учесть, что в процессе подобных «форсированных» мелиораций может быть получен урожай риса, то и водохозяйственная и экономическая целесообразность сочетания промывок с его возделыванием станет бесспорной.

При возделывании риса как промывной культуры коллекторы нередко переполняются, что вызывает оползание и размывание откосов. На этом основании делается вывод о недопустимости применения культуры в таких целях. По данным В. М. Легостаева, фактическая подача воды на рисовые поля в Голодной степи колеблется от 70 до 100 тыс. $м^3/га$. Из них 60—70%, т. е. 50—70 тыс. $м^3/га$, идут в сброс. Естественно, что коллекторы, рассчитанные на отвод дренажного стока с хлопковых полей, не в состоянии пропустить такие огромные количества воды. Но, как показано выше, в этом нет необходимости.

Бесполезный прогон воды из оросительной сети в коллекторную говорит не о пороках культуры риса, а о плохой организации водопользования, что и следует устранить.

А. И. Калашников правильно указывает, что оберегание дрен от поступления в них воды противоречит тому, ради чего эти дрены сделаны [37]. Опыт освоения засолённых земель Центральной Ферганы культурой риса показал целесообразность откачки сбросных вод из коллекторов насосами с повторным ее использованием.

Неоправданно большие оросительные нормы сверх действительно необходимых на водопотребление, фильтрацию и умеренную проточность приводят к сбросам в коллекторную сеть количеств воды, на которые она не рассчитана. Переполненный в течение всего оросительного периода коллектор сам является одним из факторов подъема грунтовых вод и ухудшения мелиоративного состояния прилегающей территории, в то время как при правильной эксплуатации с применением технически обоснованных оросительных норм посевы затопляемого риса не создают угрозы заболачивания и вторичного засоления для соседних территорий.

Если для полива затопляемого риса используют засоленную воду, то в почве наблюдается повышение содержания солей. Например, вода из залива р. Маныч, которую брали для орошения рисового участка, имела повышенную соленость. Плотный остаток изменялся от 1,001 до 1,899 *г/л*, а содержание хлора — от 0,345 до 0,546. На этом участке сложился своеобразный солевой режим почвы [24] (табл. 19).

Таблица 19

Состав водных вытяжек почвы колхоза «Пламя революции» Ростовской области (в % на сухую навеску)

Горизонты, *см*	Время отбора проб	Плотный остаток, *г/л*	В том числе	
			SO_4	Cl
0—30	До затопления	0,062	0,003	0,003
	После осеннего сброса	0,139	0,030	0,014
60—100	До затопления	0,124	0,001	0,011
	После осеннего сброса	0,141	0,036	0,018

На рассматриваемом участке в зимне-весенний период под влиянием выпадающих осадков опресняется поверхностный слой почвы и соли вмываются в более глубокие горизонты, а за лето, в результате орошения риса водой с повышенной соленостью, содержание солей в почве увеличивается. Вода, применяемая для орошения риса, возделываемого в качестве промывной культуры, должна быть пресной.

В Пакистане широко практикуется мелиорация засоленных земель с помощью культуры риса. Рис высевается 3 года подряд. За последние 15 лет таким путем только в одном Пенджабе было вновь введено в оборот более 100 тыс. *га*. Но высокое стояние грунтовых вод и отсутствие дренажа привели к тому, что примерно на такой же площади прилегающей территории мелиоративное состояние земель было ухудшено.

* Журн. «Гидротехника и мелиорация» № 9, 1962.

Исправно действующая и достаточно развитая дренажная сеть — непременное условие при промывках с помощью культуры риса. На сбросной и дренажной сети в этом случае нельзя делать подпоры, как это рекомендуется при обычном орошении риса. Сток поверхностных и фильтрационных вод должен быть беспрепятственным.

Техника производства промывных поливов

При сельскохозяйственном освоении засоленных почв рис является временной промывной культурой, не входящей в постоянный севооборот хозяйства, организуемого на засоленных землях. Поэтому всю постоянную оросительную и дренажную сеть проектируют из расчета на основную культуру. Дополнительные устройства, которые требуются для культуры риса (валики, оросители, сбросы), делают временными.

Размер и расположение площадей, включаемых под рисовую промывку, определяют на основании пропускной способности проводящих звеньев оросительной и дренажной сети. Пропускная способность участковых оросителей и групповых распределителей в связи с непрерывной круглосуточной подачей воды на рисовые поля обычно вполне достаточна. Кроме того, должно быть проверено командование горизонтов в последнем звене оросительной сети, обеспечивающее создание необходимого слоя затопления на промываемой площади.

При чистых промывках можно допускать любую глубину затопления. При промывках с рисом она может быть не более 30 *см*. Если намечено в целях промывки возделывать рис 2—3 года, то проводить капитальную планировку нецелесообразно. Поэтому трассировать валик нужно очень тщательно. Валики в плане могут быть не прямолинейными. Желательно возможное приближение их трасс к направлению горизонталей.

При промывке к валикам идет непрерывный приток воды, которая с поверхности испаряется. В результате чеки под рисом промываются, а валики — засоляются [79] (табл. 20).

Таблица 20

Сухой остаток в водной вытяжке почвы до промывки с культурой риса и после нее (в % к воздушносухой почве; по А. Ф. Шелаеву и Т. П. Крюгер)

Место отбора пробы	Горизонты, *см*	Время отбора пробы	
		22 мая (до промывки)	5 октября (после промывки)
Солончак в чеке	0— 20	8,84	2,12
	20— 50	6,23	2,67
	50—100	3,39	2,36
	100—150	2,27	1,73
Валик	0—2,5	—	53,80
	2,5—10	—	5,82
	10—20	—	7,18
	20—50	—	6,03

После промывки на поверхности валика создалась типичная солевая корка. Валики в этом случае занимали до 20% общей площади. Когда после промывки они были спланированы, содержащееся в валиках большое количество солей ухудшило результаты промывки основной площади чеков (табл. 21).

Таблица 21

Средний процент содержания солей в полуметровом слое почвы на чеке и в валиках. Рис посева первого года

№ участков	После уборки риса		После планировки валиков
	на чеке	в валиках	на чеке
1	1,530	2,143	1,652
2	2,451	8,619	3,685

В целях повышения конечного качества промывки следует добиваться максимального увеличения площади промывных рисовых чеков. Затоплять чеки целесообразно от середины междудренного пространства по направлению к дренам, чтобы промывные воды расклинивали и отжимали более соленые грунтовые воды к дренам. Временный оросительный канал должен идти по середине междренного пространства. Если промывку с культурой риса предполагается вести 2 года, то ее

целесообразно организовать так, как показано на рисунке 14. Середина междренного пространства обычно промывается значительно хуже, чем участки, более близкие к дренам. Поэтому в первый год целесообразно под рис занять лишь центральную часть междренного пространства, а на второй год засеять всю площадь. Если имеется вероятность оползней и размывов, полосу,

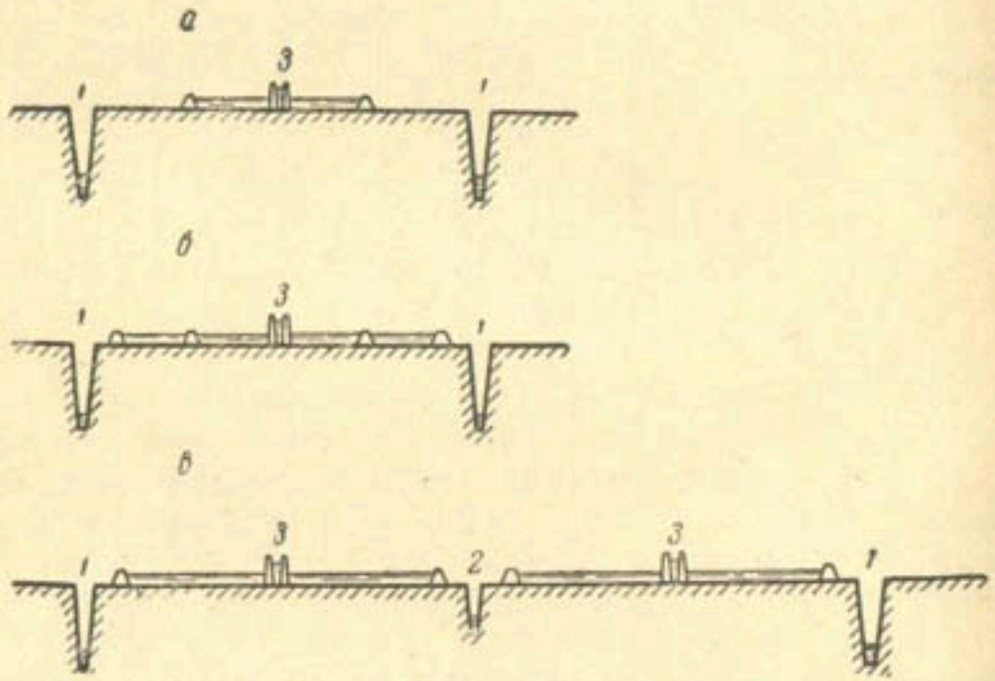


Рис. 14. Схема организации промывок при культуре риса:
а—расстояние между дренами до 500 *м*; первый год; *б*—то же, второй год; *в*—расстояние между дренами более 500 *м*; *1*—постоянные коллекторы; *2*—временный сбросной канал; *3*—временные оросители.

примыкающую к дренам, засевать рисом не следует. Лучше ее промыть отдельными небольшими порциями воды.

Отдельные бугры и неровности должны быть спланированы так, чтобы вода в чеке полностью покрывала поверхность земли, иначе на каждом из выступающих над горизонтом воды бугорков начнут накапливаться соли, так же как на валиках.

При большом расстоянии между дренами может потребоваться устройство временного дополнительного водоотводного канала, проходящего по середине между существующими дренами. Этот канал в основном будет предназначен для отвода поверхностных вод, образующихся в результате создания проточности на рисовых

полях. Он облегчит работу основного дренажа. Глубина временных водоотводных каналов может быть меньше, чем у основных дрен, но не менее 1,2—1,5 *м*.

Промывка с культурой риса — технически гораздо более сложное мероприятие, чем обычная осенне-зимняя. Поэтому применять ее следует лишь при сильном засолении и на тяжелых почвах. Она должна быть во всех деталях предварительно продумана, со строгим соблюдением водохозяйственной дисциплины и подробно разъяснена ее исполнителям.

Глава IV

Грунтовые воды

Режим грунтовых вод под затопленным рисовым полем

Слой воды на поверхности рисового поля в течение всего оросительного периода существенно изменяет гидрогеологическую обстановку на территории рисовой оросительной системы.

После затопления рисового поля идет постепенно замедляющийся процесс промачивания почвы. Впереди фильтрующихся вниз оросительных вод движется капиллярная кайма, которую «всасывают» вогнутые мениски капилляров. Их растянутая поверхностная пленка, стремясь стать плоской, создает за собой давление ниже атмосферного. При смыкании с капиллярной каймой грунтовых вод мениски взаимно снимаются и капиллярная «растянутая» вода обращается в обычную, способную передавать гидростатическое давление. Но даже при достаточном насыщении влагой, если грунт мелкозернист и бесструктурен и в нем содержится только сорбционная вода, передачи гидростатических давлений не произойдет.

Под затопленным рисовым полем возможны две принципиально отличные схемы режима грунтовых вод. По первой схеме после смыкания поверхностных и грунтовых вод они становятся под напор горизонта во-

ды в чеке. На затопленном рисовом поле и под ним создается сплошное водное тело, верхняя поверхность которого — уровень воды в чеке, а нижняя — водоупорное ложе грунтовых вод, существовавших до затопления риса. Такая схема неоднократно описывалась в литературе [65, 72, 114].

Вторая схема экспериментально найдена нами в результате исследований последних лет. По этой схеме в течение всего оросительного периода не происходит смыкания поверхностных и грунтовых вод и пьезометрические давления в существующих грунтовых водах изменяются независимо от уровня воды в чеке.

Для выяснения состояния действительного поведения грунтовых вод под затопленным рисовым полем нами была предложена методика разноглубинных скважин-пьезометров. По этой методике на рисовом поле до его затопления устраивают серию буровых скважин на различной глубине. Скважины обсаживают сплошными стальными трубами без отверстий. Грунтовые воды в них поступают только через нижний открытый конец. В первый год опытов на дно скважины был уложен обратный фильтр (3—5 *см*). Однако в дальнейшем оказалось, что в этом нет надобности. Скважины бурили на расстоянии не менее 1 *м* одна от другой. Наблюдения вели за горизонтами грунтовых вод по скважинам, за горизонтами воды на чеке и в близлежащих оросительных и сбросных каналах. Результаты наблюдений должны быть выражены в единой системе отметок.

В 1959 г. в колхозе им. Горького Дагестанской АССР были проведены наблюдения на целинном участке первого года освоения под рис (рис. 15). Здесь впервые наблюдался режим грунтовых вод, отвечающий первой классической схеме, когда вскоре после затопления происходит смыкание поливных и грунтовых вод. Как видно из графика, горизонты воды во всех скважинах близки к горизонту воды на чеке. В то же время чем глубже скважина, тем соответственно ниже в ней горизонт грунтовых вод, что говорит о движении грунтовых вод сверху вниз.

На рисунке 16 представлены эпюры распределения пьезометрических давлений под затопленным рисовым полем, имевшие место в этом случае. Эпюра «а» 24 мая показывает распределение давлений за сутки до начала

затопления. Воды на чеке еще нет, но оросительная система уже заполнена. Грунтовые воды в связи с этим приобрели напорный характер снизу вверх. Эпюра «б»

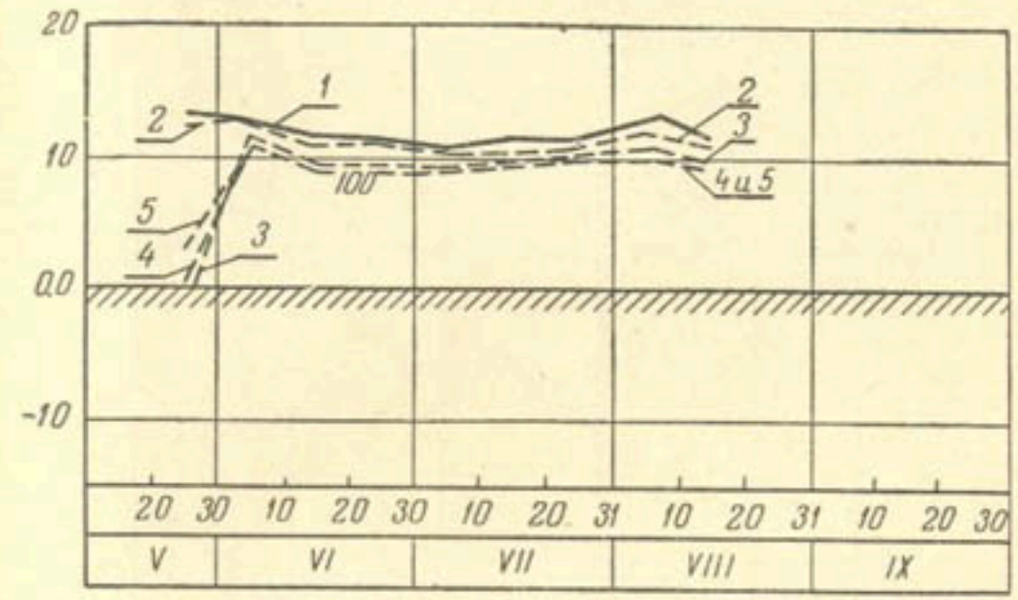


Рис. 15. График горизонтов в скважинах-пьезометрах (колхоз им. М. Горького, Дагестанская АССР, 1959 г.):

1—горизонт воды в чеке; *2*—в скважине глубиной 15 *см*; *3*—в скважине глубиной 30 *см*; *4*—в скважине глубиной 60 *см*; *5*—в скважине глубиной 100 *см*.

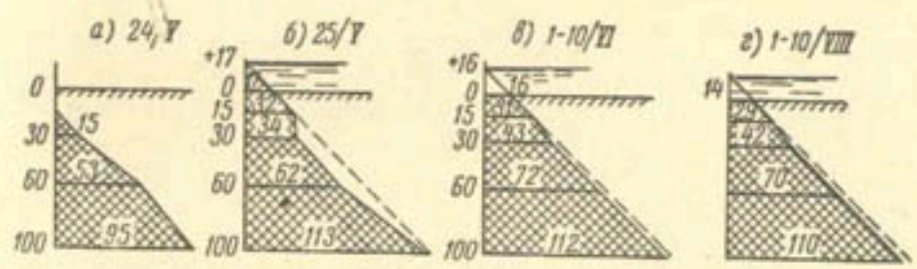


Рис. 16. Эпюры пьезометрических давлений под затопленным рисовым полем (колхоз им. М. Горького, Дагестанская АССР, 1959 г.).

25 мая соответствует первому дню затопления. Оросительные и грунтовые воды сомкнулись, в связи с чем пьезометрическое давление во всех горизонтах увеличилось. До глубины 15 *см* пахотный слой промочен полностью и горизонты в скважине этой глубины совпадают с горизонтами в чеке. В более глубоких горизонтах вода проникала вниз и заполняла свободную влагоемкость почвогрунта; вертикальная фильтрация в этот период

имеет второстепенное значение. Она начинается только после окончания фазы первоначального насыщения. Движение приобретает установившийся характер. Эпюры пьезометрических давлений для других сроков этого периода аналогичны.

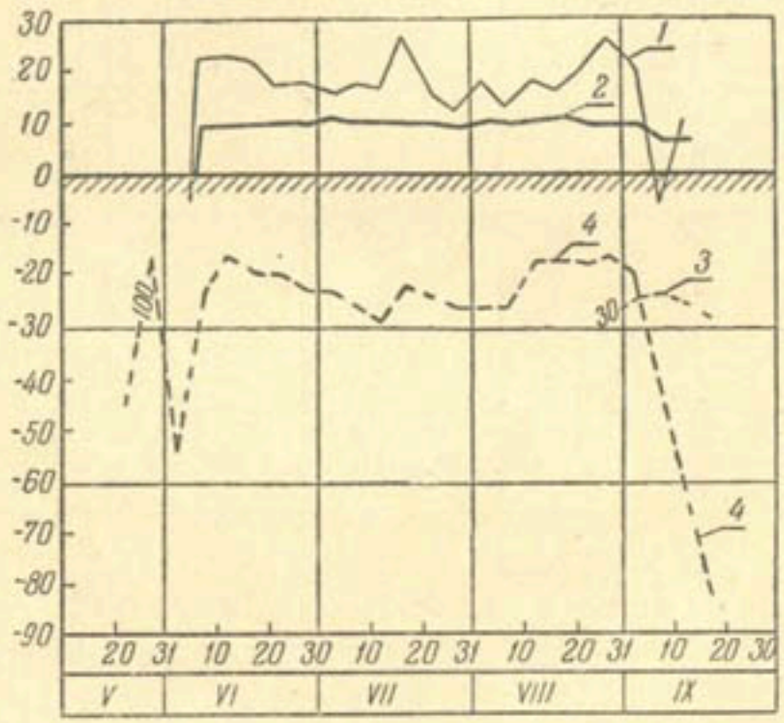


Рис. 17. График горизонтов воды (Кубанская оросительная система, 1958 г.):

1—в оросителе; *2*—на чеке; *3*—в скважине глубиной 30 *см*; *4*—в скважине глубиной 100 *см*.

Характерные черты первой схемы режима грунтовых вод под затопленным рисовым полем: быстрое смыкание ирригационных и собственных грунтовых вод, ясно выраженная и быстро заканчивающаяся фаза промачивания всей толщи грунта, непосредственная связь пьезометрического давления в грунтовых водах с горизонтом воды в чеке и наличие вертикальной фильтрации, продолжающейся до конца оросительного периода.

Детальные исследования режима грунтовых вод были начаты нами в 1958 г. на Кубанской рисовой опытной станции. На карте 7 рисового поля были заложены скважины-пьезометры на глубину 30, 60 и 100 *см*. Предполагалось, что по этим скважинам можно будет проследить динамику проникновения оросительных вод

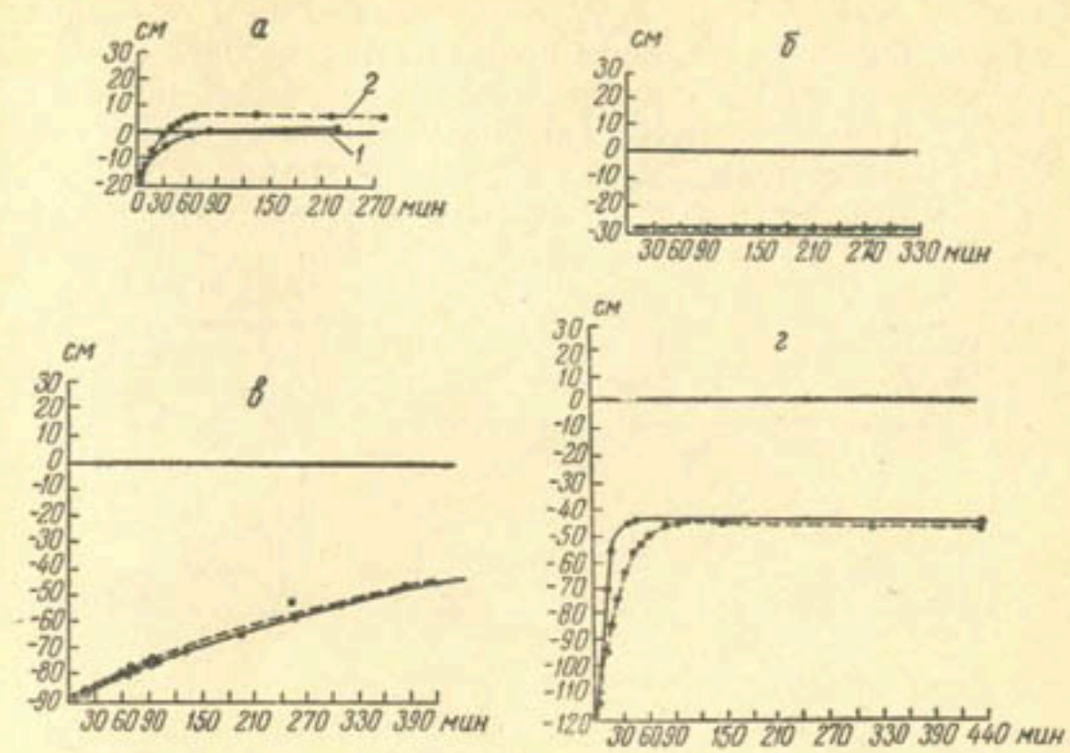


Рис. 18. Графики восстановления горизонтов воды в скважинах пьезометрах после откачки (КубРОС, 1959 г.):

а—скважина глубиной 20 *см*; *б*—глубиной 30 *см*; *в*—глубиной 90 *см*; *г*—глубиной 120 *см*; 1-я откачка 3 июля; 2-я откачка 12 августа.

в глубь почвы. Но в действительности все произошло иначе (рис. 17). Раньше всего вода появилась в скважине глубиной 100 *см*. В скважине, пробуренной на глубину 30 *см*, она показалась только на 72-й день, а в скважине глубиной 60 *см* не была обнаружена до конца оросительного периода. Смыкания поливных и грунтовых вод не произошло. Так впервые был найден режим грунтовых вод под затопленным рисовым полем, отличным от описанной выше классической схемы.

В течение 1959—1961 гг. аналогичные исследования были повторены на Кубанской рисовой опытной станции, на всех трех рисовых системах Краснодарского края, а также в дельте р. Терека. На всех системах Краснодарского края и на старых рисовых землях в дельте р. Терека была обнаружена вторая схема режима грунтовых вод.

На рисунке 18 представлены графики хода восстановления горизонтов воды в скважинах после откачки.

В скважине глубиной 20 *см* горизонт воды устанавливается выше поверхности почвы за 1—1½ часа. В то же время в скважине глубиной 30 *см* он едва покрывает дно. В скважине глубиной 60 *см* в 1959 г., так же как и в предыдущем, вода совсем не появлялась, хотя пьезометры были установлены на другой карте. В скважине глубиной 90 *см* при обеих откачках горизонт воды постепенно поднимался и полностью восстановился лишь к концу вторых суток. В то же время в более глубокой скважине — 120 *см*, заглубленной в водопроницаемый слой, горизонт восстанавливался за один час. Такая динамика восстановления горизонтов говорит об отсутствии связи между поверхностными и грунтовыми водами и о напорном характере собственно грунтовых вод.

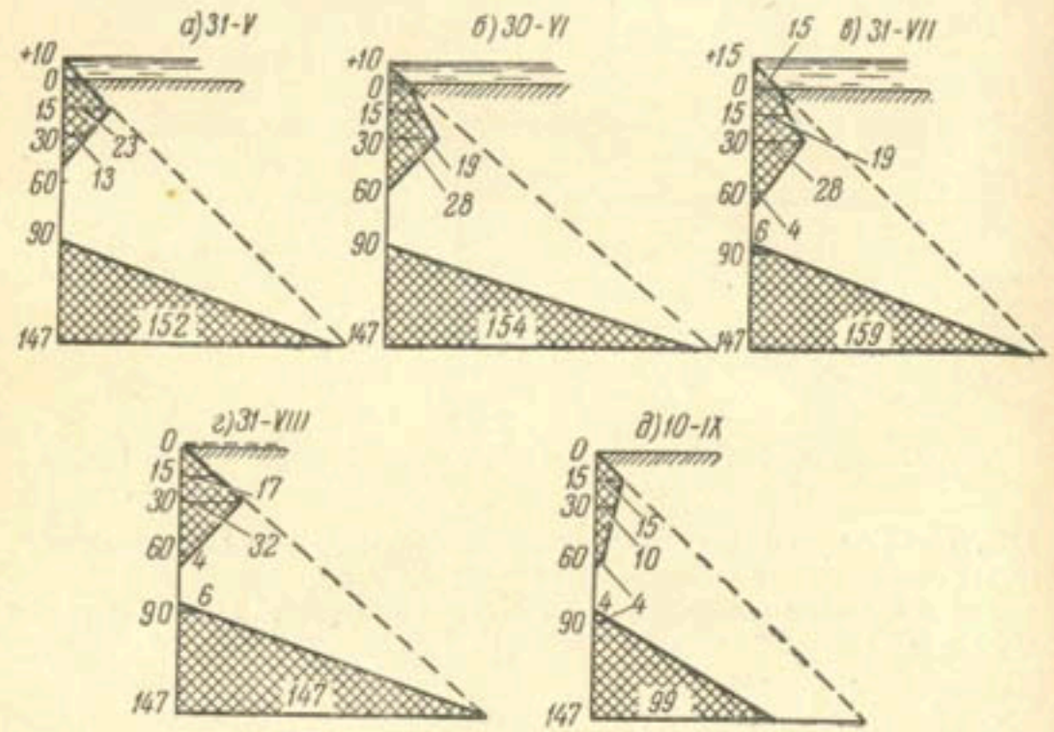


Рис. 19. Эпюры пьезометрических давлений под затопленным рисовым полем (колхоз «Кубань», Афипская система, Краснодарский край, 1961 г.).

Для иллюстрации распределения пьезометрических давлений при второй схеме режима грунтовых вод приведены эпюры, изображенные на рисунке 19. Все они состоят из двух частей: верхней, характеризующей состояние ирригационных вод, и нижней, относящейся к собственно грунтовым водам. В верхней части эпюры заметно постепенное продвижение оросительных вод вниз при одновременном очень медленном нарастании давлений. В нижней зоне никаких существенных изменений не происходит до начала осеннего осушения полей (эпюра «г»). Грунтовые воды здесь имеют напорный характер. Столб воды в скважине глубиной 147 *см* равен 150 *см*, что соответствует положению его зеркала на поверхности почвы. В то же время в более мелких скважинах — 60 и 90 *см* — грунтовая вода вообще не появляется.

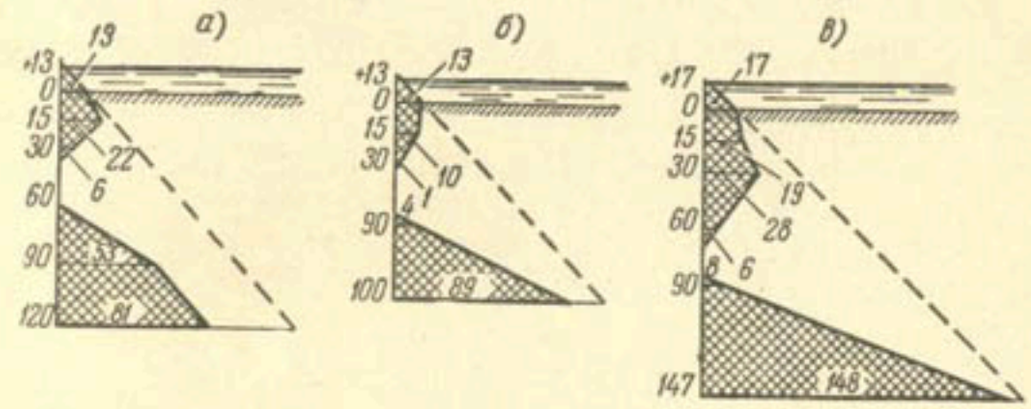


Рис. 20. Эпюры пьезометрических давлений под затопленным рисовым полем:

а — Кубанская система, 1959 г.; *б* — Славянский рисосовхоз, Петровско-Анастасиевская система, 1959 г.; *в* — колхоз „Кубань", Афипская система, 1961 г.

Такой характер распределения давлений под затопленным рисовым полем не является особенностью только этого участка. На рисунке 20 приведены эпюры пьезометрических давлений по первой декаде августа для каждой из трех рисовых оросительных систем Краснодарского края. Они отличаются лишь количественно, а принципиальная схема всюду одна и та же.

При второй схеме режима грунтовых вод под затопленным рисовым полем имеются три различные зоны. В верхней зоне оросительные воды, находящиеся под напором уровня воды в чеке, просачиваются вниз. В средней зоне залегает характерный для рисовых полей бесструктурный слитой горизонт, который и выполняет роль водоупорного экрана. Просочившаяся через него вода не может заполнить все поры в нижележащем

грунте. Здесь создаются условия для фуникулярной формы движения почвенной влаги. Поэтому в погруженных в среднюю зону скважинах и не появляется горизонт грунтовых вод. В нижней, третьей зоне залегают собственно грунтовые воды. Они находятся под напором снизу вверх, определяемым уровнями воды в каналах оросительной сети. В течение оросительного периода оросительные и собственно грунтовые воды не смыкаются.

Итак, под затопленным рисовым полем возможны две схемы режима грунтовых вод: первая — *со смыканием* и вторая — *без смыкания* оросительных и собственно грунтовых вод.

Из девяти участков, на которых велись наблюдения методом разноглубинных скважин-пьезометров, только в одном случае было обнаружено их залегание по первой схеме. Во всех остальных была отмечена вторая схема.

Боковой отток

Боковой фильтрационный отток с затопленного рисового поля составляет часть оросительной нормы риса. Уменьшение оттока служит одним из мероприятий, направленных на уменьшение оросительной нормы. В то же время в осенне-зимний период отток грунтовых вод с рисовых полей необходим в целях просушивания почвы и обогащения ее соединениями, содержащими кислород.

Как сказано было выше, одновременно с наблюдениями по разноглубинным скважинам-пьезометрам измерялись горизонты воды в оросительных и сбросных каналах, а также и на чеках. Их сопоставление с уровнем грунтовых вод в скважинах позволяет выяснить ряд вопросов, относящихся к фильтрационному оттоку грунтовых вод из-под затопленного риса.

На рисунке 21, по результатам наблюдений 1959 г., изображены колебания уровней воды в картовом оросителе, в чеке, в скважине 120 *см* и в картовом сбросном канале карты 7 оросительной системы рисовой опытной станции. Вследствие низких горизонтов в р. Кубани во вторую половину оросительного периода 1959 г. вода в систему подавалась отдельными попусками из

Тщикского водохранилища. Этим обусловливались характерные подъемы и спады горизонтов в оросительных каналах. Благодаря им создалась возможность проследить взаимосвязь поверхностных и грунтовых вод. Колебания уровней воды в оросителе, на чеке, в сбросном

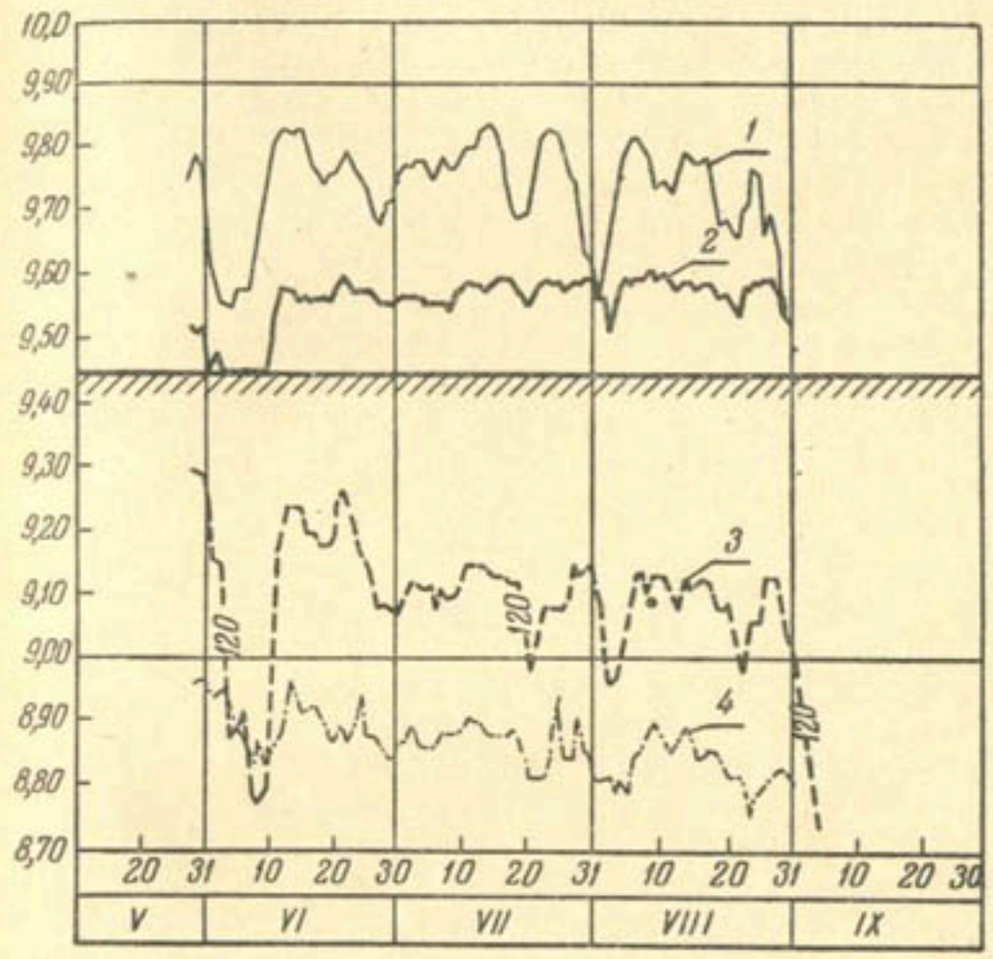


Рис. 21. Совмещенный график поверхностных и грунтовых вод (КубРОС, 1959 г.). Горизонты воды:

1 — в оросителе; *2* — в чеке; *3* — в скважине глубиной 120 *см*; *4* — в картовом сбросе.

канале и в скважине глубиной 120 *см* аналогичны. Возникает вопрос: какие из этих колебаний служат причиной, а какие — следствием?

Повышения и понижения горизонтов воды в чеке, имеющие амплитуду всего 5—10 *см*, не могут быть причиной изменений давления в грунтовых водах, достигающих 20—30 *см* водного столба. Колебания горизонтов воды в сбросном канале также не являются такой при-

чиной, так как максимумы и минимумы в нем наступают позже, а амплитуда меньше, чем у грунтовых вод. Грунтовые воды сами определяют уровень в сбросном канале. При сравнении кривых горизонтов воды в оросителе и в скважине глубиной 120 *см* видно, что они весьма близки между собой как по времени наступления максимумов и минимумов, так и по амплитудам. Изменения напоров в грунтовых водах вызываются колебаниями уровня воды в оросителе. При втором типе режим собственно грунтовых вод на рисовом поле в течение оросительного периода зависит от работы ирригационной сети, так же как и на обычных оросительных системах.

После образования слоя затопления на рисовых полях поток фильтрационных вод может выйти за пределы карты и системы в целом только по их периметру. Расход этого оттока может быть подсчитан по формуле Дюпюи или одной из основанных на ней формул:

$$q_у = K_ф \frac{h_1^2 - h_2^2}{2l}, \qquad (1)$$

где $q_у$ — удельный расход;

$K_ф$ — коэффициент фильтрации;

l — расстояние между сечением 1—1 и 2—2.

В эту формулу не входит ширина участка (B), на котором образуется поток грунтовых вод.

С. Ф. Аверьянов, рассматривая вопросы фильтрации воды из каналов, дает решение схемы подпертой фильтрации с учетом ширины B, на которой образуется поток грунтовых вод [3]. В этом случае фильтрационный расход

$$q_у = \beta q_D, \qquad (2)$$

где q_D — расход, полученный по формуле Дюпюи.

Из составленной С. Ф. Аверьяновым таблицы значений коэффициента β следует, что для соотношений величин средней глубины грунтового потока, расстояния до дрены и ширины участка, покрытого водой, которые могут быть в условиях рисовых полей, коэффициент β весьма близок к единице. В этом случае есть все основания пользоваться формулой Дюпюи в ее неизменном виде.

Изложенные соображения, а также условия квадратичности элементов сетки движения дали основание предположить, что «активная зона», в которой происходит движение грунтовых вод, сравнительно невелика и под рисовой картой имеется область застойных грунтовых вод, которые не принимают участия в боковом

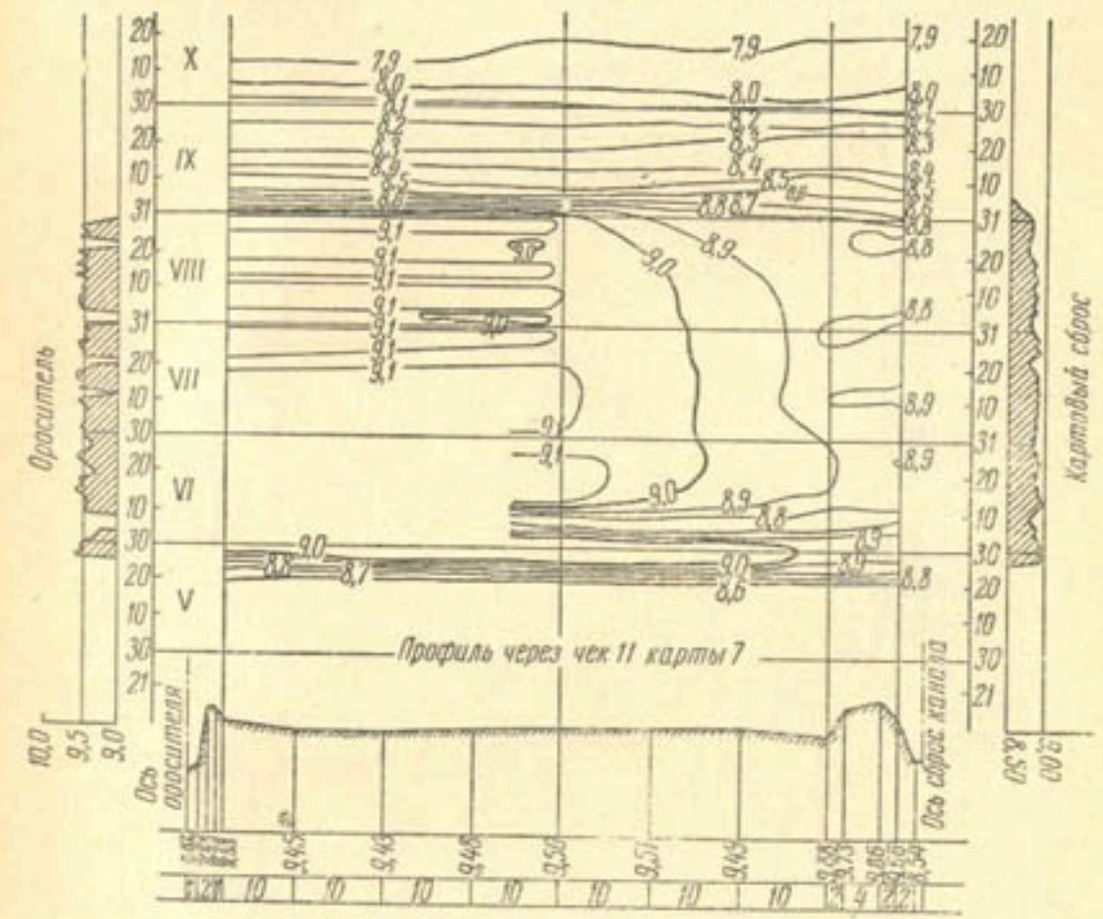


Рис. 22. Гидроизоплеты грунтовых вод. Створ поперек карты (КубРОС, 1959 г.).

фильтрационном оттоке. Это предположение было проверено методом ЭГДА в лаборатории Московского гидромелиоративного института и полностью подтвердилось.

На карте 5 Кубанской рисовой опытной станции был устроен створ скважин, идущих от оросителя через чек до сбросного канала. Эти скважины пробурены до вскрытия грунтовых вод. В створе скважин были установлены наблюдательные рейки в оросителе, чеке и сбросе. На рисунке 22 представлены результаты наблюде-

ний за весь оросительный период, выраженные в виде гидроизоплет. Здесь же, на боковых графиках, нанесены горизонты воды в оросительном и сбросном каналах.

Гидроизоплеты ясно показывают распространение депрессионной кривой по направлению к картовому сбросу, но только до середины карты. На всей части,

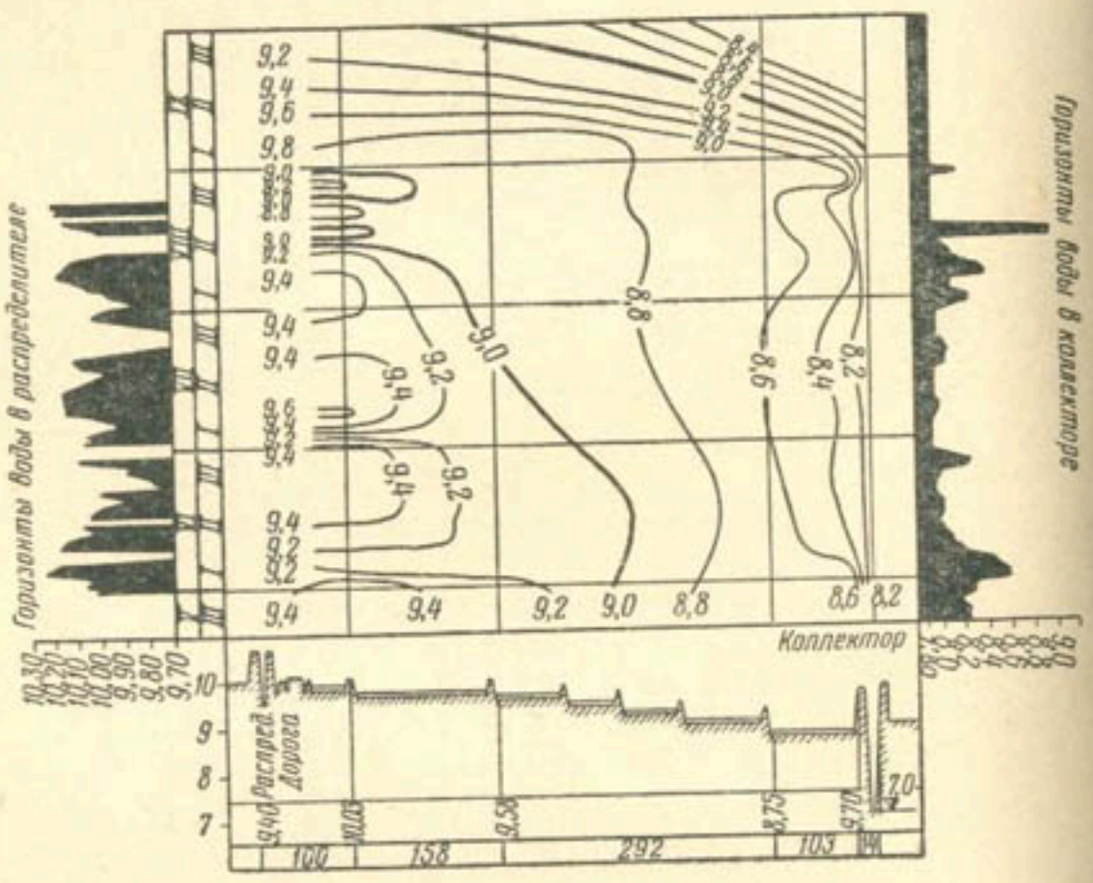


Рис. 23. Гидроизоплеты грунтовых вод. Створ вдоль карты (КубРОС, 1960 г.).

примыкающей к оросителю, давление в грунтовых водах изменится одновременно. Оно определяется горизонтами воды в оросительном канале. После прекращения подачи воды в канал горизонты воды в скважинах на чеке начали быстро опускаться. Характер этого снижения аналогичен с весенним подъемом. Он идет равномерно по всей карте.

На рисунке 23 изображены гидроизоплеты по створу, идущему вдоль карты от распределителя к коллектору. На двух верхних чеках давление в грунтовых во-

дах определяют горизонты воды в распределителе. А далее поверхность грунтовых вод имеет уклон, аналогичный общему уклону местности. В непосредственной близости от коллектора крутизна депрессионной кривой увеличивается. На всем протяжении карты уровень грунтовых вод идет ниже поверхности почвы, хотя все чеки затоплены. После прекращения подачи воды по оросительной сети характер гидроизоплет резко изменяется. Грунтовые воды быстро понижаются по всей длине карты.

Одновременно с этими наблюдениями был определен сток грунтовых вод по картовому сбросу. За оросительный период он превысил 17 тыс. *м*³/*га*. В то же время вертикальная фильтрация на чеках, определенная методом вегетационных сосудов-испарителей *, не достигала и 500 *м*³/*га*. На следующий год эти исследования были повторены по двум картовым сбросам. Одновременно поперек одной из карт установили створ из трех комплектов сосудов-испарителей. В каждый комплект входили испарители с дном и без дна. Сток по обоим картовым сбросам оказался около 19 тыс. *м*³/*га*. Вертикальная фильтрация по-прежнему была ничтожной, не различаясь по величине у оросителя, в центре карты и у сброса. Таким образом было доказано наличие тока грунтовых вод из оросителя в неподтопленный картовый сброс по относительно водопроницаемому слою грунта, залегающему под водоупорной прослойкой, отделяющей его от поверхностных вод затопленного рисового поля.

Режим грунтовых вод под рисовой оросительной системой

На основной фон режима грунтовых вод под рисовой оросительной системой накладываются более высокие пьезометрические давления, создаваемые горизонтами воды в оросительных каналах. Сбросная сеть на незасоленных землях в течение оросительного периода

* О методах вегетационных сосудов-испарителей см. главу V.

держится в подпоре. Можно считать, что, принимая незначительный в этом случае боковой отток с соседних рисовых чеков, заполненные водой сбросные каналы не нарушают общего характера грунтовых вод под системой.

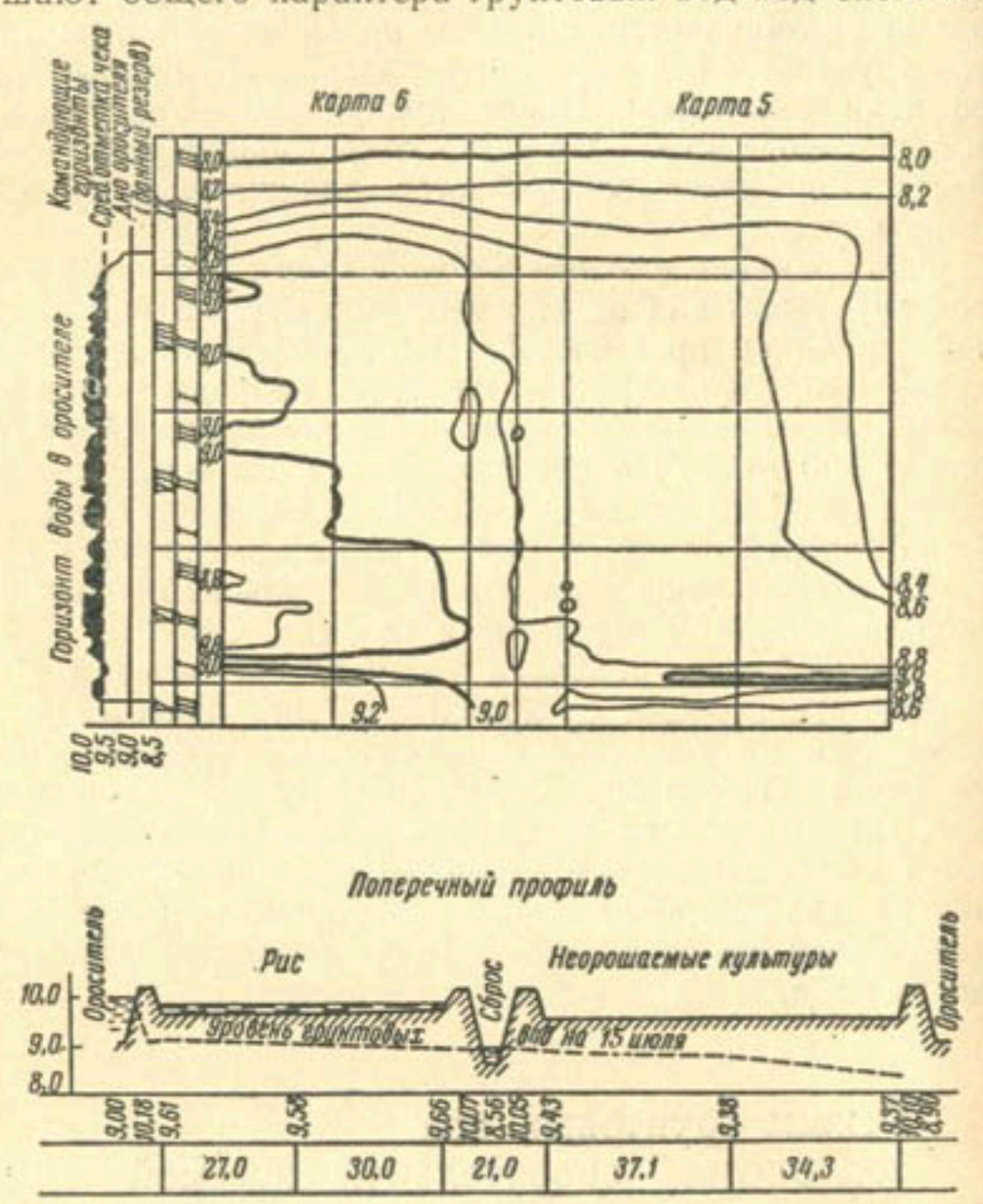


Рис. 24. Гидроизоплеты грунтовых вод. Створ поперек орошаемой и неорошаемой карт (КубРОС, 1961 г.).

Иное действие оказывают водоотводные каналы, ограждающие поля севообороты, не занятые рисом в данную ротацию. Горизонт воды в них поддерживается значительно ниже, чем на соседних затопленных рисовых полях. В эти каналы идет фильтрационный отток

с рисовых чеков. Под ограждаемыми участками обеспечивается более низкий уровень грунтовых вод. Испарение и транспирация еще более снижают его.

На рисунке 24 показаны гидроизоплеты грунтовых вод под затопленной картой 6 с посевами риса и под соседней картой 5, на которой возделывались неорошаемые культуры. В ороситель этой карты вода не поступала. Между картами расположен сброс, глубина которого 1 *м*. Сброс работал без подпора и со свободным стоком фильтрационных вод. Горизонт воды в картовом сбросе «вписался» в общий уклон поверхности грунтовых вод. Через несколько дней после прекращения подачи воды в ороситель дно в сбросном канале подсохло. Одновременно изменился характер гидроизоплет и по обеим картам довольно быстро понизился уровень грунтовых вод.

В первые годы освоения рисовой системы грунтовые воды быстро поднимаются. В течение года уровень в наблюдательных скважинах имеет характерный участок более высоких горизонтов, совпадающих по времени с периодом затопления рисовых полей. Если естественная и искусственная дренированность территории системы обеспечивает отвод за ее пределы той части оросительной воды, которая поступает в грунт, то дальнейший подъем грунтовых вод прекращается. Примером такого типа режима грунтовых вод может служить Кубанская рисовая оросительная система. Она существует уже около 30 лет. Горизонты грунтовых вод из года в год изменяются в одних и тех же пределах. Никаких нарастающих явлений заболачивания или засоления не наблюдается (рис. 25). При начале затопления уровень грунтовых вод резко поднимается, а потом, несмотря на то что поля затоплены, по всем скважинам идет плавное снижение горизонтов. И в период затопления рисовых полей уровень грунтовых вод расположен ниже поверхности почвы. В межполивной период грунтовые воды опускаются на 1,5—2,5 *м* от поверхности почвы. Такой режим наблюдается, как уже было сказано, при хорошей дренированности территории.

Совершенно другой тип режима грунтовых вод дает график по рисовому участку колхоза им. Ленина Ростовской области за 1954—1959 гг. (рис. 26). В 1954—1955 гг., когда оросительная система не работала, грун-

товые воды залегали на глубине 4 *м*. Сильные дожди в апреле 1956 г. вызывали резкий подъем грунтовых вод. А пуск воды в каналы в марте 1957 г. и затопление рисовых полей подняли уровень воды в скважине выше

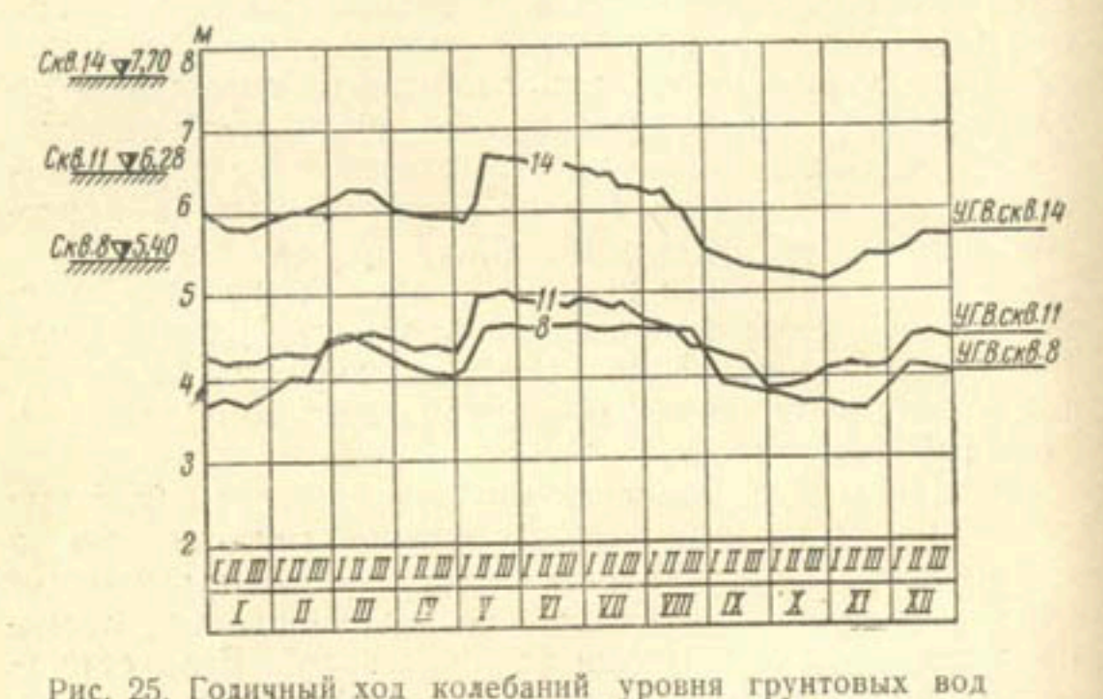


Рис. 25. Годичный ход колебаний уровня грунтовых вод на Кубанской рисовой оросительной системе. 1961 г.

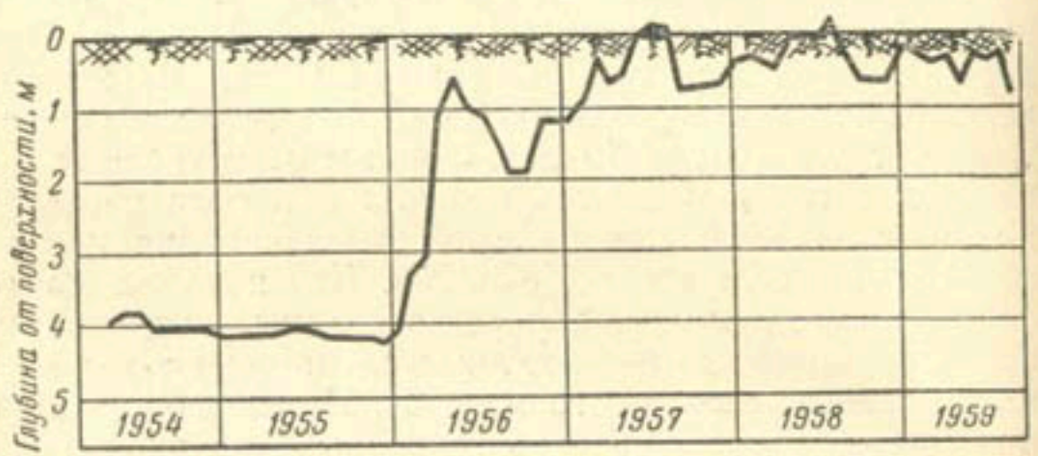


Рис. 26. Динамика уровня грунтовых вод на рисовом участке колхоза им. Ленина Ростовской области.

поверхности почвы. В последующие годы в межполивной период грунтовые воды не опускаются ниже, чем на 0,5—0,75 *м* от поверхности, и участок заболачивается. Такой режим грунтовых вод говорит о необходимости

устройства здесь надлежащей водосбросной и дренажной сети.

Пути оттока за пределы территории системы оросительных вод, поступающих в грунтовые, должны специально рассматриваться в проекте каждой рисовой оросительной системы.

Режим грунтовых вод на прилегающих территориях

Затопленные в течение нескольких месяцев рисовые поля существенно изменяют гидрологический режим не только на самой оросительной системе, но и на прилегающих площадях. Мелкие, технически не благоустроенные рисовые участки не раз служили причиной ухудшения мелиоративного состояния ценных земель, во много раз превосходящих эти участки по площади.

В проекте рисовой оросительной системы должна быть предусмотрена система мероприятий, исключающая возможность подобных явлений.

В число таких мероприятий входят оградительные каналы. Их значение — не допускать заболачивания территорий, прилегающих к рисовым полям. Хотя такие каналы и не могут полностью исключить некоторый подъем грунтовых вод, опыт показывает, что при надлежащем их заглублении, соответствующем действительным гидрогеологическим условиям, могут быть получены практические вполне удовлетворительные результаты. На рисунке 27 показано влияние ограждающей дрены в голодностепских условиях. Вправо от рисового поля идет депрессионная кривая, а влево, за коллектором, грунтовые воды остались почти на том же уровне, что и до затопления рисового поля.

На рисунке 28 представлен график гидроизоплет по створу скважин, расположенных на втором рисовом севообороте совхоза «Цимлянский» Ростовской области. До затопления рисовых полей глубина грунтовых вод была от 2,5 до 3,5 *м*. После затопления их уровень интенсивно поднимался. Картовые сбросы-дрены все время поддерживались в рабочем состоянии, без подпоров, что повлекло за собой повышенную величину ороси-

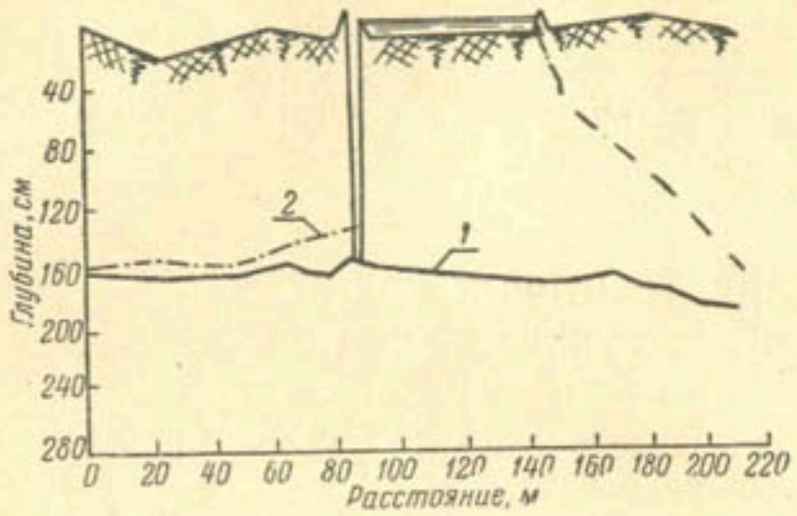


Рис. 27. Перехватывающее влияние открытой дрены на поток грунтовых вод, идущих от рисового поля (Золотая Орда, 1940 г.; по Б. С. Конькову):

1—уровень грунтовых вод до затопления рисового поля; *2*—то же, после затопления.

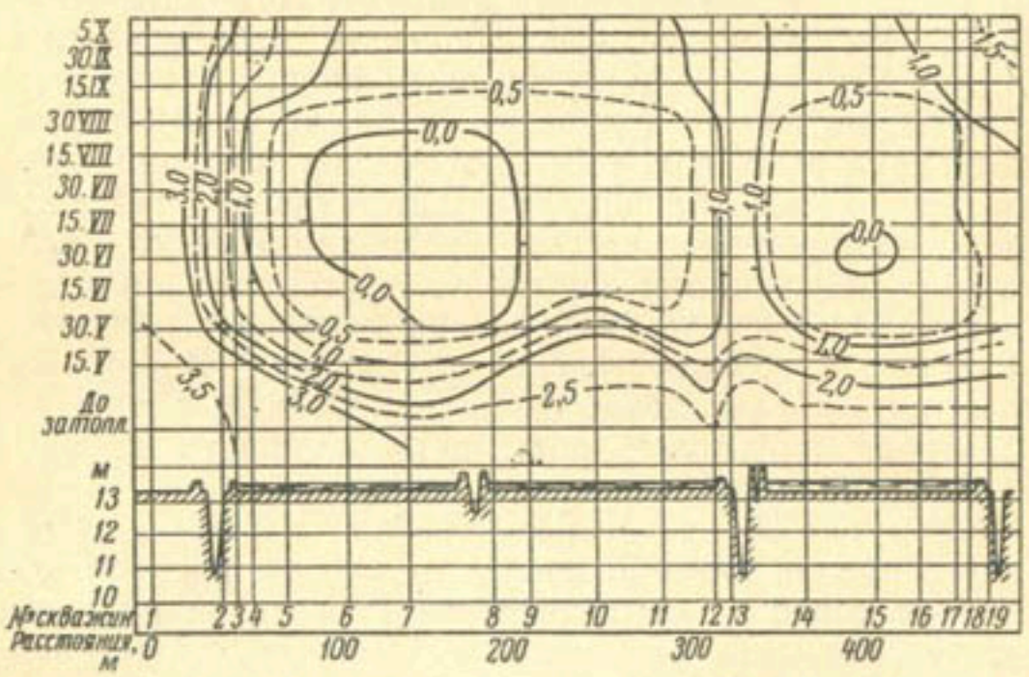


Рис. 28. Гидроизоплеты глубины грунтовых вод от поверхности почвы под рисовым полем и на соседней неорошаемой территории (совхоз Цимлянский, Ростовская область, 1961 г.; по материалам З. Ф. Туляковой).

тельной нормы — 38 *м*³/*га*. Но это было необходимо, так как участок расположен на засоленных землях. На соседнем неорошаемом участке, расположенном влево, в течение всего периода затопления грунтовые воды залегали глубже 3 *м*. В скважине № 1 уровень поднялся только на 0,62. Дрена полностью выполнила свое назначение.

Кубанская рисовая система, огражденная по периметру специальными каналами и углубленными ериками, никакого вредного влияния на соседние территории не оказывает.

Подъем грунтовых вод может также распространяться вверх от орошаемого массива, вызывая подтопление вышерасположенных земель [72]. Поэтому посевы риса по периферии оросительных систем должны обязательно иметь ограждения, исключающие отрицательные явления, вызываемые подтоплением.

Иные гидрогеологические условия наблюдаются, если неорошаемый участок расположен внутри системы. Например, усадебный участок Славянского рисосовхоза размером 1,5×2 *км* находится внутри большого рисового массива на Петровско-Анастасиевской оросительной системе. На этом участке нами в течение трех лет проводились наблюдения за режимом грунтовых вод. Рельеф участка спокойный. В центральной части имеется небольшое понижение. Общая разница отметок в пределах участка не превышает 1,5 *м*. Под слоем растительного грунта мощностью до 0,5 *м* залегают средние суглинки глубиной до 2,5—3 *м*. Ниже, до глубины 6 *м*, идут пластичные глины. К южной части участка встречаются линзы мелкозернистого песка. Со всех сторон участок огражден водоотводными каналами. За ними с южной и восточной сторон идут оросительные каналы. Горизонты воды в них командуют над территорией участка.

Результаты наблюдений представлены в виде гидроизогипс для четырех характерных моментов последнего года наблюдений (рис. 29). Первая картограмма (1 февраля) относится к зиме. Разность отметок уровня воды в скважинах в пределах участка равна 80 *см*. С пуском воды в систему (картограмма на 24 мая) отметки уровней воды в скважинах и уклон образуемой ими пьезометрической поверхности возрастают. Разность отметок

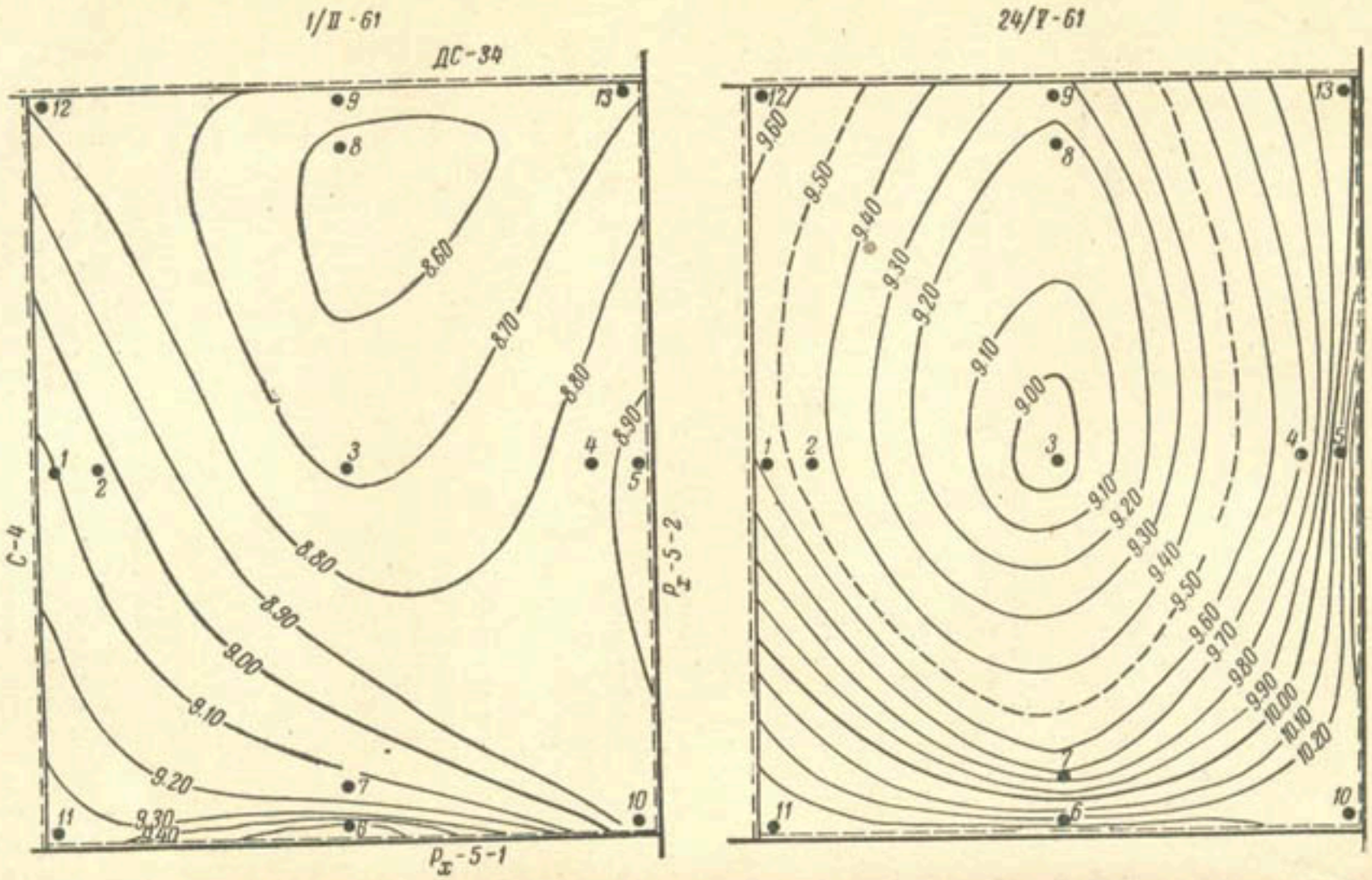


Рис. 29. Гидроизогипсы грунтовых вод под усадебным участком Славянского рисосовхоза.

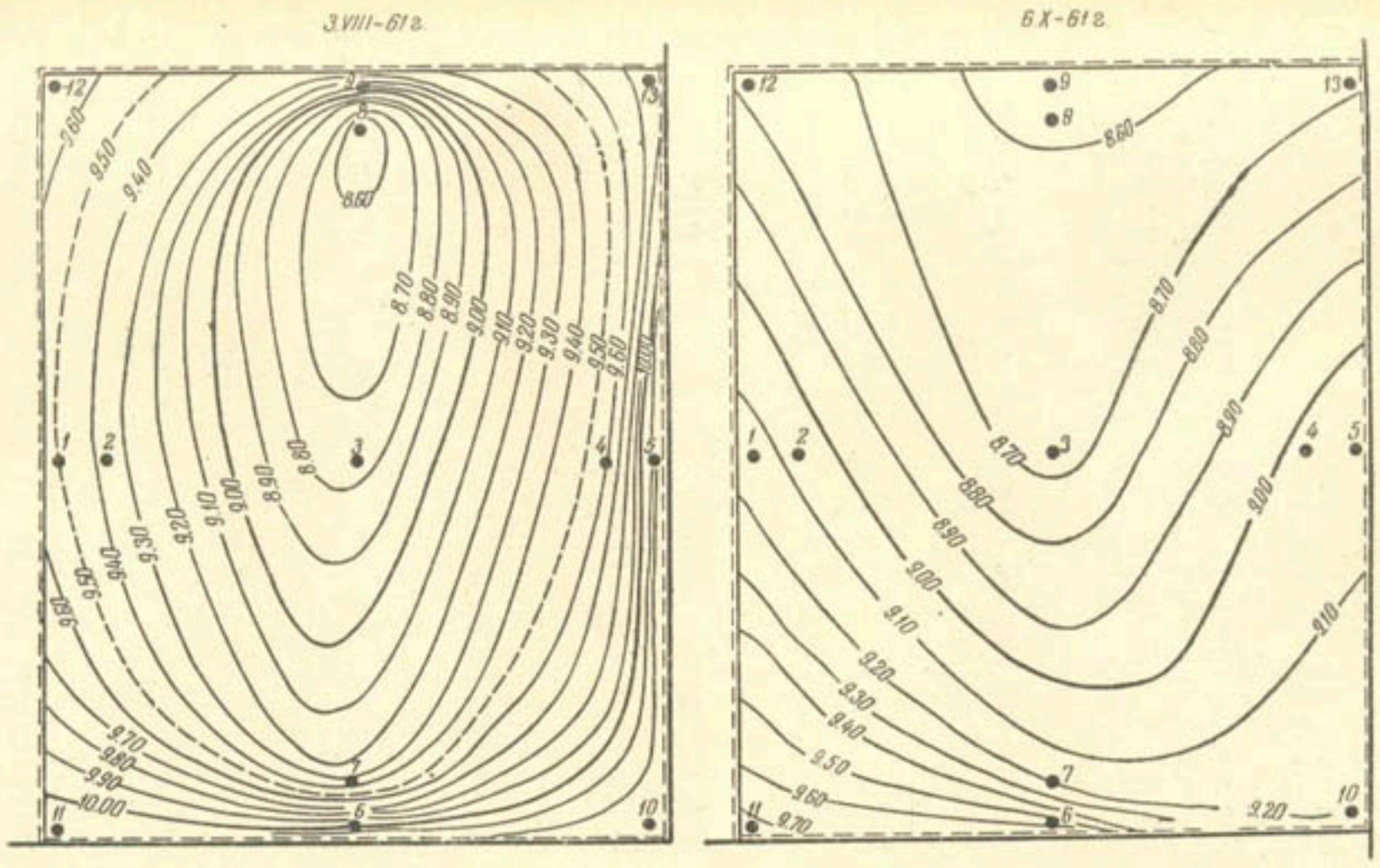


Рис. 29. Продолжение

достигает 1,3 *м*, причем характерно, что края участка имеют более высокие отметки гидроизогипс с мульдообразным понижением их к центральной части. После спуска воды гидроизогипсы быстро принимают такой же характер, как и до затопления рисовых полей.

В течение трех лет (1959—1961), когда проводились наблюдения, в центральной скважине № 3 во время оросительного периода зеркало грунтовых вод не только поднимается, а даже падает (табл. 22).

Таблица 22

Отметки уровней грунтовых вод в скважине № 3

Годы	Июнь	Июль	Август
1959	9,40	8,88	8,63
1960	9,48	8,87	8,51
1961	8,92	8,83	8,71

Это говорит о большом значении испарения в формировании режима грунтовых вод на данном участке.

Интенсивное испарение и высокая минерализация грунтовых вод — более 12 *мг* на литр сухого остатка при 4,5 *мг* хлора может повести к развитию процессов вторичного засоления. Выпадение здесь 550 *мм* осадков в год смягчает, но не исключает такую опасность.

Таким образом, рассмотренные примеры показывают, что территории, прилегающие к рисовым оросительным системам, могут быть ограждены от вредного воздействия затопления соседних рисовых полей, если имеется надлежаще устроенная сбросная и дренажная сеть. Некоторые изменения в режиме грунтовых вод на площадях, непосредственно прилегающих к рисовой системе, безусловно, произойдут.

Устройство внутри большого рисового массива суходольных выключек, лежащих на тех же отметках, что и рисовые поля, даже при наличии кольцевого ограждения, не может быть рекомендовано. Выключки неизбежны при невозможности их орошения по условиям командования. В этом случае и режим грунтовых вод на них будет более благоприятным.

О действительном уровне грунтовых вод

В предыдущих разделах был рассмотрен режим грунтовых вод на рисовых оросительных системах и на прилегающих к ним территориях. О положении грунтовых вод мы судим по уровню воды в смотровых колодцах. Уровень, обнаруженный при бурении колодца, называется горизонтом вскрытия. Часто вскрытая грунтовая вода не остается на этом уровне, а поднимается до более высокой отметки. Горизонт, на котором она установится, называется горизонтом стояния грунтовых вод. Возникают вопросы: который из этих горизонтов отвечает действительному положению уровня грунтовых вод и насколько изложенные выше результаты наблюдений отражают истинное положение вещей?

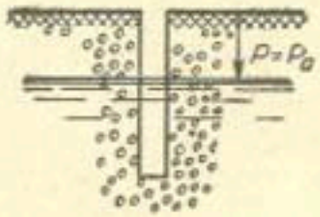
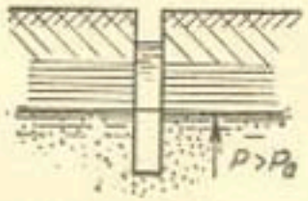
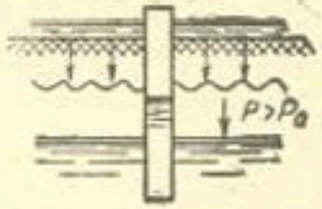
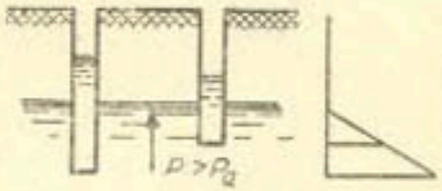
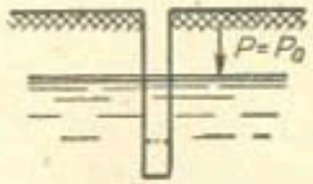
Рассмотрим основные типы залегания грунтовых вод применительно к условиям орошения. В таблице 25 даны схемы залегания и указано, что́ в каждом из случаев следует считать действительным уровнем. Указан способ его определения. Все многообразие явлений, с которыми мы сталкиваемся при исследованиях режима грунтовых вод в ирригированных районах, может быть сведено к пяти основным типам их залегания.

Тип 1 — безнапорный, свободный — грунтовые воды залегают в крупнопористых гравелистых грунтах. На боковой стенке шурфа или колодца в этом случае мениски не могут образоваться и высачивание грунтовых вод в разрез начинается на уровне, соответствующем их действительному залеганию. Горизонты вскрытия и стояния совпадают между собой и соответствуют действительному уровню грунтовых вод.

Тип 2 — напорный, перекрытый — имеется водоупорный слой, перекрывающий более проницаемую водонасыщенную толщу. Подземные воды в этом случае напорные и не имеют свободной поверхности, а являются первым ярусом межпластовых, или «закрытых», подземных вод. Давление в водном теле на уровне подошвы водоупора больше атмосферного.

Абсолютно водонепроницаемых почвогрунтов не существует, и напорные воды на какую-то глубину проникают в толщу водоупорного горизонта. Однако величина

Основные типы залегания грунтовых вод

Подъем зеркала воды в скважине после вскрытия	Почвогрунты	Тип залегания	Схемы	Сопутствующие обстоятельства	Действительный уровень грунтовых вод	Дополнительные наблюдения для определения действительного уровня грунтовых вод
Не происходит	Крупнопористые, галечниковые	1. Безнапорный, свободный		—	Совпадает с уровнем воды в скважине	—
Происходит	Легкопроницаемые, перекрытые сверху водоупорными	2. Напорный, перекрытый		—	Совпадает с подошвой водоупорного горизонта	Путем повторного бурения уточняется совпадение горизонта вскрытия с подошвой перекрывающего водоупорного горизонта. Вскрытые воды являются не грунтовыми, а первым ярусом напорных подземных вод
	Средние и слабопроницаемые, однообразного сложения	3. Воздушно-напорный сверху		Наблюдения ведутся после дождей ливневого характера или после поверхностного затопления значительных площадей	Определяется как горизонт, с которого почва имеет влажность, соответствующую полному насыщению влагоемкости	В результате определения влажности почвы устанавливается относительно сухой горизонт грунта между поверхностными водами и уровнем грунтовых вод
		4. Напорный снизу		Наблюдательный колодец находится в районе действующей оросительной системы, водохранилища или реки в период паводка	Определяется путем графического построения, изображенного на схеме	При закладке контрольной скважины на иную глубину в более глубокой скважине зеркало воды устанавливается на более высокой отметке
		5. Безнапорный, удерживаемый		Никаких осложняющих обстоятельств нет	Совпадает с установившимся уровнем в скважине	При закладке контрольной скважины на иную глубину в обеих скважинах устанавливается один и тот же горизонт

эта невелика, поэтому допустим малую погрешность, принимая подошву водоупора за поверхность водного тела. Но если перекрывающий горизонт все же достаточно водопроницаем, напорные воды могут довольно высоко проникнуть в перекрывающую толщу. Такая схема рассматривается В. А. Малыгиным, а также А. Г. Владимировым, который осложняет ее учетом испарения. В таблице 23 этот случай соответствует типу 4.

Тип 3 — воздушно-напорный. После дождя ливневого характера или после поверхностного затопления достаточно больших площадей по фронту впитывания образуются мениски, энергично «всасывающиеся» в грунт. Вода, проникающая в почву под действием капиллярных сил, оказывает давление на воздух, заключенный в почвенной толще между уровнем грунтовых вод и опускающимся фронтом менисков. Давление воздуха, передаваясь грунтовым водам, вызывает повышение уровня воды в колодцах и скважинах. Подъем зеркала воды в этом случае отражает не действительное повышение уровня грунтовых вод, а лишь возрастание пьезометрических давлений в их толще. Пользуясь формулой Энгельгарта, Ф. П. Саверенский показал, что давление это может достигнуть нескольких десятков сантиметров водяного столба. К. С. Кириченко описывает образование при орошении риса прослойки защемленного воздуха, которая изолирует поливные воды от грунтовых. Во время бурения почвы под затопленным рисовым полем при должной изоляции от поверхностных поливных вод нами были отмечены вспышки характерного шума воздуха, выходящего из почвы в скважину.

Известны случаи передачи гидростатического давления грунтовым водам в стороны от затопляемого канала, в то время как в самом «бугре давления», т. е. под каналом, грунтовые воды буровыми скважинами не обнаруживаются. Надо полагать, что и в этом случае имеет значение передача давлений через почвенный воздух. Для определения действительного положения уровня грунтовых вод надо отобрать пробы почвы на влажность. Характерным признаком для этого типа будет относительно малоувлажненный слой почвы между верхним промоченным горизонтом и уровнем собственно грутовых вод.

Тип 4 — напорный снизу — наблюдается, когда грунтовые воды попадают под напор от «бугра давления», возникшего в результате заполнения каналов или водохранилищ, а также при прохождении паводка в реках. Уровень в наблюдательных колодцах при этом поднимается с быстротой, не соответствующей возможности перемещения масс грунтовой воды из «бугра» ее под каналом или водохранилищем. После затопления рисового поля такое же явление наблюдается в скважинах, расположенных за его пределами. Грунтовые воды приобретают напорный характер, хотя никаким водоупорным пластом их продвижение вверх не ограничено. Это вызвано разницей во времени, затрачиваемом на передачу гидростатического давления в грунтовых водах и необходимом для фактического их перемещения на высоту, соответствующую этому давлению.

Такое залегание грунтовых вод типично для территории оросительных систем после пуска воды в каналы (табл. 24).

Таблица 24

Горизонты вскрытия и стояния грунтовых вод на рисовой оросительной системе до и после пуска воды
(Кубанская система)

Карта	Чек	Скважина	Время наблюдений	Дата	Отметки горизонтов грунтовых вод		Разница в отметках
					вскрытия	стояния	
4	6	2	До пуска воды . .	28/IV	7,90	8,00	0,10
			После пуска	28/V	8,28	9,40	1,12
4	6	4	До пуска воды . .	28/V	7,90	8,00	0,10
			После пуска . . .	21/VI	8,02	8,87	0,85
8	6	13	До пуска воды . .	29/IV	7,51	7,51	0,00
			После пуска . . .	3/VI	7,74	8,62	0,88
8	6	14	До пуска воды . .	29/IV	7,50	7,55	0,05
			После пуска	3/VI	7,82	8,65	0,83

Давление на поверхности грунтовых вод в этом случае, так же как и при типе 3, больше атмосферного, что служит основанием определения их как напорных. Но напорность эта временная, так как после подъема

грунтовых вод на всю высоту напора они станут обычными грунтовыми водами, давление на поверхность которых будет равно атмосферному. Действительный уровень грунтовых вод в этом случае может быть определен путем графического построения, предложенного Е. Л. Минкиным [49].

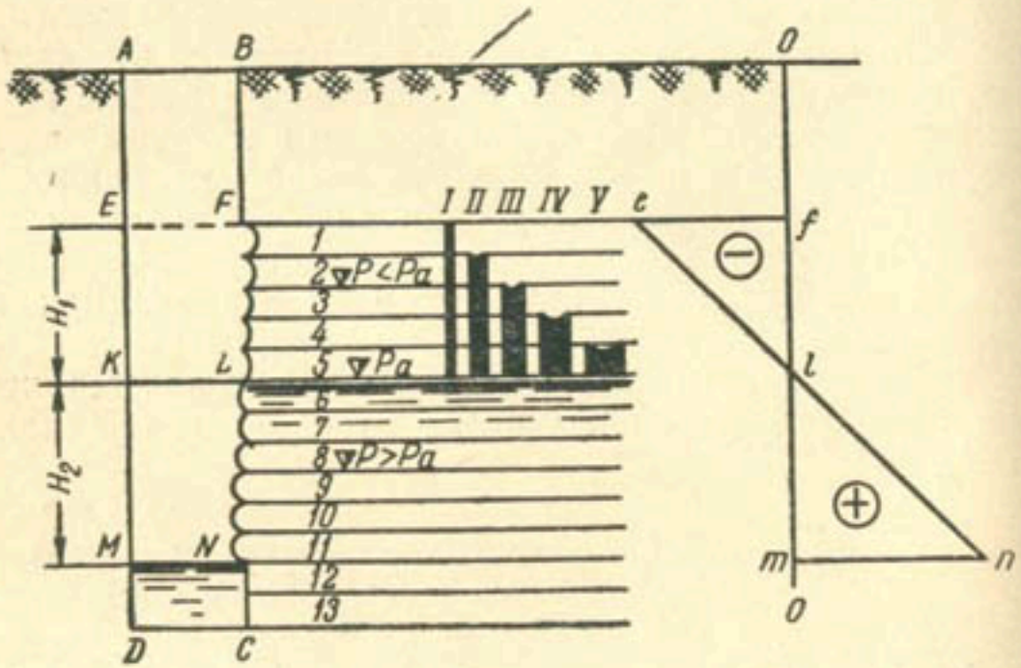


Рис. 30. Схема вскрытия грунтовых вод.

Тип 5 — безнапорный, удерживаемый — характерен в условиях залегания грунтовых вод в тяжелом грунте. При вскрытии колодца до некоторой глубины они удерживаются образующимися на разрезе менисками и не изливаются в разрез. Схематически это явление изображено на рисунке 30. Здесь *ABO* — поверхность почвы, *ABCD* — полость разреза. По мере углубления разреза сверху вниз сначала будет пройдено расстояние *BF*, в пределах которого почвенные воды не содержатся. Затем начинается область капиллярной каймы *FL*. Здесь жидкость удерживается в подвешенном состоянии выше зеркала грунтовых вод *KL* сосущей силой менисков, образующихся в капиллярных порах почвы. На чертеже они схематически изображены в виде трубок *I—V*. Чем меньше капилляр, тем на бо́льшую высоту поднимается в нем вода. Поэтому влагосодержание

в почве будет все время возрастать по мере углубления от *F* к *L*. На поверхности *KL* давление равно атмосферному. С этого уровня начинаются собственно грунтовые воды. Если в почвогрунте имеются крупные поры, в которых не может образоваться мениск, то на уровне *KL* содержащаяся в них гравитационная вода начнет поступать в разрез. Если же таких крупных пор нет, то вода на уровне *KL* не будет высачиваться. На поверхности *FL* от уровня *EF* до *KL* образуются вогнутые мениски разных диаметров, которые удержат капиллярную воду от вытекания ее в разрез. Вода в капиллярной кайме находится под давлением ниже атмосферного, т. е. под вакуумом, что на эпюре давлений изображено в виде треугольника *lef*. Ниже горизонта *KL* на стенке *LM* появляются выпуклые мениски, способные воспринимать усилия, направленные из грунта в разрез. Подобные мениски могут образоваться лишь в грунтах связных, где частицы грунта соединены между собой молекулярной водой. Выпуклые мениски, закрепленные своими краями за частицы грунта, стремятся оторвать их от общей массы. Несвязный грунт в таких условиях теряет устойчивость и превращается в плывун. Ниже уровня *KL* расположены собственно грунтовые воды, давление в которых распространяется по гидростатическому закону. На диаграмме этому участку соответствует эпюра давлений *lmn*.

Одним из основных свойств грунтовой воды считается ее способность изливаться в разрез. Вода, расположенная ниже плоскости *KL* (рис. 30), обладает такой способностью. Но реализоваться эта способность на уровне *KL* может только при наличии крупных гравитационных пор. В противном случае поступление воды в разрез начнется лишь с глубины H_2, на которой гидростатическое давление воды превысит давление просачивания, необходимое для срыва выпуклых менисков по плоскости разреза. Вода в колодец будет поступать до тех пор, пока она не поднимется до уровня, на котором давление в грунтовых водах равно атмосферному.

В грунтах мелкозернистых, имеющих плотное сложение, всегда будет разница между горизонтом вскрытия и горизонтом стояния грунтовых вод. При этом чем более мелкозернистый грунт, тем больше будет разница между этими горизонтами (табл. 25).

Таблица 25

Распределение повторяемости величин разности между глубиной вскрытия и глубиной стояния грунтовых вод по Петровско-Анастасиевскому массиву

Характер грунта	Разница в процентах числа случаев			
	до 40 *см*	от 41 до 80 *см*	более 80 *см*	средняя разница, *см*
Пески, суглинки	100	—	—	20
Суглинки	34	49	17	54
Глины	19	35	46	93

Как характер распределения, так и средние значения разницы говорят о связи ее величины с механическим составом грунта. При этом разница между горизонтом вскрытия и горизонтом стояния грунтовых вод в тяжелых грунтах имеет наибольшую величину.

Нередко эту разницу объясняют быстротой бурения. Но наши неоднократные наблюдения не подтверждают этого предположения. Просачивание грунтовой воды в забой начинается на той глубине, на которой гидростатическое давление в теле грунтовых вод превышает величину давления просачивания, необходимую для срыва закупоривающих поры выпуклых менисков. Если же на некоторой глубине это давление недостаточно, то на какой бы срок ни была оставлена пройденная до такой глубины скважина, просачивания не будет. Бесспорным подтверждением этого могут служить скважины, бурившиеся под затопленными чеками с обсадкой только верхних 30—40 *см*. Вода появлялась только по достижении более легкого по механическому составу горизонта. В таком состоянии эти скважины оставались до конца оросительного периода, хотя с помощью тензиометров установлено, что уже через 30—40 дней вся почвенная толща полностью насыщается влагой.

Основными признаками грунтовых вод, наряду с залеганием их на первом от дневной поверхности водоупорном горизонте, принято считать:

а) наличие на свободной поверхности грунтовых вод давления, равного атмосферному;

б) способность самоизливаться в разрез.

Но эти признаки, как было показано выше, не абсолютные. Если давление в грунтовых водах быстро изменяется, то вследствие большого отставания фактического перемещения (фильтрации) по сравнению с передачей напора на поверхности грунтовых вод возникает давление, не равное атмосферному. Особенно часто это явление отмечается в районах с искусственным орошением.

Способность самоизливаться в разрез сразу от поверхности, реализуется только у грунтовых вод, залегающих в крупнопористых грунтах. Во всех остальных случаях самоизлив возможен лишь после опускания разреза на некоторую глубину в водонасыщенный слой.

Описанные пять типов залегания грунтовых вод возможны не только в чистом виде, но и в сочетаниях. Так, при затоплении рисовых полей или при лиманном орошении возможно сочетание 3-го и 4-го типов. На грунтовые воды, уже находящиеся под напором от действующей оросительной сети (тип 4), может, например, оказать дополнительное и обратно-направленное давление почвенный воздух, сжимаемый впитывающейся сверху поливной водой (тип 3).

Исходя из изложенных соображений, необходимо внести некоторые уточнения в рассмотренные схемы залегания и динамики грунтовых вод. При первой схеме, после смыкания оросительных и собственно грунтовых вод (рис. 16), горизонт воды в чеке одновременно является зеркалом грунтовых вод.

При второй схеме, когда нет смыкания горизонтов, уровень основных грунтовых вод определяют графическим построением, выполненным на эпюрах (рис. 19, 20). За глубину горизонта просачивающихся вниз оросительных вод может быть принята точка, полученная на эпюрах аналогичным построением, но сделанным в обратном порядке. Между этими двумя поверхностями залегает тяжелая бесструктурная прослойка, через которую не передаются гидростатические давления от воды в чеке к грунтовым водам.

Под затопленным рисовым полем идет движение грунтовых вод от оросительного канала к сбросному (рис. 22). Это движение протекает в супесчаном грунте, лежащем ниже суглинистого слитого горизонта. Следовательно, на приведенных выше профилях и графиках

гидроизоплет в большинстве случаев нанесены не действительные, а пьезометрические уровни. Это подтверждается быстротой, с которой подъем горизонтов в скважинах распространяется в сторону от затопленного рисового поля.

Когда говорят о растекании бугра грунтовых вод или о рассасывании бугра давления, обычно полагают, что при этом преобладает вертикальный водообмен, т. е. зеркало грунтовых вод перемещается вверх или вниз. Считают, что это вызвано быстрой передачей в теле грунтовых вод пьезометрического давления при весьма медленном, определяемом фильтрационными свойствами грунта горизонтальном растекании. Такое представление, по нашему мнению, не соответствует действительности. Наблюдениями отмечается закономерное падение уровней в наблюдательных скважинах, идущее в сторону по направлению от канала или рисового поля. Такая депрессионная кривая может образовываться только за счет потери напора при горизонтальном движении грунтового потока. Если бы такого движения не было, показания всех скважин-пьезометров давали бы один и тот же уровень. При этом общий вертикальный подъем зеркала грунтовых вод возможен лишь в меру фактического поступления новых объемов воды. В стороне от канала или рисового поля вертикальный подъем грунтовых вод возможен только при горизонтальном их перемещении.

Объем наблюдательных колодцев ничтожен по сравнению с общей массой находящихся под напором грунтовых вод. После вскрытия колодца или внезапного повышения давления в грунтовых водах у колодца, сообщающегося с атмосферой, образуется зона пониженных давлений, куда и устремляются окружающие грунтовые воды. Это создает эффект быстрых подъемов или спадов горизонтов, которые происходят только в смотровых колодцах, а не на всей территории. Отсюда следует, что действительный уровень грунтовых вод на участках, прилегающих к рисовым системам в период затопления рисовых полей, фактически ниже, чем фиксируемый по горизонтам в скважинах. После опорожнения оросительных каналов и сброса воды с рисовых полей горизонт в скважинах быстро падает до действительного уровня грунтовых вод, залегающих, как правило, ниже, чем был уровень в скважинах. Дальнейшее падение горизонтов протекает медленно в соответствии с водопроницаемостью грунта и интенсивностью испарения.

Во всех случаях, когда мы рассматриваем результаты наблюдений за уровнем грунтовых вод на рисовой оросительной системе, обращает на себя внимание то обстоятельство, что после резкого скачка горизонтов в скважинах, сопровождающего пуск воды в систему, уровни в скважинах медленно снижаются, хотя каналы и поля остаются затопленными и, казалось бы, никаких изменений не произошло. До затопления грунтовые воды или покоятся, или находятся в так называемом бытовом движении. В результате приложения к ним постоянно действующего напора от затопления системы возникает новое движение, которое до наступления момента равновесия должно быть равноускоренным. Ускорение движения грунтовых вод вызывает соответственное понижение давлений. Вместе с тем уменьшается коэффициент фильтрации почвогрунтов в ложе каналов и рисовых чеков, обусловливаемых изменением их водно-физических свойств в результате длительного затопления.

Приведенный фактический материал и его анализ показывают, что тот горизонт, на котором появляется вода в контрольных скважинах, нельзя во всех случаях принимать за действительный уровень грунтовых вод. Для установления этого уровня необходимо проанализировать всю гидрогеологическую обстановку и выяснить динамику ее изменения.

Глава V

Оросительная норма

Фактические оросительные нормы

При возделывании затопляемого риса на единицу площади затрачивается больше воды, чем при орошении других культур. В литературе нередко называется величина оросительной нормы 100 и даже 250 тыс. *м*³/*га*. В то же время известны системы и целые районы, где оросительная норма составляет 10—15 тыс. *м*³/*га*.

Таблица 26

Оросительные нормы для риса в различных странах
(в тыс. $м^3/га$) [17, 40, 46, 56, 82, 83, 88, 89, 90, 92, 101, 102]

Страны	Оросительная норма, от — до	Районы, типы культуры
ЕВРОПА		
Болгария	20—60	
Венгрия	15—18	
Испания	12	
Италия	11—29	Северные районы
	30—60	Сицилия и Неаполь
Румыния	46	
Франция	35	Камарга
АЗИЯ		
Бирма	25	
Вьетнам	11,9	Майский рис
	14,7	Октябрьский рис
Индия	12,2—19,1	Бенгалия
	11,0	Бомбей
	9,2	Мадрас, первый урожай
	19,6	» второй урожай
	13,0	Патна, первый урожай
	17,7	» второй урожай
	24,5	Пенжаб
Индонезия	32,7—33,2	Багор
	15,5	Остров Ява, район Пемали
Китай	19,3	Гирин
	5,6—6,9	Гуандунь, ранний рис
	7,1	» поздний рис
	10,2	Кантон, первый урожай
	14,0	» второй урожай
	11,0—21,4	Мукден
	7,7—11,2	Хубей
	12,3	Цзянсу
	9,9	Шенси
	8—12	Янцзы (бассейн), одноурожайный рис
	12—18	Там же, двухурожайный
	18,1	Тайвань
Камбоджа	5—7	В сухой период
Корея	11,5	
Таиланд	12—18	
Филиппины	11—12	
Цейлон	18,3	Сухая зона, сухой период
	12,2	» » влажный период

Продолжение

Страны	Оросительная норма, от — до	Районы, типы культуры
Япония	6,0—14,6	
АФРИКА		
Гвинея	21,1	Сухой период
	9,5	Влажный период
ОАР	24,8	Летний рис
	12,5	Зимний рис
АМЕРИКА		
США	5,8—8,9	Арканзас
	12,0—33,3	Калифорния
	10,1—16,3	Луизиана
	11	Техас
Куба	18—20	
АВСТРАЛИЯ		
Австралия	18	Новый Южный Уэльс

Для общего представления о затратах воды на выращивание риса рассмотрим данные о величине оросительных норм риса в различных странах и районах СССР. Хотя эти нормы получены в разное время и по различной методике, они все же могут служить некоторым ориентиром при решении вопроса о затратах воды на полив риса.

Зарубежные данные, выраженные в различных измерителях, пересчитаны нами в кубические метры на гектар с округлением до 100 $м^3$ (табл. 26).

Несмотря на то что сравнивать оросительные нормы для разных районов, расположенных в различных климатических условиях, затруднительно, можно отметить, что оросительные нормы в большинстве случаев составляют от 10 до 20 тыс. $м^3/га$. По малой величине оросительной нормы выделяются ряд районов Китайской Народной Республики и Арканзас в Соединенных Штатах Америки. В Китае веками складывалась высокая культура земледелия. Возделывание культуры риса с пересадкой, кроме того, дает возможность в течение части вегетационного периода орошать лишь небольшую площадь, занятую под питомник.

Таблица 27

Фактические оросительные нормы для риса в различных районах СССР (в тыс. $м^3/га$)

Республика, область, район, система	Годы	Оросительные нормы, от — до
Астраханская область		
Камызякский район	1955—1958	6,9—25,7
Харабалинский район	1954—1958	5,5—39,4
Азербайджанская ССР		
Астаринский район	1936	12—15
» »	1940—1942	11,6—12
Дивичанский район	1936	15—19
Закатало-Нухинский район	1936	16—21
Ленкоранский район	1936	10—16
» » истили	1939—1940	9,4—13
» » речное орошение	1940—1941	13—18
Массалинский » речное	1936	17—21
» » истили	1940—1941	9,9—10,6
Волгоградская область		
Опытное поле сельскохозяйственного института	1956	30,5—34,4
Дагестанская АССР		
Кизлярский район	1930—1956	12,1—68,3
Кабардинская АССР		
Кабардинская оросительная система	1930	150,7—205,5
Отдельные колхозные участки	1954	До 250
Казахская ССР		
Алмаатинская область	1961	20,0
Каратальское опытное поле	1930	60,9
Кзыл-Ординская область	1947—1961	13,3—26
Прибалхашье	1962	19,8
Южно-Казахстанская область	1961	18—25
Кара-Калпакская АССР		
Канал Чегейли	1938	30,2
» с. Али	1938	48,4
Киргизская ССР		
Фрунзенская область	1938—1957	21,9—35
Краснодарский край		
Афипская система	1959—1961	7,6—17,4
Кубанская оросительная система	1946—1961	16,9—22,9
Михайловская система	1951	21,5—72,0
Петровско-Анастасиевская система	1955—1961	17,3—32,6
Приморский край		
Сантахезская левобережная система	1928—1931	11,0—15,1
Сантахезская правобережная система	1928—1932	11,2—18,4
Мелкие оросительные системы	1926—1940	10,8—60,4
Ростовская область		
Азовский район	1958	116,2
Веселовский район	1952—1958	11,0—63,2
Пролетарский район	1955—1956	20,1—81,9

Продолжение

Республика, область, район, система	Годы	Оросительные нормы, от — до
Романовский район	1954—1955	17,0—44,3
Семикаракорский район	1956—1959	19,5—60,0
Северо-Осетинская АССР		
Моздокская ОМС	1938	56,0
Ставропольский край		
Изобильненский район	1954	16,9
Советский район	1953	36,3
Туркменская ССР		
Система Шават	1938	23,5
Узбекская ССР		
Канал Газават	1938	10,3
Голодная степь	1935—1940	16—65
Река Зеравшан	1927—1958	20—143,6
Река Карадарья	1938	33,8
Канал Полван-Ата	1938	23—28,5
Река Сурхандарья	1958	51,7
Река Чирчик	1958	10—35,7
Фергана	1936—1937	13,6—30,1
Украинская ССР		
Херсонская область	1961	24—30

В штате Арканзас воду для орошения добывают из буровых колодцев. Но вследствие прогрессирующего падения уровня грунтовых вод водообеспеченность из года в год уменьшается, а стоимость водоподъема возрастает. Естественно, что поливная вода расходуется здесь гораздо более экономно, чем в других районах США.

Наибольшие значения оросительной нормы приходятся на европейские районы рисосеяния.

Фактические оросительные нормы риса в различных районах СССР приведены в таблице 27. В графе таблицы, где указаны годы, дано время определения норм или же показан год публикации.

Обращает на себя внимание пестрота в величине оросительных норм по отдельным районам. В среднем оросительная норма составляет от 15 до 25 тыс. $м^3/га$. По отдельным районам ее величина очень непостоянна.

Максимальные оросительные нормы относятся к долине р. Зеравшана Узбекской ССР и Кабардинской оросительной системе на Северном Кавказе. В настоящее время в этих районах рис или не высевается, или возделывается на весьма малых площадях. Оросительные

нормы, превышающие 100 тыс. *м³/га*, определенные в отдельных пунктах Зеравшанской долины, неоднократно упоминаются в литературе. Однако при более внимательном рассмотрении оказывается, что эти участки по своим гидрогеологическим условиям очень мало подходят для культуры риса. На участках Талтапыш и Мазраган, где оросительные нормы соответственно были 128,9 и 143,6 тыс. *м³/га*, почвы на небольшой глубине подстилаются галечником. В то же время здесь же в Зеравшанской долине на участках Коль-Курган и Джума-Базар, расположенных на пониженных элементах рельефа, оросительные нормы составляли 22,2 и 28,9 тыс. *м³/га* [61].

Самая большая оросительная норма при возделывании риса — 250 тыс. *м³/га* — была зафиксирована на Кабардинской оросительной системе, где рисовые посевы были расположены на почвах, подстилаемых мощными галечниковыми отложениями.

Эти примеры говорят о том, что участки посевов риса, где зафиксированы очень большие оросительные нормы, были непригодны по гидрогеологическим условиям для возделывания риса. Наиболее благоприятны для посевов риса тяжелые маловодопроницаемые почвы. На таких почвах в Приморском крае, в Ленкорани, на Афипской оросительной системе в Краснодарском крае оросительные нормы риса отличаются малой величиной — в большинстве случаев 10—15 тыс. *м³/га*.

Структура оросительной нормы риса

Краткий обзор фактических оросительных норм показывает, что оросительная норма риса в производственных условиях может изменяться в очень широких пределах. Поэтому назначение оросительных норм для новых систем по аналогии с уже существующими может привести к серьезным просчетам. Для правильного определения оросительной нормы риса нужно выяснить значение каждого фактора, определяющего ее величину.

Структура оросительной нормы риса может быть представлена следующей схемой.

	Части	Статьи расхода
Оросительная норма риса нетто	I. Климатическая	Испарение E_0 Транспирация T_0 Осадки $-P$ Конденсация водяных паров $-K$
	II. Гидрогеологическая	Насыщение почвогрунта W Фильтрация вертикальная $F_в$ Фильтрация оттока $F_о$
	III. Организационно-хозяйственная	Проточность и сбросы плановые $S_п$ Проточность и сбросы неорганизованные $S_н$ Сброс осушения $S_о$

Статьи расхода, из которых складывается оросительная норма для риса, в этой схеме разделены на три части.

I. Климатическая, в которую входят: испарение со свободной водной поверхности залитого рисового поля (E_0); транспирация растений риса и имеющихся на поле сорняков (T_0); атмосферные осадки, выпадающие за рассматриваемый период ($-P$) и конденсация водяных паров в ночные часы суток ($-K$). Осадки и конденсация входят со знаком минус, так как уменьшают потребность в воде. Транспирация риса, как и другого культурного растения, зависит от агротехники. Однако при данном уровне ведения хозяйства транспирация зависит от факторов метеорологического порядка. Это дает основание отнести ее в климатическую часть.

II. Гидрогеологическая часть состоит из: расхода воды, идущего на заполнение свободной порозности почвогрунта под затопленным рисовым полем (W); вертикальной фильтрации в глубь почвогрунта ($F_в$) и фильтрации бокового оттока в ограждающие рисовое поле водоотводные каналы или под соседние неорошаемые территории ($F_о$). Величина этих статей расхода зависит от водно-физических свойств почвогрунтов, а также от густоты гидрографической сети, естественной или искусственной.

III. Организационно-хозяйственная часть включает в себя: проточность и сбросы, создаваемые на рисовом поле в плановом порядке в соответствии с требованиями агротехники ($S_п$); неорганизованную проточность и сбросы воды, возникающие в результате утечек через периферические валики, случайных сбросов,

утечек воды во время мелких прорывов валиков, неисправности водовыпусков и прочих причин непланового, случайного характера ($S_н$); заключительный сброс воды при осеннем предуборочном осушении полей (S_0).

Исходя из предложенной схемы, оросительную норму для риса нетто можно записать в таком виде:

$$M_н = (E_0 + T_0 - P - K) + (W + F_в + F_0) + (S_п + S_н + S_0). \quad (3)$$

Скобками в формуле (3) объединены статьи расхода, входящие в климатическую, гидрогеологическую и организационно-хозяйственную части нормы. Величины элементов водного баланса, входящие в формулу, выражаются обычно или в миллиметрах водного слоя или в кубических метрах на гектар.

Многие авторы в расходную часть водного баланса, а тем самым и в оросительную норму риса включают расход воды на создание слоя затопления. Но слой воды на рисовом чеке — это вода не израсходованная, а, наоборот, запасенная на нем. Она может затем пойти на испарения, транспирацию, фильтрацию или сброс. Поэтому в предлагаемой формуле нет обозначения, выражающего объем воды, идущей на создание слоя. В то же время в формулу входят различные виды проточности и сброса, в том числе и осеннего, при которых вода действительно уходит за пределы чека, т. е. расходуется. При определении потребности в воде за отдельные периоды, а также при составлении графиков гидромодуля количество воды, идущее на создание слоя, должно быть учтено в соответствующие сроки. В то же время, в зависимости от характера дальнейшего использования воды, запасенной на чеке, должны быть соответственно уменьшены ординаты графика подачи или увеличены ординаты сброса *.

Климатическая часть оросительной нормы определяется географическим положением данной рисовой оросительной системы. Она сравнительно мало изменяется по годам в связи с колебаниями метеорологических факторов.

Гидрогеологическая часть оросительной нормы предопределяется при выборе земельного массива под рисовую оросительную систему и при проектировании оросительной, особенно сбросной, сети на нем. Она весьма медленно изменяется в процессе последующей эксплуатации системы.

* По этому вопросу см. также раздел о поэтапных балансах в главе VII.

Организационно-хозяйственная часть гораздо более доступна для нашего воздействия. Она в значительной степени зависит от уровня технической культуры данного хозяйства. Упорядочение сбросов и ликвидация ненужной проточности дают наиболее реальную возможность ликвидации чрезмерных затрат воды при орошении риса.

Методы определения величин, входящих в формулу оросительной нормы риса

Установив статьи расхода, из которых складывается оросительная норма риса, рассмотрим методы экспериментального и расчетного их определения.

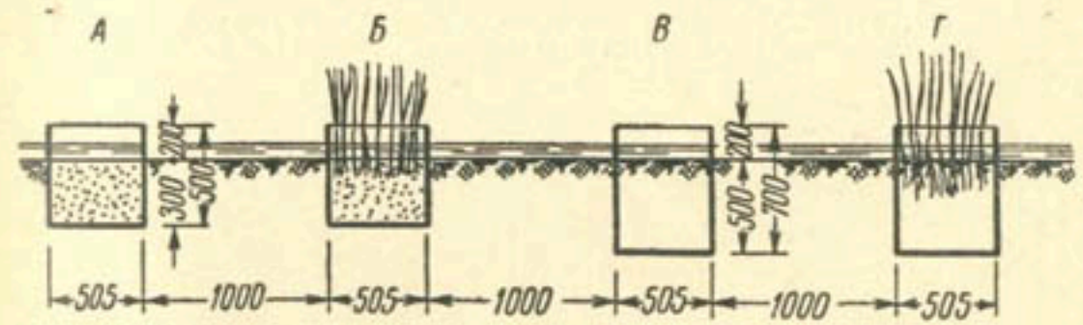


Рис. 31. Схема полевых вегетационных сосудов-испарителей.

Метод полевых вегетационных сосудов-испарителей [26]. Особенности водного режима затопляемого риса позволяют опытным путем определять фактические значения испарения, транспирации и фильтрации. В 1930 г. автором была предложена методика «полевых вегетационных сосудов-испарителей», дающая возможность довольно просто экспериментально определить эти величины. Впервые эта методика была применена при изучении орошения риса в Приморье. Затем как типовая была принята отделом изысканий Союзрисотреста и с тех пор широко вошла в практику опытных учреждений, изучающих вопросы орошения риса. Суть ее заключается в том, что на затопленном рисовом чеке устанавливают четыре вегетационных сосуда-ис-

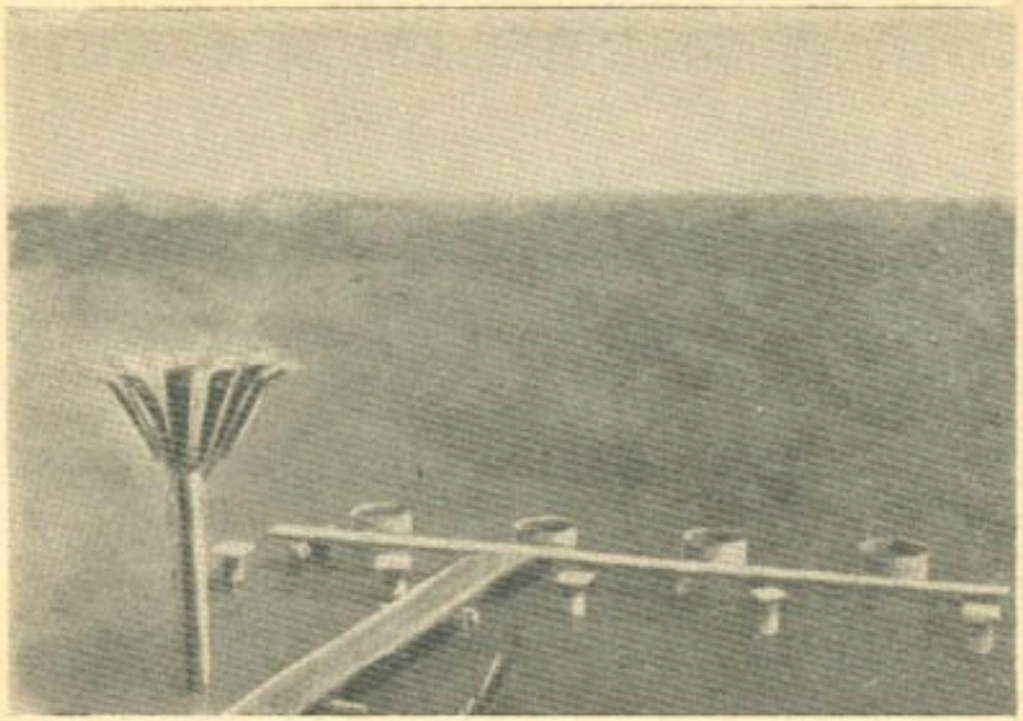


Рис. 32. Полевые вегетационные сосуды-испарители на затопленном поле до всходов риса.

парителя с дном и без дна (рис. 31), наблюдение за убылью воды из которых дает возможность определить величину испарения, транспирации и вертикальной фильтрации. В сосуде *А* (рис. 31), который имеет дно, испарение идет только со свободной водной поверхности, а в сосуде *Б* — протекает испарение и транспирации. Сосуд *Г* не имеет дна. Он является моделью чека, в котором происходит испарение, транспирация и фильтрация, но нет растекания фильтрационных вод в стороны. В сосуде *В* идет испарение и фильтрация.

Надводная часть сосудов-испарителей окрашена белой краской. Горизонт воды на чеке, в котором помещены испарители, за все время наблюдений поддерживается постоянным. Он должен совпадать с уровнем воды внутри сосудов, и сосуды устанавливают с таким расчетом, чтобы верхняя кромка их бортов оказалась на одной отметке (рис. 32).

Для создания условий испарения, отвечающих условиям рисового поля, сосуды *А* и *В* снаружи по периметру дополнительно обсаживали рисом так, чтобы после кущения создался сплошной равномерный стеблестой,

в котором сосуды-испарители почти незаметны. Сосуды *В* и *Г* делают достаточно прочными, чтобы их можно было вдавить в ненарушенный грунт рисового поля на глубину 50 *см*. Сосуды *А* и *Б* набивают грунтом в естественной последовательности его горизонтов.

Наблюдения заключаются в ежедневном пополнении сосудов из мерного стакана до постоянного уровня, фиксированного острием иглы, укрепленной с помощью небольшого кронштейна на внутренней стенке сосуда. По мере пополнения уровень воды в сосуде поднимается. Момент его касания острия иглы отчетливо заметен. В сосуде площадью 1000 $см^2$ долитые из мерного стакана 100 $см^3$ соответствуют слою в 1 *мм*, что обеспечивает высокую точность наблюдений. Если в результате выпадения дождя в момент наблюдений в вегетационном сосуде-испарителе уровень воды окажется выше острия иглы, воду отливают, а отлитое количество измеряют. Разница между количеством выпавших осадков и отлитой водой покажет величину испарения за истекшие сутки.

Если после дождя уровень воды в испарителе не будет выше острия иглы, то отсчет ведут в обычном порядке, а к полученной величине испарения добавляют количество воды, выпавшей в виде осадков.

Дождемер должен быть установлен в непосредственной близости от места расположения сосудов-испарителей. Использование данных, полученных с ближайшей метеостанции, как это видно из данных таблицы 30, может привести к грубым ошибкам.

По описанной схеме можно определить все элементы водного баланса чека. Сосуд *А* дает испарение. Парные разности *Б—А* и *Г—В* дают две повторности для величины транспирации, а разности *В—А* и *Г—Б* — для вертикальной фильтрации. Так как в каждой точке наблюдений обычно ставят по две серии таких сосудов-испарителей, то величины транспирации и фильтрации получались в четырехкратной повторности.

На величину испарения, получаемую по сосуду *А*, оказывают некоторое влияние борта испарителя. Специально проведенные нами методические исследования показали, что с увеличением площади испарителя это влияние быстро уменьшается. Если же площадь испарителя составляет 2000 $см^2$, то получаемая величина

испарения находится в пределах точности наблюдений.

Поэтому вегетационные сосуды-испарители рекомендуется делать диаметром не менее 505 *мм*.

Бездонные сосуды-испарители *Б* и *Г* в условиях вертикальной фильтрации никаких существенных изменений не вносят.

В величины испарения и транспирации, определяемые с помощью полевых вегетационных сосудов-испарителей, конденсация входит автоматически, так как она происходит в них так же, как и на рисовом поле, где эти сосуды установлены. По этой причине при определении оросительных норм и в водобалансовых расчетах конденсацию самостоятельно не выделяют. В связи с этим в дальнейшем символы «чистых» испарения и транспирации E_0 и T_0, заменяют на E и T, понимая под ними испарение и транспирацию, уменьшенные на величину конденсации.

Величины испарения, транспирации и фильтрации, определяемые с помощью полевых вегетационных сосудов-испарителей, уже многие годы с успехом используются при проектировании оросительных норм риса и при иных водохозяйственных расчетах и дают вполне удовлетворительные результаты.

Метод Блейни и Кридла. Для определения водопотребления риса с помощью описанного выше метода полевых вегетационных сосудов-испарителей в интересующем нас районе надо иметь участок затопляемого риса, чтобы установить на нем испарители. При этом данные только за один год всегда могут иметь элемент случайности и в основу расчетов могут попасть недостаточно обоснованные величины.

Таким образом, этот экспериментальный метод, дающий наиболее достоверные результаты, обладает существенным недостатком — он требует хотя бы 2—3 лет полевых наблюдений. Поэтому опытные учреждения во всех районах проектируемого рисосеяния должны заблаговременно накапливать материалы по водопотреблению риса.

Из имеющегося большого числа методов и формул для расчетного определения величины водопотребления наибольшего внимания заслуживает формула Блейни и Кридла [87].

Таблица 28

Сопоставление фактической величины водопотребления риса и вычисленной по методу Блейни и Кридла

Район наблюдений	Широта пункта наблюдений	Год	Дата первоначального затопления	Вегетационный период	$0{,}458 \times p\,(t^{\circ}+17{,}8)$	K	Водопотребление, *мм*: вычислено	Водопотребление, *мм*: фактически	Разница, %
Дагестанская АССР									
Кизлярский район	43° 55′	1957	8/VI	102	617,4	1,20	740,9	801,8	— 8,81
»	43° 55′	1958	7/VI	114	683,8	1,20	820,6	910,5	— 9,88
Краснодарский край									
Северский район	44° 54′	1961	24/V	100	625,8	1,08	676,0	657,0	+ 2,80
Красноармейский район . . .	45° 18′	1955	20/V	113	656,7	1,08	709,2	782,8	— 9,39
»	45° 18′	1958	17/V	127	706,1	1,08	762,6	850,1	—10,03
»	45° 18′	1959	27/V	110	665,9	1,08	719,1	691,2	+ 4,05
Ростовская область									
Веселовский район	48° 56′	1955	11/V	123	773,9	1,20	928,7	810,0	+14,7
»	48° 56′	1956	23/V	127	717,8	1,20	861,4	865,5	— 0,48
»	48° 56′	1957	11/V	110	698,9	1,20	838,3	873,1	— 3,98
»	48° 56′	1958	20/V	125	712,8	1,20	855,4	778,0	+ 9,93

В метровой размерности она имеет вид:

$$U = E + T = 0{,}458K\Sigma p(t^\circ + 17{,}8) \text{ мм}, \qquad (4)$$

где K — коэффициент культуры;

p — доля продолжительности дневных часов в данном месяце от годовой их суммы, %;

t° — среднемесячная температура воздуха.

Величину p находят по таблицам в зависимости от географической широты местности. Коэффициент K дается для различных культур в двух значениях: для влажной зоны и для засушливой.

Для риса во влажной зоне $K = 1{,}08$, для засушливой $K = 1{,}20$.

В таблице 28 сопоставлены фактическая и вычисленная величины водопотребления риса для пунктов, по которым имеются подобные наблюдения. Температурные условия взяты не средние многолетние, а для каждого конкретного года.

Во всех случаях, кроме одного, разница не превышает 10% фактического водопотребления. При этом в одних случаях она имеет положительный, в других — отрицательный знак. Это говорит о применимости метода Блейни и Кридла для предварительного определения водопотребления в наших районах рисосеяния.

В таблице 29 приведены величины водопотребления риса, подсчитанные по Блейни и Кридлу для некоторых пунктов СССР. Среднемноголетние месячные температуры взяты по мировому агроклиматическому справочнику [50]. Подсчет сделан для различной длины вегетационного периода применительно к существующим сортам риса: 105 дней — Дубовский 129, УзРОС 72; 115 дней — ВРОС 213; 125 дней — УзРОС 59, Краснодарский 3352, УзРОС 269, Узбекский 2; 140 дней — УзРОС 7, УзРОС — 7—13.

В зависимости от сортовых различий, т. е. от длины вегетационного периода, водопотребление может отличаться более чем на 20%. Во влажных районах наименьшая величина водопотребления риса — на Дальнем Востоке, что связано с более низкими температурами лета, чем в аналогичных широтных условиях в других районах. В целом для большинства районов СССР суммарное водопотребление риса составляет 700—900 *мм*.

Таблица 29

Водопотребление риса в различных пунктах СССР (в *мм*), подсчитанное по формуле Блейни и Кридла

Пункты	Северная широта	Длина вегетационного периода, сутки			
		105	115	125	140
Влажные районы, K-1,08					
Николаев	46° 58′	689,0	734,2	785,2	—
Краснодар	45° 02′	683,6	730,1	783,0	—
Уссурийск	43° 47′	617,8	658,8	705,2	—
Ленкорань	38° 46′	696,6	729,0	802,4	883,4
Сухие и засушливые районы, K-1,20					
Ростов	47° 13′	771,6	823,2	880,8	—
Астрахань	46° 21′	782,4	834,0	894,0	—
Казалинск	45° 46′	804,0	856,8	906,8	—
Кизляр	43° 51′	768,0	844,8	879,6	—
Алма-Ата	43° 14′	724,8	772,8	829,2	—
Ташкент	41° 20′	799,2	856,0	914,4	999,6
Термез	37° 12′	872,4	863,0	1002,0	1098,0

Формула Блейни и Кридла имеет один существенный принципиальный недостаток. Она составлена для какого-то среднего уровня урожайности. Между тем, очевидно, что количество воды, потребляемой на транспирацию, возрастает по мере увеличения урожая, хотя сам транспирационный коэффициент в этом случае и имеет тенденцию уменьшаться. Величина испарения может быть принята постоянной. Уже при средней густоте всходов после кущения травостой полностью смыкается, и при более высоком урожае условия доступа тепла и отвода паров воды от водной поверхности рисового поля мало изменятся.

Метод Блейни и Кридла опубликован впервые в 1950 г. Средняя урожайность за пятилетие 1945—1950 гг. в США была 23,5 *ц/га*, а за 1951—1955 гг. — 27,1 *ц/га*. Учитывая, что материалы наблюдений были взяты не в худших хозяйствах, можно принять, что величина $T+E$, получаемая по формуле, обеспечивает урожай примерно 30 *ц/га*. Тогда поправочный коэффициент к формуле Блейни и Кридла в зависимости от величины урожая, применительно к условиям Кубани, получит вид:

$$\xi = 0{,}35 \lg G + 0{,}47, \qquad (5)$$

где G — проектный урожай риса, *ц/га*.

Значение коэффициента к формуле Блейни и Кридла в зависимости от величины урожая можно взять по следующей таблице.

Урожай, *ц/га*	30	40	50	60	70	80
G	1,0	1,05	1,08	1,11	1,13	1,15

Необходимо отметить, что на приведенные цифровые величины следует смотреть лишь как на иллюстративные, так как по вопросу о связи урожая и транспирации риса до настоящего времени имеются лишь единичные наблюдения.

Насыщение влагоемкости. Количество воды, необходимое для первоначального насыщения влагоемкости почвы, может быть подсчитано по формуле

$$W = HA(\beta_п - \beta_н)\ м^3/га, \qquad (6)$$

где H — промачиваемый слой почвы, *см*;
A — скважность данного почвогрунта, выраженная десятичной дробью;
$\beta_п$ — потенциальная влагоемкость почвы в процентах от скважности;
$\beta_н$ — влажность, при которой начинается первоначальное затопление.

Метод Н. С. Нестерова. Для определения водопроницаемости грунтов в их естественном состоянии наиболее удобен метод проф. Н. С. Нестерова. Предложенный им прибор состоит из двух концентрических колец, вдавливаемых в грунт. Внутреннее кольцо — учетное, внешнее — защитное. Во время наблюдений уровень воды в обоих кольцах поддерживается постоянный с помощью двух сосудов Мариотта. В выпускаемом промышленностью комплекте прибора имеется третий сосуд Мариотта, с помощью которого заменяется опорожнившийся. Таким образом, постоянный уровень воды в приборе поддерживается без перерыва. Мариоттовы сосуды имеют градуированное смотровое стекло, по которому периодически отсчитывают убыль воды в литрах.

Скорость впитывания за соответствующий период находят путем деления полученных объемов убывающей воды на площадь внутреннего круга с учетом времени между отсчетами.

Фильтрационный поток из внешнего кольца, распространяясь вниз и в стороны, защищает поток из внутреннего кольца от бокового растекания. Отсчеты по внутреннему кольцу дают величину впитывания — фильтрации, которая может быть отнесена на единицу площади. Этим метод Нестерова выгодно отличается от метода Болдырева, при котором второе, защитное кольцо не устраивается. По методам Клычкова и Горчарука водопроницаемость грунтов определяют на квадратных площадках. В этом случае в углах вода усиленно фильтрует, что значительно ухудшает точность получаемых результатов.

Для других культур метод Нестерова дает лишь относительную характеристику грунтов.

При оценке почвогрунтов, предназначенных для возделывания риса, условия в приборе полностью соответствуют процессам, протекающим в действительности на затапливаемом рисовом поле. При достаточной длительности наблюдений получаемые величины могут иметь абсолютное значение. Такие определения следует вести на поверхности и послойно, на различной глубине почвенного разреза.

Таким образом, метод Нестерова дает возможность исследовать почвогрунты в их натуральном состоянии и может быть рекомендован как один из приемов получения материалов для мелиоративного районирования территорий, предназначенных под рисовые оросительные системы.

Расчетные формулы вертикальной фильтрации. Для условий свободной вертикальной фильтрации (промачивания грунта) В. В. Ведерниковым дана формула:

$$t_h = \frac{\delta}{K}\left(h + H \ln \frac{H}{h + H}\right), \qquad (7)$$

где t_h — время, в течение которого будет промочен грунт на глубину h;
δ — средний коэффициент свободной порозности грунта с учетом его влажности;

K — средний коэффициент фильтрации;
h — глубина, на которую в момент t был промочен грунт;
H — глубина слоя воды над поверхностью почвы.

Но эта формула не учитывает капиллярных явлений и защемления воздуха при покрытии слоем воды больших поверхностей впитывания. С. Ф. Аверьяновым предложена более полная формула впитывания:

$$W_t = K_в\left[1 + \frac{1}{4}\left(\sqrt{1 + \frac{16в^2}{t}} - 1\right)\right] м/сут, \qquad (8)$$

где W_t — скорость впитывания в момент времени t;
$K_в$ — коэффициент проницаемости при полном насыщении с учетом защемления воздуха;

$$K_в = K\left(\frac{\beta_в - \beta_o}{A - \beta_o}\right)^{3,5}$$

здесь K — коэффициент фильтрации;
A — порозность грунта;
β_o — влажность, при которой начинается интенсивное движение в грунте в жидкой фазе (связная вода) в долях объема грунта;
$\beta_в$ — полная влагоемкость;

$$в = 0,6\,\beta\sqrt{\frac{\beta_в h_к + \frac{1,4H}{\beta}}{K_в}};$$

здесь, кроме уже известных обозначений,

$$\beta = \frac{\beta_в - \beta_н}{\beta_в - \beta_o};$$

$\beta_н$ — исходная влажность грунта перед началом впитывания, в долях объема;
$h_к$ — максимальная высота капиллярного поднятия, *м*.

В этой формуле учтены: изменение условий впитывания по мере насыщения грунта водой и капиллярные силы по всей зоне опускающейся влаги. Сопротивление грунта движению воды принято прямо пропорциональным массе передвигающейся воды, скорости движения и обратно пропорциональным капиллярной проницаемости. Формула С. Ф. Аверьянова наиболее полная из имеющихся формул впитывания и дает возможность с достаточной точностью сделать предварительные теоретические подсчеты.

Из эмпирических формул наибольшим распространением пользуется показательная формула А. Н. Костякова:

$$W_t = \frac{K_1}{t^a}\ см/мин, \qquad (9)$$

где W_t — скорость поглощения воды в момент времени t;
K_1 — коэффициент водопроницаемости данной почвы в первую единицу времени;
a — показатель степени, изменяющийся в зависимости от свойств почвы и ее начальной влажности.

В связи с разными значениями показателя степени a для различных почв и для одной и той же почвы при различной ее влажности коэффициент K_1 в каждом отдельном случае имеет свою особую и довольно сложную размерность. При этом для одной и той же почвы при разной исходной влажности получаются различные цифровые значения обоих параметров, входящих в формулу. Вместе с тем она весьма удобна для обработки эмпирических данных и при достоверных значениях параметров позволяет достаточно просто произвести необходимые ориентировочные расчеты.

Фильтрационный отток. Этот вопрос рассмотрен в главе о грунтовых водах. Опытным путем фильтрационный отток в сбросную и дренажную сеть определяют на основании обычных гидрометрических работ. При этом поверхностный сток с рисовых чеков должен быть полностью исключен. Если расходы в сбросной сети определяют с помощью водосливов, то при их установке не должен создаваться сколько-нибудь значительный подпор горизонтов. Боковой отток как в дренажную сеть, так и под соседние территории, если нет ограждающей дрены, может быть подсчитан одним из методов определения динамики подземных вод. Такому расчету должно предшествовать изучение гидрогеологических особенностей данного объекта и детальный анализ фактического режима грунтовых вод до создания рисовой оросительной системы.

Проточность и сбросы с чеков, входящие в формулу оросительной нормы риса, определяют на водомерах, устанавливаемых на водовыпусках из чека в сброс. Проточность и сбросы с карты и с более крупных площадей находят с помощью гидрометрических работ на водоотводной сети. В замеряемые при этом расходы неизбежно входит и фильтрационный отток. Если его необходимо выделить, он должен быть определен отдельно, как сказано об этом выше.

По крупным коллекторам и дренам в ряде случаев еще до затопления рисовых полей идет так называемый бытовой расход. Режим бытовых расходов должен быть детально изучен с целью исключения его из расходов, замеряемых в водоотводной сети в оросительный период. Право на такое расчленение расходов дает правило сложения потоков грунтовых вод Н. Е. Жуковского.

Осадки. В формулу оросительной нормы входят также осадки. При возделывании обычных культур для растения полезна лишь та часть осадков, которая просачивается в почву в корнеобитаемый слой и не выходит за его пределы снизу.

При культуре риса могут быть два случая использования осадков. Первый случай, когда рис возделывают при непрерывной проточности, т. е. вода все время поступает на чек из оросителя или вышележащего чека и уходит в сброс или в нижележащий чек. В таких условиях все осадки полностью оказываются неиспользованными. Они лишь увеличивают сток сбросной воды с рисовых полей.

Во втором случае, когда непрерывной проточности нет, все 100% осадков, кроме катастрофических ливней, могут быть полезно использованы.

В условиях СССР, когда ливни более 50 *мм* чрезвычайно редки, есть все возможности полного использования осадков. Для этого необходимо иметь некоторый запас в емкости чеков, т. е. запас в 3—5 *см* в высоте валиков и в установке шандор в водовыпусках из чека в сброс или нижележащий чек. С началом дождя, в соответствии с его интенсивностью, подача оросительной воды на систему должна быть уменьшена или совсем прекращена. Такой порядок давно установлен на рисовых системах в Краснодарском крае. Во всех наших

материалах в дальнейшем принято полное полезное использование осадков, выпадающих в течение оросительного периода риса.

Величину атмосферных осадков берут по показаниям дождемера. Но для целой системы показания одного дождемерного поста могут оказаться недостаточными. На Афипской оросительной системе, при площади посева в 1961 г. 4356 *га*, по контуру системы было установлено четыре дождемерных поста.

Таблица 30

Количество атмосферных осадков, выпавших за оросительный период
(Афипская оросительная система, 1961 г.)

Место установки дождемера	Осадки, *мм*
Водохранилище	224,3
Колхоз им. Хакурате	168,7
Хутор Александровский	98,7
Хутор Стефановский	151,4
Среднее	160,8

Количество осадков сильно отличается по показаниям дождемерных постов, установленных в различных частях системы, как по распределению во времени, так и по общей сумме (табл. 30). При определении величины оросительной нормы и составлении водного баланса системы желательно иметь данные по нескольким дождемерным постам, расположенным на ее территории или в непосредственной близости.

Рациональная величина оросительной нормы

На величину оросительной нормы для риса влияют многие причины. Испарение и транспирация зависят от климатических факторов. В сумме за сезон они изменяются в сравнительно небольших пределах и не поддаются регулированию по нашему усмотрению.

Фильтрация, при расположении рисовых посевов на легкопроницаемых почвах, может достигать огромных размеров. Но рисовые посевы следует размещать на

землях с тяжелыми почвогрунтами. Ориентировочно может быть принято, что земельные участки, где величины фильтрации с рисового поля за сезон превышают 10 000 *м³/га*, непригодны для рисосеяния и на них не должны строиться рисовые оросительные системы. Исключением могут быть случаи, когда рис используется как промывная культура или когда аккумулируемый на рисовых полях запас грунтовых вод затем выклинивается на поверхность и используется для орошения в нижележащих частях бассейна в более поздние сроки, выравнивая таким путем график источника орошения.

Наибольшие бесполезные затраты поливной воды на рисовых полях бывают в результате неоправданно больших величин проточности и сброса (табл. 31).

Таблица 31

Оросительная норма и урожай риса при разной степени проточности (1957 г.)

Местоположение участка	Варианты проточности	Оросительная норма, *м³/га*	В том числе сброс, *м³/га*	Биологический урожай, *ц/га*
Колхоз им. Чапаева Краснодарского края	Без проточности	15 612	0	46,4
	Проточность до кущения . . .	21 010	5 400	45,8
	Проточность после кущения . .	20 704	5 090	46,1
Колхоз им. М. Горького Дагестанской АССР	Без проточности .	12 068	0	56,4
	Проточность до кущения . . .	15 265	3 197	56,1

Урожай риса практически при проточности и без нее остается неизменным.

Кроме бесполезной затраты воды излишняя проточность в северных районах рисосеяния неизбежно вызовет снижение температуры воды и почвы на рисовом поле (табл. 31).

Таблица 32

Влияние проточности на температуру воды в чеках за период с 26 июня по 3 сентября
(Фудаская опытная станция, Япония)

Водный режим	Температура воды, град.			Урожай, %
	максимальная	средняя	минимальная	
Затопление без проточности	32,8	26,5	20,3	100
Постоянная проточность .	28,8	22,8	16,8	64

На основании обработанных нами отчетных материалов системных управлений Краснодарского края за 1959 г. (табл. 33) можно сделать вывод, что излишняя проточность не влечет за собой повышения урожаев. Более того, они становятся меньше вследствие ухудшения температурных условий на рисовом поле. Но величина урожая снижается не только по этой причине. Бесхозяйственное, нерадивое отношение к поливной воде служит показателем общего низкого организационно-технического уровня данного хозяйства. Исключение необоснованной проточности и сбросов даст большую экономию оросительной воды, в ряде случаев выражающуюся десятками тысяч кубометров на гектар.

Таблица 33

Средневзвешенные по площади посевов величины оросительной нормы и урожая риса, в зависимости от фактического расхода воды по сравнению с плановой оросительной нормой

№ групп	Характеристика групп	Число хозяйств в группе	Общая площадь посевов риса в группе, *га*	Средневзвешенная по площади посевов	
				фактическая оросительная норма, *м³/га*	урожай, %
1	Экономия поливной воды до 10%	4	4 949	18 500	100,0
2	Перерасход до 25% . . .	8	12 527	21 200	96,1
3	Перерасход от 25 до 75%	4	3 209	25 600	80,6
4	Перерасход свыше 75% .	1	422	35 700	57,5

Для нормальных условий возделывания риса на незасоленных почвах предельные значения отдельных статей расхода приведены в таблице 34.

Таблица 34

Предельные значения статей расхода оросительной воды с рисового поля (нетто)

Статьи расхода	Потребность в воде, тыс. $м^3/га$	
	максимальная	минимальная
Испарение и транспирация	9,0	6,0
Первоначальное насыщение почвы	2,0	1,0
Фильтрация вертикальная и горизонтальная	10,0	1,0
Проточность 5—20% от подачи	4,2	0,5
Окончательный осенний сброс	1,5	0,5
Всего	26,7	9,0

Наименьшее значение оросительной нормы нетто соответствует системам, расположенным на водонепроницаемых грунтах, например, в Приханкайской низменности Приморского края. Для рисовых систем Краснодарского края оросительная норма нетто составляет

Таблица 35

Усредненные оросительные нормы риса нетто для некоторых районов рисосеяния СССР

Республика, край, область	Оросительная норма нетто, тыс. $м^3/га$	
	от	до
Азербайджанская ССР	15	25
Астраханская область	18	23
Волгоградская область	16	23
Дагестанская АССР	18	25
Казахская ССР	15	20
Краснодарский край	13	18
Приморский край	11	16
Ростовская область	18	23
Узбекская ССР	19	27
Украинская ССР	18	23

13—16 тыс. $м^3$. Даже при самом неблагоприятном сочетании размеров всех отдельных статей расхода оросительная норма оказалась 27 тыс. $м^3/га$. Завышенные оросительные нормы 50 тыс. $м^3/га$ и более не присущи культуре риса, а являются результатом или неудачного расположения посевов риса на сильно водопроницаемых почвогрунтах, или бесхозяйственного и безответственного отношения к поливной воде, а нередко результатом сочетания того и другого.

Для нормальных условий возделывания риса можно ориентировочно принять порайонные усредненные оросительные нормы, приведенные в таблице 35.

С накоплением фактического материала порайонные оросительные нормы следует уточнять и дифференцировать.

Глава VI

Водный баланс

Водный баланс чека

Водный баланс составляют на завершающем этапе при водохозяйственных расчетах при проектировании новой рисовой оросительной системы и анализе работы уже существующей.

Водный баланс рисового чека будем составлять для некоторого среднего чека, убыль воды из которого в результате боковой фильтрации в нижележащие чеки и сбросные каналы пополняет такое же количество воды, фильтрующееся из вышележащих чеков и оросительных каналов. В таком чеке будут только три статьи расхода: испарение с водной поверхности, транспирация и фильтрация в глубь почвы. Формула водного баланса в этом случае будет:

$$M_0 + P = E + T + F_в. \qquad (10)$$

Здесь, кроме уже известных обозначений, M_0 — основная оросительная норма. В этой формуле нет фильтрации бокового оттока и полностью отсутствует вся организационно-хозяйственная часть оросительной нормы риса.

Таблица 36

Элементы водного баланса по наблюдениям в различных районах (в *мм* водяного слоя)

Пункты наблюдений	Год	Испарение	Транспирация	Фильтрация	Сумма
Приморская область					
Сантахезский опытно-мелиоративный пункт	1928	422	89	55	566
Краснодарский край					
Кубанская оросительная система					
Экспериментальная база КубРОС	1958	517	539	320	1376
То же	1959	472	284	123	879
Колхоз «Советская Россия» . . .	1958	348	586	308	1242
Петровско-Анастасиевская система					
Славянский рисосовхоз	1959	301	348	66	715
Афипская система					
Колхоз «Кубань»	1960	485	315	0	800
Ростовская область					
Колхоз имени Калинина	1954	479	487	318	1284
То же	1955	411	421	347	1179
Дагестанская АССР					
Колхоз им. М. Горького	1958	506	431	173	1100
То же	1959	525	404	466	1395
Астраханская область					
Харабалинский госсортоучасток .	1958	450	905	188	1543
Камызякский опытный пункт . .	1958	387	241	82	710

Моделью такого среднего расчетного чека может служить бездонный вегетационный сосуд-испаритель с выращенными в нем растениями риса (рис. 31, *Г*). Описанная выше методика вегетационных сосудов-испарителей дает возможность раздельно в натуре определить все величины, входящие в водный баланс среднего чека.

Определенные таким путем величины испарения, транспирации и вертикальной фильтрации для районов рисосеяния Российской Федерации приведены в таблице 36.

Таким образом, величина испарения с водной поверхности для рассматриваемых пунктов в среднем равна 447 *мм* за оросительный период 110—115 дней. Для разных районов и лет она изменяется довольно незначительно, так как все эти пункты расположены в одной климатической зоне — в южной части умеренного пояса. Для старых районов рисосеяния — в Средней Азии и Закавказье — нет таких систематических данных.

Величина транспирации изменяется более сильно, так как она зависит не только от климатических условий, но и от агротехнического уровня, на котором в каждом отдельном случае ведется культура.

Наиболее изменчива величина фильтрации.

Водный баланс карты

В условиях рисовой оросительной системы основной единицей водопользования является карта. В водном балансе карты по сравнению с балансом идеального среднего чека появляются новые члены:

$$M + P = W + E + T + F + S. \qquad (11)$$

Здесь M — оросительная норма в голове оросителя, F — суммарная фильтрация за оросительный период, S — сумма всех видов поверхностного сброса.

Оросительный период риса распадается на несколько этапов, водные балансы для которых будут различны. Рассмотрим формулы водных балансов по каждому из этапов в отдельности, применительно к типу водного режима риса, рекомендованному в главе II.

Первый этап — первоначальное затопление. В это время почва должна быть насыщена до полной влагоемкости и создан слой затопления. Этот этап продолжается несколько дней, и чем мень-

ше — тем лучше. Для него баланс карты имеет вид:

$$m_1 t_1 + P_1 = W + 100h_1 + 10\varepsilon_1 t_1 \text{ м}^3/\text{га}, \qquad (12)$$

где m_1 — среднесуточная подача оросительной воды в течение первого этапа, $м^3/га$; $m_1 t_1 = m_э$, где $m_э$ — поливная норма за первый этап;
P_1 — осадки за то же время $м^3/га$;
h_1 — слой затопления, *см*;
ε_1 — среднесуточное испарение с поверхности поля за первый этап, *мм*;
t_1 — продолжительность этапа, сутки.

Вертикальная фильтрация в балансе первого этапа отсутствует, так как в это время идет только влагонасыщение почвогрунта. Отсутствуют также и все виды сброса, которых не должно быть при первоначальном затоплении рисовых чеков.

Второй этап — перерыв на всходы. Подача оросительной воды прекращена. Слой воды на чеке испаряется и фильтруется.

$$100h_1 + P_2 = 10(\varepsilon_2 + \varphi_2) t_2 \text{ м}^3/\text{га}, \qquad (13)$$

где P_2 — осадки за второй этап, $м^3/га$;
ε_2 — среднесуточное испарение за второй этап, *мм*;
φ_2 — среднесуточная фильтрация за второй этап, *мм*;
t_2 — продолжительность этапа, сутки.

Третий этап — от всходов до кущения. В связи с тем что к этому времени уже появились всходы риса, то в формулу баланса третьего этапа включена τ_3 — среднесуточная величина транспирации для этого периода. Кроме того, за это время создается глубокий слой затопления h_3 для борьбы с сорняками.

Имеем:

$$m_3 t_3 + P_3 = 100h_3 + 10(\varepsilon_3 + \tau_3 + \varphi_3) t_3 \text{ м}^3/\text{га}. \qquad (14)$$

Обозначения те же, что и выше, с соответствующими индексами этапа.

Четвертый этап — кущение. На время кущения слой затопления на чеке должен быть понижен до глубины h *см*. Поэтому в начале этапа идет сброс воды с чека, равный:

$$S_4 = 100(h_3 - h_к) \text{ м}^3/\text{га}.$$

Соответственно получаем:

$$m_4 t_4 + P_4 + 100h_3 = 100h_к + 10(\varepsilon_4 + \tau_4 + \varphi_4) t_4 + S_4 \text{ м}^3/\text{га}. \qquad (15)$$

Пятый этап — создание постоянного слоя затопления. Во время кущения на чеке поддерживался слой h_k. Для создания заданного слоя h_5 необходимо добавить слой $h_5 - h_k$ *см*:

$$m_5 t_5 + P_5 + 100h_к = 100h_5 + 10(\varepsilon_5 + \tau_5 + \varphi_5) t_5 \text{ м}^3/\text{га}. \qquad (16)$$

Шестой этап — поддержание заданного слоя.

$$m_6 t_6 + P_6 + 100h_5 = 100h_5 + 10(\varepsilon_6 + \tau_6 + \varphi_6) t_6 \text{ м}^3/\text{га}. \qquad (17)$$

Седьмой этап — осеннее осушение полей. В начале этапа прекращается подача воды на рисовое поле. Вода, имеющаяся на чеке, расходуется на испарение, транспирацию и фильтрацию. В конце этапа проводится сброс оставшейся на чеке воды S_7, равный:

$$S_7 = 100h_5 + P_7 - 10(\varepsilon_7 + \tau_7 + \varphi_7) t_7 \text{ м}^3/\text{га}.$$

Формула водного баланса для седьмого, заключительного этапа:

$$100h_5 + P_7 = 10(\varepsilon_7 + \tau_7 + \varphi_7) t_7 + S_7 \text{ м}^3/\text{га}. \qquad (18)$$

Сложение всех поэтапных балансов отражено в таблице 37. При этом $\Sigma m_n t_n = M$; $\Sigma \varepsilon_n t_n = E$ и т. д.

Количество воды, идущее на создание слоев затопления, в равной величине входит в правую и левую часть итогового баланса за весь оросительный период. Расход воды на создание слоя затопления включать в формулу оросительной нормы риса или водный баланс за оросительный период, как это делают некоторые авторы, неправильно.

Величина каждого из элементов, входящих в поэтапные водные балансы, может быть рассчитана с использованием методов, изложенных в главе V. На основании этих величин можно определить средние для этапа значения гидромодуля подачи и сброса. В поэтапных балансах нами были учтены два сброса: на кущение и перед уборкой урожая. В балансы соответствующих этапов могут быть введены сбросы для производства

Таблица 37

Сложение поэтапных водных балансов карты (в $м^3/га$)

Этапы	Правая часть уравнения баланса			Левая часть уравнения баланса					
	подача	осадки	имеется слой воды на чеке	заполнение влагоемкости почво-грунта	требуется слой воды на чеке	испарение	транспирация	фильтрация	сбросы
Первый	m_1t_1	P_1	—	W	$100h_1$	$10\varepsilon_1t_1$	—	—	—
Второй	—	P_2	$100h_1$	—	—	$10\varepsilon_2t_2$	—	$10\varphi_2t_2$	—
Третий	m_3t_3	P_3	—	—	$100h_3$	$10\varepsilon_3t_3$	$10\tau_3t_3$	$10\varphi_3t_3$	—
Четвертый	m_4t_4	P_4	$100h_3$	—	$100h_к$	$10\varepsilon_4t_4$	$10\tau_4t_4$	$10\varphi_4t_4$	S_4
Пятый	m_5t_5	P_5	$100h_4$	—	$100h_5$	$10\varepsilon_5t_5$	$10\tau_5t_5$	$10\varphi_5t_5$	—
Шестой	m_6t_6	P_6	$100h_к$	—	$100h_5$	$10\varepsilon_6t_6$	$10\tau_6t_6$	$10\varphi_6t_6$	—
Седьмой	—	P_7	$100h_5$	—	—	$10\varepsilon_7t_7$	$10\tau_7t_7$	$10\varphi_7t_7$	S_7
Σ	M	P	$100(h_1+h_3+h_к+2h_5)$	W	$100(h_1+h_3+h_к+2h_5)$	E	T	F	S

подкормок, опыления ядохимикатами и пр., если они требуются.

В 1958—1962 гг. на рисовых оросительных системах Краснодарского края были определены фактические величины элементов, входящих в формулу водного баланса карты:

$$M + P = W + E + T + F_п + (F_0 + S). \qquad (11a)$$

Поданная оросительная норма M была определена на водомерном посту в голове оросителя; расход воды на заполнение влагоемкости почвы — послойным определением скважности и влажности почвы на данной карте непосредственно перед затоплением; испарение, транспирация и вертикальная фильтрация — методом вегетационных сосудов-испарителей. Боковой отток F_0 и поверхностные сбросы S были замерены совместно по расходам в конце картового сброса. Таким образом, все элементы водного баланса были определены непосредственно и ни один из них не вычислялся по разности между остальными. Это дало возможность для каждого баланса вычислить невязку между его приходной и расходной частями. Для наблюдений на каждой из трех систем были выбраны по две соседних, достаточно типичных карты, на которых определялась фактическая величина всех элементов водного баланса. На Кубанской системе наблюдения велись на рисовых полях колхоза «Победа», на Петровско-Анастасиевской — в Славянском рисосовхозе, а на Афипской системе — на землях колхоза «Кубань». Водные балансы учетных карт представлены в таблице 38.

При определении знака невязки за исходную величину нами взята приходная часть баланса, так как подачу и осадки можно определить наиболее просто и достоверно.

На картах Афипской системы, по данным таблицы, характерно полное отсутствие вертикальной фильтрации. Более того, здесь отмечено небольшое подпитывание грунтовыми водами. Афипская рисовая оросительная система расположена на левобережных Прикубанских плавнях. Почвы тяжелые глинистые. Значительная часть оросительного периода совпадает с прохождением летнего паводка на Кубани. Река здесь идет в обвалении и подпирает сток грунтовых вод с системы.

Таблица 38

Водные балансы учетных карт (нетто) (в м³/га)

Элементы водного баланса	Кубанская система, 1958 г.		Петровско-Анастасиевская система, 1959 г.		Афипская система, 1960 г.	
	25 карта	26 карта	24 карта	25 карта	23 карта	24 карта
Приход						
Подача	17 152	25 876	17 751	18 029	10 013	10 568
Атмосферные осадки	778	778	772	772	3 193	3 193
Подпитывание грунтовыми водами	—	—	—	—	96	96
Всего	17 930	26 654	18 523	18 807	13 302	13 857
Расход						
Увлажнение почвы	2 819	2 819	1 952	1 952	1 772	1 772
Испарение	3 478	3 478	3 009	3 009	4 852	4 852
Транспирация	5 861	5 861	3 482	3 482	3 145	3 145
Фильтрация вертикальная	3 083	3 083	663	663	—	—
Поверхностный сброс и фильтрационный отток в водоотводную сеть	2 700	11 439	9 273	9 838	2 698	4 527
Всего	17 941	26 674	18 379	18 944	12 467	14 296
Невязка, *м³/га*	−11	−20	+144	−143	+835	−439
	−0,1	−0,1	+0,8	−0,8	+6,3	−3,2
Площадь, *га*	35,5	29,6	22,8	22,7	27,7	33,9
Урожай, *ц/га*	24,5	23,0	35,7	34,3	28,2	32,0

Интересно сравнить балансы по двум соседним картам Кубанской системы — 25 и 26. Они находятся в совершенно одинаковых условиях. Но оросительная норма по одной равнялась 17,9 тыс. *м³/га*, а по другой — 26,7 тыс. Эта разница вызвана исключительно неоправданным сбросом воды по карте 26, который достиг 11,4 тыс. *м³/га*. В климатических условиях СССР на незасоленных почвах постоянная проточность воды на рисовых полях не вызывается реальной необходимостью. На карте с большей проточностью получен меньший урожай.

Водный баланс рисовой оросительной системы

Формула водного баланса рисовой оросительной системы имеет вид:

$$M_б + P = W + E + T + F_в + (F_о + S - F_б) + F_с + F_н. \quad (19)$$

Здесь, кроме уже известных величин:

$M_б$ — оросительная норма (брутто) в голове оросительной системы, *м³/га*;

$F_с$ — фильтрационные потери в сеть, *м³/га*;

$F_б$ — бытовая фильтрация, *м³/га*;

$F_н$ — фильтрационный отток под прилегающие территории, *м³/га*.

В балансе системы самостоятельной статьей нами введены только потери в магистральных и главных распределительных каналах до голов хозяйственных водовыводов $F_с$. Вода, теряемая из каналов, идущих по затопленным рисовым полям, или поступает в прилегающие к каналам чеки, соответственно снижая потребность в подаче на них оросительной воды, или идет на пополнение грунтовых вод, перехватываемых внутрисистемной или оградительной водоотводной сетью, сток по которой в балансе также отражается.

Бытовая фильтрация $F_б$ — это поступление грунтовых вод в дренажную и коллекторную сеть независимо от затопления рисовых полей. При определении расходов в водоотводящей сети в течение оросительного периода замеряют поверхностный и фильтрационный сток с рисовых полей в сумме с этим бытовым фильтрационным стоком. На основании анализа водомерных данных по водоотводной сети до начала затопления рисовых полей и после него устанавливают величину бытового фильтрационного стока, которую затем следует вычитать из стока за оросительный период.

Фильтрационный отток под прилегающие территории $F_н$ в составленные нами балансы кубанских рисовых оросительных систем как самостоятельная величина не введен на том основании, что эти системы окружены оградительными каналами и расчищенными ериками, которые перехватывают и отводят поток грун-

товых вод, идущих с рисовой системы. А сток по всей водоотводной сети был замерен и вошел в баланс. Это первое и основное соображение. Кроме того, подъем зеркала воды в наблюдательных скважинах в полосе, прилегающей к рисовым системам, как это было показано выше, пьезометрический и не отражает действительного уровня грунтовых вод. Подсчеты И. Н. Фаворина, сделанные на основании зависимостей, предложенных А. Н. Костяковым, показали, что бугор грунтовых вод образуется и растекается под оросительной системой в тяжелых грунтах весьма медленно. При оросительном периоде риса всего 100 дней и больших орошаемых массивах количество воды, которое, миновав оградительную сеть, может аккумулироваться в зоне растекания за пределами системы, удельно очень невелико. В иных природных условиях и на системах, не изолированных от окружающей территории оградительными каналами, учет этих расходов будет необходим.

Впервые водный баланс для рисовой оросительной системы был составлен нами по результатам исследо-

Таблица 39

Водный баланс Сантахезской левобережной рисовой оросительной системы (1928 г.)

Элементы водного баланса	Количество воды, тыс. $м^3$
Приход	
Подача воды насосной установкой . . .	6212
Осадки на всю площадь	2594
Всего . . .	8806
Расход	
Испарение и транспирация с рисовых полей — 690 *га*	2566
То же, с остальной подтопленной площади — 355 *га*	1413
Сброс и фильтрационный отток в водоотводную сеть	4536
Всего . . .	8515
Невязка, $м^3$	+291
%	+3,3

ваний в 1928 г. на левобережной Сантахезской рисовой оросительной системе Приморского края (табл. 39). Под посевами риса на этой системе тогда было занято 690 *га*. Испарение и транспирация были определены с помощью вегетационных сосудов-испарителей. Вертикальная фильтрация на всей учетной территории, подстилаемой толщей озерных ленточных глин в размерах, поддающихся экспериментальному определению, фактически отсутствовала. Так называемые периферические валики, т. е. валики, идущие по внешнему контуру системы, сильно пропускали воду. Фильтрация шла не столько сквозь валики, сколько по рыхлому пахотному горизонту под ними. Внешняя оградительная сеть отсутствовала. В результате одновременно с рисовыми полями было переувлажнено и в значительной части затоплено небольшим слоем воды 355 *га* вейниковых лугов, входящих в контуры системы и еще не освоенных под рис. Сумма испарения и транспирации воды с вейниковых лугов была определена с помощью испарителей системы Рыкачева. Вода на систему подавалась левобережной Сантахезской насосной станцией.

Потери в сети в баланс не введены, так как при машинной подаче холостая часть магистрального канала была очень короткой. При тяжелых глинистых грунтах разница в расходах в ее начале и конце не была обнаружена.

По трем рисовым оросительным системам Краснодарского края в таблице 40 приведены данные по водным балансам.

Кроме балансов, были определены элементы и сведены балансы также и для отдельных крупных частей каждой из систем.

Для всех определенных нами балансов карт и систем значения невязок даны в таблице 41.

Невязки имеют положительный и отрицательный знаки. Наибольшая из них равна 6,7%, а в 77% случаев они не превышают 4%. Это говорит о соответствии действительности принятой теоретической схемы баланса и о достаточной точности примененной методики определения каждой из приходных и расходных статей в отдельности.

В частности, при построении схемы баланса было сделано предположение, что весь боковой фильтрацион-

Таблица 40

Водные балансы систем Краснодарского края *(в м³/га)*

Показатели	Кубанская система, 1958 г.	Петровско-Анастасиевская система, 1959 г.	Афипская система, 1961 г.
Учетная площадь, засеянная рисом, *га*	12 338	10 002	4 356
Приход			
Подача	27 897	25 802	11 851
Атмосферные осадки	778	773	1 608
Всего	28 675	26 374	13 459
Расход			
Увлажнение почвы	2 819	1 952	1 772
Испарение	3 478	3 009	3 425
Транспирация	5 861	3 482	3 145
Фильтрация вертикальная	3 083	663	654
Потери в сети	5 986	5 736	681
Поверхностный сброс и фильтрационный отток за вычетом бытового стока по сбросной сети	6 787	13 580	4 600
Всего	28 014	28 422	14 277
Невязка, *м³*	+661	−1 848	−818
%	+2,3	−6,5	−6,1
Коэффициент полезного действия	0,79	0,78	0,94

ный отток перехватывают коллекторы — оградительные каналы и ерики, выполняющие ту же роль. Рассмотренные балансы дают основание утверждать, что это предположение соответствует действительности, так как если бы боковой отток, помимо водоотводной сети, был в значительных размерах, то при неучете его в балансе приходная часть оттока систематически была бы больше расходной, т. е. невязки имели бы только положительный знак, чего в действительности нет.

Таблица 41

Невязки водных балансов

Система	Объект, по которому составлен баланс	Год наблюдений	Учетная площадь, *га*	Невязка, %	
				+	−
Сантахезская	Левобережная	1928	690	3,3	—
Кубанская	Карта 25	1958	35	—	0,1
»	Карта 26	1958	30	—	0,1
»	Южно-Ангелинский участок	1958	871	—	1,3
»	Ивановский массив	1958	12 338	2,3	—
Петровско-Анастасиевская	Карта 24	1959	23	0,8	—
То же	Карта 25	1959	23	—	0,8
» »	Эксплуатационный участок 2	1959	2 783	—	2,9
» »	Эксплуатационный участок 3	1959	7 219	—	3,7
» »	Вся система	1959	10 002	—	6,5
Афипская	Карта 23	1960	28	6,7	—
»	Карта 24	1960	34	—	3,2
»	Вся система	1961	4 356	—	6,0

На основании водного баланса системы можно определить количество воды, которое идет на пополнение грунтовых вод. Это важно знать при проектировании и эксплуатации рисовой оросительной системы. Н. И. Фаворин для условий Ростовской области предложил такой вариант баланса (табл. 42).

Таблица 42

Водный баланс орошаемого затопляемого риса в условиях Ростовской области [75] *(в м³/га)*

Статьи прихода	Тыс. *м³*	%	Статьи расхода	Тыс. *м³*	%
Подача в голове системы	40	93	Увлажнение почвы и зоны аэрации	3,8	8,8
Атмосферные осадки за вычетом весеннего стока	3	7	Транспирация риса и испарение с поверхности чеков	9,3	21,6
			Повышение уровня грунтовых вод	29,9	69,6

В рассматриваемом балансе 70% поступающей воды идет на пополнение грунтовых вод. Автор баланса объясняет это большой проточностью, якобы необходимой для успешного развития риса, и отсутствием устроенной сбросной сети. В результате этих причин большая часть воды, подводимой на проточность, а иногда и вся эта вода целиком фильтрируется в грунт в зоне, окружающей посевы риса. Но такое технически совершенно неудовлетворительное состояние, хотя оно в действительности отмечалось на рисовых участках в Ростовской области, нельзя признать типичным для инженерной рисовой системы. Оросительная норма 40 тыс. *м³/га* сильно преувеличена.

По данным фактических водных балансов рисовых оросительных систем Краснодарского края, доля воды, идущая на пополнение грунтовых вод, составляет от 32 до 10% подачи в сумме с осадками (табл. 43).

Таблица 43

Поступление ирригационных вод в грунтовые. Оросительные системы Краснодарского края

Статьи прихода и расхода	Кубанская система	Петровско-Анастасиевская система	Афипская система
Подача плюс осадки, *м³/га*	28 675	26 374	13 459
Фильтрация вертикальная, *м³/га*	3 083	663	654
Потери в сети, *м³/га*	5 986	5 736	681
Всего на пополнение грунтовых вод, *м³/га*	9 069	6 399	1 335
То же, в процентах от приходной части баланса	31,5	24,3	10,9

Фактические водные балансы отличаются от проектных. На рисунке 33 графически изображены проектные и фактические водные балансы по кубанским системам. Сопоставляя их, необходимо отметить, что во всех случаях фактические затраты на влагонасыщение почвы превышают величины, предусмотренные в проекте. Сверх того по Кубанской системе в проекте предусмотрен явно недостаточный расход воды на испарение и транспирацию. По Петровской и Афипской системам эти

статьи расхода запроектированы удачно. Сброс и фильтрационный отток по Кубанской и Петровской системам превышают его проектную величину главным образом за счет неоправданных поверхностных сбросов. На Афип-

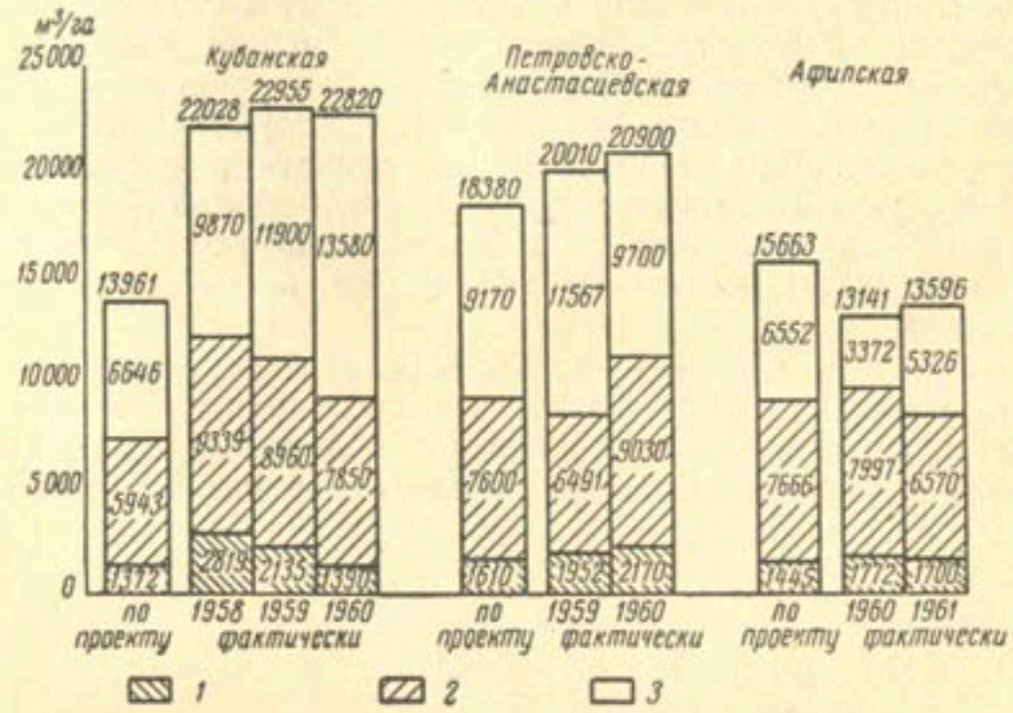


Рис. 33. Проектные и фактические водные балансы рисовых оросительных систем Краснодарского края:

1—заполнение влагоемкости; *2*—испарение и транспирация; *3*—поверхностный сброс и фильтрационный отток.

ской системе, наоборот, фактический сброс и сама оросительная норма получаются меньше, чем предусмотрено в проекте. Накопление и публикация подобных материалов по другим районам в значительной степени облегчит и уточнит проектирование оросительных норм и графиков гидромодуля по вновь строящимся рисовым системам.

Величины, входящие в водные балансы, не остаются неизменными. По мере улучшения водопользования и повышения уровня агротехники можно ожидать, что почва рисовых полей к моменту сева будет лучше просушиваться и проветриваться. Поэтому расходы воды на насыщение влагоемкости в перспективе могут несколько возрасти. Водопотребление по мере повышения урожайности также будет несколько возрастать.

Вся сумма физических и биохимических процессов, протекающих в почве затопленного рисового поля, ве-

дет к ее расструктуриванию и образованию слитого маловодопроницаемого подпахотного горизонта. На этом основании следует ожидать заметного снижения величины вертикальной фильтрации по сравнению с тем значением, которое она имеет в первые годы освоения.

Боковой фильтрационный отток умелым маневрированием подпорными сооружениями на сбросной сети может быть доведен до минимума. Упорядочение сбросов, ликвидация ненужной проточности и улучшение всех операций по водопользованию — большой резерв сокращения расходов воды на рисовых полях. Потери в сети также имеют тенденцию со временем уменьшаться.

В целом можно ожидать, что по мере освоения и старения рисовых полей на системе будет образовываться некоторый излишек оросительной воды. Он может быть использован для дальнейшего увеличения орошаемых площадей.

Повторное использование сбросных вод

В практике рисосеяния во многих районах мира широко применяется повторное использование воды, сбрасываемой с рисовых полей, что значительно улучшает водный баланс системы и дает возможность оросить новые площади.

Сбросные воды на рисовые поля, расположенные на более низких отметках, могут быть поданы только после полного затопления и насыщения почвы вышерасположенных полей. На это в наших условиях требуется как минимум 20 суток. Следовательно, на такой же срок должно быть отодвинуто начало полива, а значит, и начало сева в нижних хозяйствах, получающих воду в порядке повторного использования. В субтропическом и тропическом поясах, где теплый период превышает длину вегетационного периода риса, такое отставание с началом сева не вызывает никаких затруднений. В умеренном поясе подобной возможности нет.

На Кубанской оросительной системе с повторным использованием сбросных вод ежегодно орошается около 3 тыс. *га* посевов риса. Вода на нижние системы поступает комбинированным способом: во время первоначального затопления — по специальному подпитывающему каналу непосредственно из магистрального канала, а в период поддержания слоя — сбросная с основного Ивановского массива системы. Такой порядок водообеспечения этих участков выгодно согласуется с режимом р. Кубани, на которой маловодье наступает только в конце лета.

Температура сбросных вод, прошедших через рисовые поля, обычно бывает выше, чем температура воды в оросительных каналах. Это обстоятельство для северных условий положительно. В районах же с жарким климатом сбросные воды могут иметь слишком высокую температуру. В этом случае ее следует смешивать с водой из оросительных каналов или с фильтрационной, поступающей в сбросную сеть. Целесообразно в жаркие дни подавать сбросные воды для полива на рисовые поля только в ночное и утреннее время.

Степень минерализации сбросных вод имеет существенное значение при решении вопроса о возможности их повторного использования. Вследствие испарения на рисовых чеках концентрация солей в поливной воде повышается. Грунтовые воды, фильтрующие в сбросную сеть, обычно имеют еще более высокую степень минерализации. Поэтому сбросные воды содержат повышенное количество солей (табл. 44).

Таблица 44

Содержание солей в оросительной и сбросной воде на Кубанской системе (в *г/л*)

Место отбора пробы	Плотный остаток	В том числе		
		бикарбонаты	хлориды	сульфаты
Река Кубань	0,154	0,134	0,013	0,013
Ангелинский ерик	0,621	0,249	0,028	0,178

Ангелинский ерик принимает в себя сбросные воды с правой части Ивановского массива кубанской рисовой системы.

При повторном использовании сбросных вод возникает опасность сильного засорения нижерасположенных

рисовых полей семенами сорняков, поступающими с поливной водой с вышележащих участков. В этом случае полезно проводить зарыбление водоотводной сети. Например, по данным Е. Б. Величко, который в 1956 г. проводил отлов и вскрытие рыб, населяющих Ангелинский ерик, кишечник рыб, особенно у гибридного карпа, заполнен семенами просянок и клубнекамыша.

Площадь, которая может быть орошена водами повторного использования, определяется по формуле:

$$\omega = \xi\eta\Omega, \qquad (20)$$

где Ω — площадь основной части системы, орошаемая непосредственно из источника орошения;

ω — площадь, орошаемая при повторном использовании сбросных вод;

ξ — отношение гидромодуля стока по водоотводной сети с основного массива к суммарному модулю подачи, выраженное десятичной дробью;

η — коэффициент полезного действия системы повторного использования.

В период первоначального затопления ξ близко к нулю. На это время должна предусматриваться подача воды из оросительной сети или соответствующее отодвигание сроков сева. За расчетное ξ следует принимать наименьшее из его значений в течение оросительного периода или же допускать подпитывание из сети. Этот вопрос должен решаться соответствующим технико-экономическим расчетом, с учетом графика водообеспеченности основного источника орошения.

Повторное использование сбросных вод при орошении риса дает возможность увеличить коэффициент использования оросительной воды. При неизменной пропускной способности основной водопроводящей сети и сооружений на ней можно оросить большую площадь. Таким образом может быть уменьшен объем капиталовложений на единицу площади. Повторное использование сбросных вод должно предусматриваться при проектировании новых оросительных систем, особенно в тех случаях, когда сбросные воды удаляются механическим водоподъемом.

От рисовой оросительной системы, кроме сбросных вод, может идти поток подземных возвратных вод.

Классическими примерами могут служить бассейны рек Ангрена и Зеравшана. Рисовые массивы, расположенные в верхних частях бассейна, способствовали аккумуляции паводкового стока, так как они затоплялись в период прохождения ледникового паводка. Запасенная на рисовых полях вода при осеннем ее сбросе использовалась в нижележащих системах при посеве озимых зерновых культур. Но, пожалуй, бóльшее значение имел обильный сток подземных вод, образовывавшихся под рисовыми полями, расположенными здесь на почвах, подстилаемых мощными галечниками.

Определяя место риса в балансе бассейна, следует учитывать также, что расход воды на испарение и транспирацию с площадей, занятых дикой влаголюбивой растительностью, значительно выше, чем с культурных полей [20]. Если почвы на предназначаемой под рис территории тяжелые, маловодопроницаемые, то замена зарослей тростников рисовыми полями не потребует больших дополнительных количеств воды. Если же они подстилаются галечниками, то обильно фильтрующиеся в них, а затем возвращающиеся воды рисовых полей могут способствовать более равномерному распределению во времени количеств воды, приносимых половодьем. Такое «распластывание» паводка может оказаться выгодным для его ирригационного использования. При проектировании крупных рисовых оросительных систем вопрос об их роли в водном балансе бассейна должен каждый раз специально рассматриваться. Базой для такого рассмотрения должны служить материалы детальных гидрогеологических изысканий и исследований.

Глава VII

Гидромодуль

Первоначальное затопление

Оросительная норма выражает потребность рисового поля в воде в течение всего оросительного периода. График гидромодуля устанавливает ее распределение во времени. Затопляемый рис поливают в течение всего

оросительного периода непрерывно. Поэтому график гидромодуля в этом случае делают сплошным и не разделяют на отдельные поливы. Период первоначального затопления и период поддержания слоя существенно отличаются по величине ординаты графика гидромодуля. Наибольшая ордината графика первоначального затопления служит расчетной для определения пропускной способности каналов и сооружений. По ординате для периода поддержания слоя определяют условия командования горизонтов в оросительной сети над орошаемой из них площадью.

При подаче воды на рисовое поле она вначале заполняет крупные пустоты грунта. Движение в них воды в основном имеет турбулентный характер. Одновременно промачиваются и капиллярные поры. По окончании этой фазы преобладает ламинарное движение воды. Но с первых же секунд оно осложняется рядом обстоятельств. В порах почвы защемляется воздух, вследствие чего действующее поперечное сечение потока просачивания уменьшается. В результате значительная часть порозности может оказаться заполненной защемленным воздухом. По наблюдениям Н. И. Фаворина в 1954 г., под затопленным рисовым полем в двухметровой почвенной толще было заполнено воздухом 9% всего объема грунта, или 25% порозности. В 1955 г. наблюдения показали соответственно 4% в одной и 2,1% в другой скважинах объема грунта, или 10 и 5,2% скважности. Затопление вызывает также набухание частиц почвы и некоторое их перемещение. По мере продвижения фронта промачивания в глубь почвы действующий градиент напора непрерывно уменьшается. Все эти процессы действуют в направлении замедления скорости впитывания.

В 1958 и 1959 гг. на нескольких рисовых оросительных системах определена скорость впитывания по методу Нестерова. До затопления рисовых полей приборы были установлены на поверхности почвы и в шурфах на различной глубине. При установке на поверхности верхняя часть пахотного горизонта, состоящая из отдельных комков, удалялась. После оросительного периода приборы ставились непосредственно на поверхности поля, так как к этому времени почва имела сплошной, слитой характер.

Результаты одной из серий наблюдений представлены на рисунке 34. Вначале впитывание замедляется очень энергично. Через 2 часа этот процесс принимает

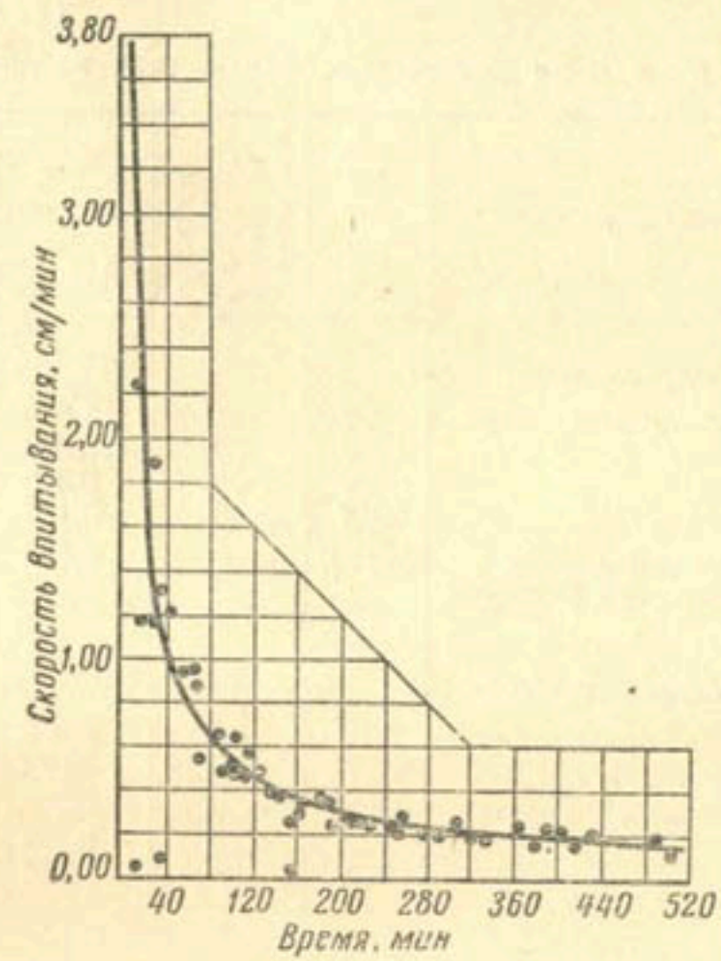


Рис. 34. Кривая скорости впитывания воды при установке прибора Нестерова на поверхности почвы (КубРОС, 1959 г.).

более спокойный характер. Материалы по всем наблюдениям обработаны применительно к приведенной в главе V формуле А. Н. Костякова:

$$W_t = \frac{K_1}{t^{\alpha}}. \qquad (9)$$

В логарифмическом виде она соответствует уравнению прямой:

$$\lg W_t = \lg K_1 - \alpha \lg t. \qquad (21)$$

Это позволяет обработать все данные методом наименьших квадратов и получить из уравнений регрессии значения параметров, входящих в формулу Костякова (табл. 45).

Таблица 45

Значение K_1 и α по результатам фактических наблюдений

Место наблюдений	Дата установки прибора	Глубина установки прибора от поверхности почвы, *см*	K_1	α
Краснодарский край				
Кубанская система КубРОС, 1959 г.	19/V	3—5	15,670	0,740
	19/V	30	125,330	1,651
	20/V	60	0,310	0,447
	29/X	0	0,128	0,946
Петровско-Анастасиевская система, Славянский рисосовхоз, 1959 г.	25/VII	0	6,550	0,716
Дагестанская АССР				
Колхоз им. М. Горького, старопахотный участок, 1959 г.	17/V	15	0,058	0,399
	27/IX	15	0,072	0,132
То же, целинный участок, 1959 г.	30/IX	0	0,248	0,407
	1/X	15	0,132	0,183
	3/X	30	1,528	0,619

Скорость впитывания на 600-й минуте, т. е. через 10 часов после начала затопления, на КубРОС равна на поверхности почвы (3—5 *см*) 0,14 *см/мин*; на глубине 30 *см*, где залегает слитой водоупорный горизонт, о котором шла речь в главе VI, равна только 0,0022 *см/мин*, а на глубине 60 *см* — 0,018 *см/мин*. Водопроницаемость почвы на глубине 30 *см* в 64 раза меньше, чем на поверхности, и в 8 раз меньше, чем на глубине 60 *см*. Этот водоупорный горизонт лимитирует общую водопроницаемость всего почвенного разреза.

На участке первого года освоения в колхозе им. М. Горького по всем горизонтам скорость в конце десятого часа от начала затопления имеет один и тот же порядок 0,018; 0,056 и 0,029 *см/мин*. Здесь еще не успел образоваться характерный для старых рисовых

полей тяжелый бесструктурный подпахотный горизонт. Полученные характеристики водопроницаемости почв соответствуют последующим наблюдениям за величиной вертикальной фильтрации в течение всего оросительного периода с помощью вегетационных сосудов-испарителей. Для 1959 г. величина вертикальной фильтрации за оросительный период для опытного поля КубРОС оказалась равной 460 *м³/га*, а для колхоза им. М. Горького — 4610 *м³/га*, т. е. в 10 раз больше.

Формула $W_t = \frac{K_1}{t^{\alpha}}$ дает скорость впитывания. Проинтегрировав ее по времени и принимая во внимание, что при $t=0$ объем впитавшейся воды также равен нулю, получим:

$$W_t = \frac{K_1}{1-\alpha} t^{1-\alpha} \text{ см}. \qquad (22)$$

На рисунке 35 нижняя кривая W — интегральная кривой впитывания, вычисленная по параметрам, соответствующим условиям колхоза им. М. Горького (табл. 45), $K_1=0{,}058$ и $\alpha=0{,}4$. Одновременно с впитыванием идет испарение. Для периода первоначального затопления оно здесь равно 6 *мм/сут*. Кривая $W+E$ — суммарная интегральная кривая впитывания и испарения. В начале затопления основное количество воды идет на впитывание. Затем интенсивность впитывания уменьшается и расход воды на испарение становится равным суммарному расходу на впитывание, а затем и превышает его.

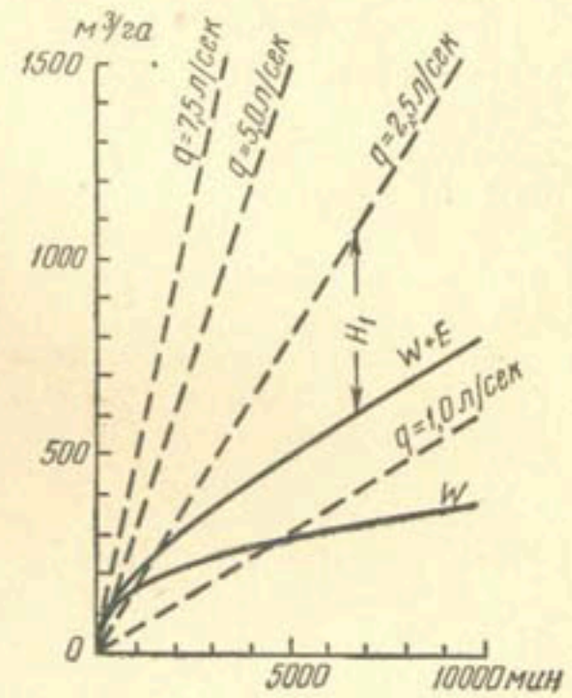


Рис. 35. График хода промачивания-затопления.

На этом же графике пунктиром нанесены интегральные кривые подачи воды при

разной ее интенсивности. Они изображены в виде прямых линий, так как вода поступает постоянным током. Этап первоначального затопления должен продолжаться до тех пор, пока количество поданной воды не превысит сумму расхода на впитывание и испарение на величину H_1, достаточную для создания заданного слоя затопления. Проанализируем ход затопления при различной величине подачи воды. При подаче $q_1=1$ *л/сек* линия подачи идет все время ниже суммарной кривой испарения и впитывания. В этом случае необходимый слой затопления не может быть создан. Вода поступает в меньшем количестве, чем расходуется на испарение и впитывание. При подаче $q_1=2{,}5$ *л/сек* слой 10 *см* будет создан через 8,4 суток. В начале затопления прямая подачи идет некоторое время ниже кривой $W+E$. Следовательно, в течение приблизительно одних суток поверхность чека не будет полностью покрыта водой, так как в это время расход воды на испарение и впитывание превышает ее поступление. Только после того, как интенсивность впитывания заметно уменьшится, приход воды превысит ее расход и начнется создание слоя затопления.

При дальнейшем увеличении подачи воды q_1 будет соответственно уменьшаться время, необходимое для создания слоя затопления. Следовательно, ход первоначального затопления и глубина промачивания H в формуле (6) зависят от фильтрационных свойств грунта и величины струи, подаваемой на затопление. Чем быстрее будет затоплена поверхность чека, тем меньше будет глубина промачивания. По графику 35 можно определить расчетную глубину промачивания. Для иллюстрации расчета примем $A=0{,}50$; $\beta_н=90\%$ и $\beta_н=40\%$. Скорость создания слоя и глубина промачивания, которая в этом случае получается при разных значениях q_1, показаны в таблице 46.

При увеличении поливного расхода глубина промачивания и поливная норма уменьшаются.

Первоначальное затопление должно быть закончено в 2—3 дня, чтобы обеспечить одновременность начала набухания семян и появления всходов. Задавшись сроком затопления и пользуясь подобным графиком, составленным с учетом конкретных условий данной системы или хозяйства, нетрудно подобрать необходимую интенсивность подачи.

Таблица 46

Глубина промачивания и поливная норма в зависимости от разной величины подачи

Подача воды, *л/сек* на гектар	2,5	5,0	7,5
Создается слой в сутки	8,4	3,5	2,1
Глубина промачивания, *м*	1,64	1,20	1,00
Затрата воды, $м^3/га$: на промачивание	1810	1501	1360
на испарение	420	175	110
на создание слоя 10 *см*	1000	1000	1000
Поливная норма первоначального затопления, $м^3/га$	3220	2676	2470

Некоторые авторы, например В. Абраменко и М. Багров, необоснованно рекомендуют при залегании грунтовых вод на глубине 3 *м* и среднесуглинистых грунтах подавать 6000—7500 $м^3/га$ на насыщение почвогрунта в толще до грунтовых вод, помимо 1000—1500 $м^3$, необходимых на создание слоя затопления. Столь большое количество воды не успеет впитаться и значительная часть ее пойдет в сброс. Глубина промачивания до 3 *м* не может быть достигнута за время, отводимое для периода первоначального затопления.

Необходимый для этого дополнительный расход воды не войдет в норму первоначального затопления, а пойдет на поддержание слоя как вертикальная фильтрация. Формальный подсчет нормы без учета действительной динамики всех происходящих процессов приводит к преувеличенным значениям расчетной ординаты гидромодуля и пропускной способности каналов.

В соответствии с формулой (12)

$$m_э = W + 100h_1 + 10\varepsilon_1 t_1 - P_1.$$

В дни без дождей потребность в подаче воды будет наибольшей. Такую максимальную подачу и принимаем во внимание. Поэтому как в данном случае, так и в последующих при определении ординат графики гидромодуля осадки не учитывают:

$$q_1 = 0{,}0116\left[\frac{W+100h_1}{t_1} + 10\varepsilon_1\right] л/сек \cdot га, \qquad (23)$$

где, кроме уже известных обозначений, q_1 — гидромодуль первого периода, т. е. периода первоначального затопления.

Укомплектование графика гидромодуля для периода первоначального затопления

Первоначальное затопление не может быть проведено на всей площади одновременно. В связи с этим сев растягивается обычно на 15—20 дней. В результате в период первоначального затопления на рисовой системе неизбежно возникает очередность водораспределения. По агротехническим соображениям первоначальный залив поверхности чека должен быть проведен с наименьшим разрывом во времени после посева. Задача заключается в том, чтобы найти наиболее рациональный порядок его производства, полностью обеспечивающий требования культуры при наименьшем форсировании расхода воды в сети. В зависимости от принятой агротехники и водного режима могут встретиться различные схемы водооборота для периода первоначального затопления. Разберем более подробно два типичных случая.

Первый тип наблюдается при посеве риса на засоленных почвах, а также при плохой предпосевной разделке почвы, когда рис сеют разбросным способом в предварительно затопленные чеки. Второй тип соответствует машинному посеву в сухую землю. Первоначальное затопление выполняют уже после посева. Такой порядок первоначального затопления наиболее распространен на современных инженерных рисовых оросительных системах.

Первый тип водооборота для первоначального затопления (рис. 36). Первая схема. Рассмотрим вначале наиболее простую схему, когда первоначальное затопление ежедневно проводится на равных площадях:

$$\Delta = \frac{1}{T_п}, \qquad (24)$$

где Δ — доля площади, затопляемая за один день, выраженная десятичной дробью;

$T_п$ — период первоначального затопления, сутки.

Продолжительность первоначального затопления T равна по величине посевному периоду. Но период затопления календарно идет раньше от времени сева на 1—

3 дня. Ордината гидромодуля первоначального затопления в этом случае равна:

$$q_1 = \frac{m_з}{T_п \cdot 86\,400} = \frac{\Delta m_з}{86\,400}, \qquad (25)$$

где $m_з$ — поливная норма первоначального затопления. Полагая $m_з = 2500$ *м³/га*, а $T_п = 20$ суток, получим:

$$q_1 = \frac{2500}{20 \cdot 86\,400} = 1{,}45 \text{ л/сек}.$$

Со второго дня сверх того начнут накладываться ординаты гидромодуля поддержания слоя на ранее затопленной площади. На второй день эта ордината равна:

$$q_2 = \Delta q = \frac{q}{T_п} \text{ л/сек},$$

где q — гидромодуль поддержания слоя.

В любой последующий день

$$q_t = \frac{q(t-1)}{T_п} \text{ л/сек}, \qquad (26)$$

где t — порядковый номер дня от начала затопления. Максимальная ордината, являющаяся расчетной при определении пропускной способности каналов $q_р$, будет равна:

$$q_р = q_1 + \frac{q(T_п - 1)}{T} \text{ л/сек}. \qquad (27)$$

На другой день после окончания первоначального затопления на всей площади ордината гидромодуля станет равна q, т. е. величине, необходимой для ежедневного пополнения чеков в целях поддержания установленной глубины затопления. На рисунке 36, *а* представлен такой график. Как видно из графика, расчетная ордината $q_р = 2{,}59$ *л/сек*, в то время как гидромодуль поддержания слоя $q = 1{,}20$ *л/сек*. Коэффициент неравномерности, характеризующий степень превышения расхода в период первоначального затопления над периодом поддержания слоя:

$$K_н = \frac{q_р}{q} = \frac{2{,}59}{1{,}20} = 2{,}15. \qquad (28)$$

Из графика видно также, что таким большим расходом система будет работать только один день; несколько

дней — расходами, близкими к нему. Весь остальной период по системе будут идти расходы воды, намного меньше расчетного.

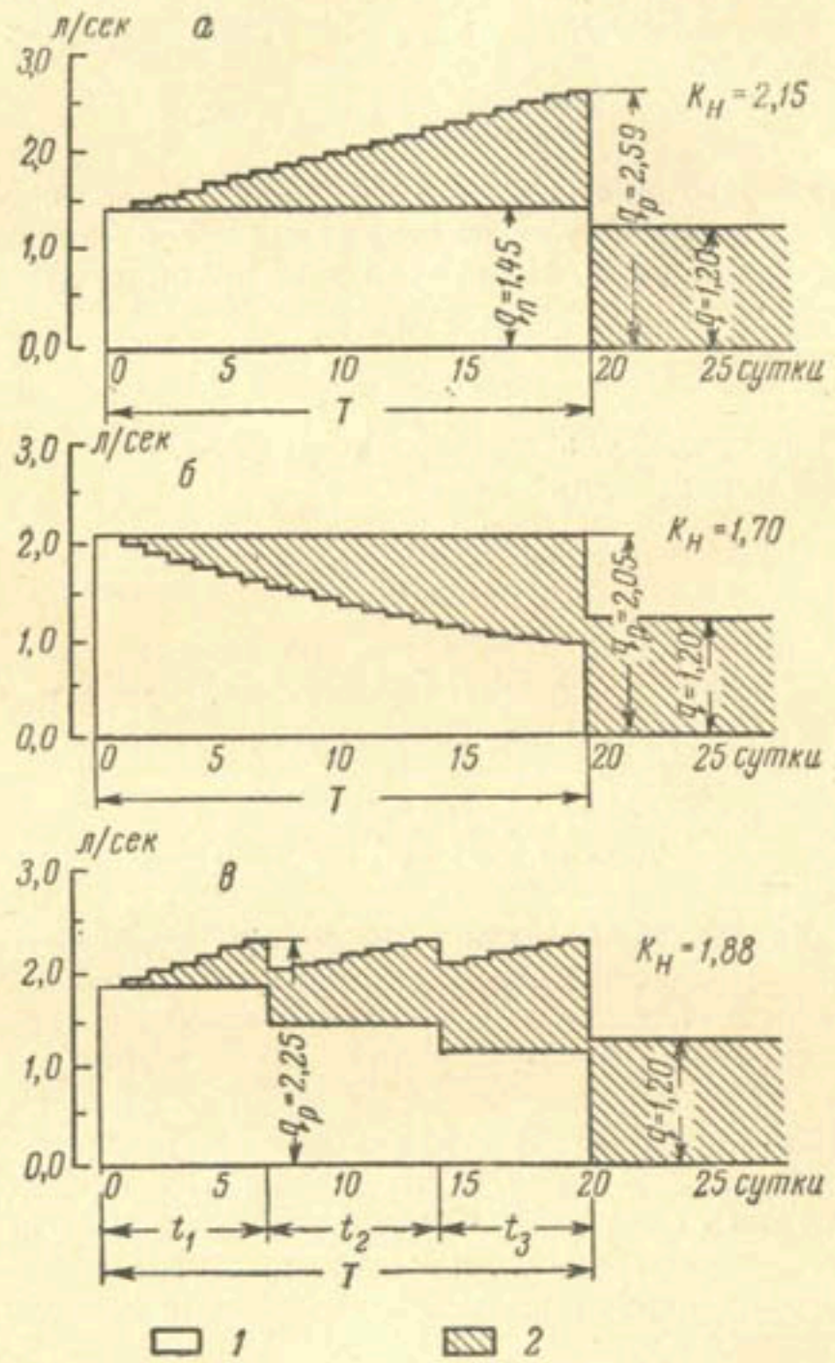


Рис. 36. Графики гидромодуля для периода первоначального затопления. Тип первый:

а — первая схема; *б* — вторая схема; *в* — третья схема; *1* — первоначальное затопление; *2* — поддержание слоя затопления.

Вторая схема. Чтобы уменьшить расчетную ординату и по возможности приблизить ее к ординате для периода поддержания слоя, нужно укомплектовать описанный выше график. Общий принцип укомплектования графиков для периода первоначального затопления риса был предложен нами в 1930 г. [25]. Он заключается в следующем. Вначале ежедневно затопляют, а потом засевают доли общей площади систем, превышающие $\frac{1}{T_п}$. По мере того как все бо́льшая часть воды начинает расходоваться на поддержание слоя на уже затопленных участках, доля ежедневно затопляемых площадей должна последовательно уменьшаться. В результате удается получить постоянную и более низкую ординату графика гидромодуля для всего периода первоначального затопления. На рисунке 36, *б* изображен такой укомплектованный график для рассматриваемого примера.

Если расчетный расход $Q_п$, то в первый день можно провести первоначальное затопление на части площади:

$$\Delta_1 = \frac{Q_р}{q_1}.$$

На второй день часть воды пойдет на поддержание слоя затопления на этой площади. Поэтому можно будет вновь затопить уже меньшую площадь:

$$\Delta_2 = \frac{Q_р - \Delta_1 q}{q_1}.$$

И соответственно в любой другой день:

$$\Delta_t = \frac{Q_р - (\Delta_1 + \Delta_2 + \ldots + \Delta_{t-1})\, q}{q_1}. \qquad (29)$$

Ежедневно включаемые под затопление площади убывают по криволинейному закону. Для практических расчетов с достаточной степенью точности может быть принято, что на укомплектованном графике

$$q_р = (q_1 + 0{,}5q)\ л/сек. \qquad (30)$$

А затем, исходя из заданной площади посева, по формуле (29) можно рассчитать площади затопления на каждый день.

Применительно к разобранному выше цифровому примеру в этом случае $q_р = 2{,}05$ *л/сек* и соответственно $K_н = \frac{2{,}05}{1{,}20} = 1{,}70$ против 2,15 в предыдущем случае. За счет укомплектования графика первоначального затопления оказалось возможным уменьшить расчетный расход на 26,3%.

Третья схема. Вторая схема дает возможность наиболее полно использовать имеющийся расход воды в оросительном канале. Однако необходимость ежедневно включать для полива разные по величине площади затрудняет применение этой схемы. Поэтому целесообразно разбить период первоначального затопления на несколько тактов. От одного такта к другому размер ежедневно включаемых площадей будет уменьшаться. Но во время одного и того же такта каждый день будут затопляться равные площади. Это значительно упростит фактическое применение такого водооборота.

В практике обычно принимается трехтактный водооборот. Рациональный размер ежедневно включаемых для первоначального затопления площадей в этом случае может быть определен на основании того, что во все три такта суммарный расход воды на первоначальное затопление и поддержание слоя должен равняться расчетному расходу.

Может быть составлена такая система уравнений:

$$\left.\begin{aligned} &\Delta_1 T_1 + \Delta_2 T_2 + \Delta_3 T_3 = 1; \\ &\Delta_1 q_1 + \Delta_1 T_1 q = \Delta_2 q_1 + \Delta_1 T_1 q + \Delta_2 T_2 q; \\ &\Delta_1 q_1 + \Delta_1 T_1 q = \Delta_3 q_1 + q. \end{aligned}\right\} \quad (31)$$

Полагая общую площадь, подлежащую затоплению, равной единице и выражая ежедневно включенные площади Δ_1; Δ_2; Δ_3, как и ранее, десятичной дробью, решением этой системы получаем:

$$\Delta_1 = \frac{1 + C T_3}{T_1 + a T_2 + b T_3}; \quad (32)$$

$$\Delta_2 = a \Delta_1; \quad (33)$$

$$\Delta_3 = b \Delta_1 - C. \quad (34)$$

При этом

$$a = \frac{q_1}{q_1 + T_2 q}; \quad (35)$$

$$b = \frac{q_1 + T_1 q}{q_1}; \quad (36)$$

$$c = \frac{q}{q_1}, \quad (37)$$

где T_1, T_2 и T_3 — продолжительность каждого из тактов водооборота в сутках; принимаем $T_1 = T_2 = 7$ суток; $T_3 = 6$ суток. В результате получается $\Delta_1 = 0{,}0620$; $\Delta_2 = 0{,}0484$; $\Delta_3 = 0{,}0377$ (рис. 36, *в*). Расчетная ордината графика гидромодуля равна 2,25 *л/сек*. Соответственно $K_н = \frac{2{,}25}{1{,}20} = 1{,}88$, т. е. выше, чем по второй схеме, но ниже, чем по первой.

Первый тип применяется при посеве риса в затопленном чеке.

Второй тип водооборота для первоначального затопления при машинном посеве в сухую землю. Первая схема. После первоначального затопления рисовых полей с посевом риса в сухую землю с заделкой на некоторое время делают перерыв в подаче воды. Постоянный слой создают после появления всходов.

Разберем вначале простейшую схему, когда ежедневно в первоначальное затопление включают равные площади. Ко времени создания постоянного слоя затопления на затопленных ранее чеках слоя воды уже не будет. Потребуется сначала дать большую поливную норму для образования слоя, а затем его поддерживать. На рисунке 37, *а* изображен график гидромодуля для такой схемы. При его построении поливные нормы и величины ординат гидромодуля приняты те же, что для рисунка 36. Поливную норму для создания постоянного слоя принимаем 1000 *м³/га*, что при 20 днях поливного периода дает 0,58 *л/сек* на гектар. В условиях Краснодарского края всходы риса начинаются в среднем на 13-й день после первоначального затопления. На этом основании установление постоянного слоя затопления назначаем на 15-й день после первого полива, т. е. после появления массовых всходов. До 14-го дня вклю-

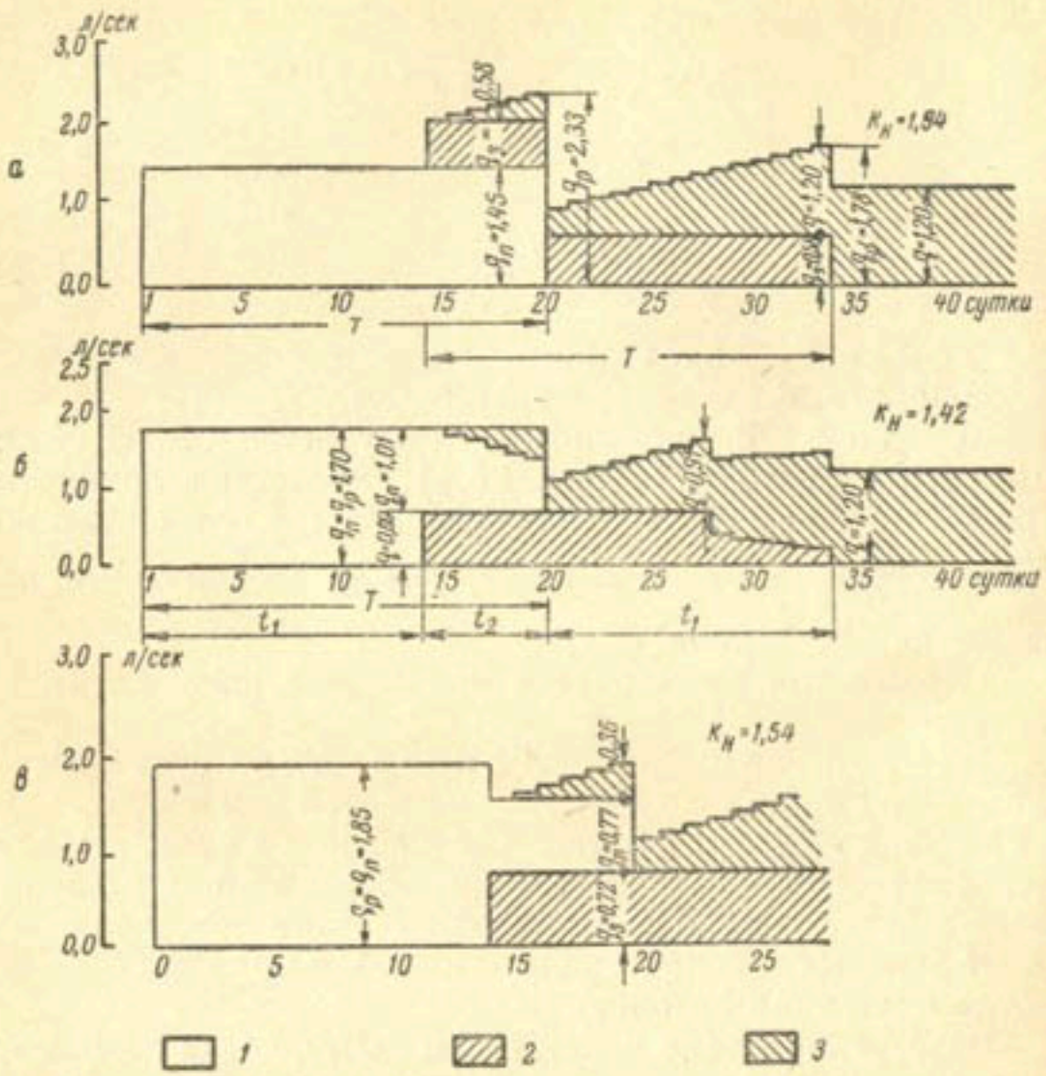


Рис. 37. График гидромодуля для периода первоначального затопления. Тип второй:

а — первая схема; *б* — вторая схема; *в* — третья схема; *1* — первоначальное затопление; *2* — создание слоя затопления; *3* — поддержание слоя затопления.

чительно идет ордината первоначального затопления $q_1 = 1{,}45$ *л/сек*. На 15-й день создается слой затопления на площади, получившей полив в первый день. При этом $q_з = 0{,}58$ *л/сек*. Подача воды для создания слоя продолжается и во все последующие дни в течение времени, равного T. С 16-го дня вода начинает расходоваться еще и на поддержание слоя затопления. Ордината гидромодуля ежедневно увеличивается и в последний день периода первоначального затопления доходит до ее расчетной величины:

$$q_р = q_1 + q_з + (T - t - 1). \qquad (38)$$

Кроме ранее встречавшихся величин, здесь имеем:

$d_з$ — гидромодуль создания постоянного слоя затопления, *л/сек*;

t — время, на которое отодвинуто создание слоя затопления от начала первоначального затопления.

В этом случае

$$q_р = 2{,}33 \text{ л/сек}.$$

Затем происходит спад ординаты, так как прекращается затопление новых площадей. В связи с необходимостью поддержания слоя на все бо́льших площадях ордината вновь растет и доходит до второго максимума, равного 1,78 *л/сек*. При различных сочетаниях поливных норм и сроков начала установления постоянного слоя затопления второй максимум ординаты гидромодуля может оказаться наибольшим, а следовательно, и расчетным. В разбираемом примере превышение расчетной ординаты гидромодуля над ординатой поддержания слоя оказывается равным:

$$K_н = \frac{2{,}33}{1{,}20} = 1{,}91.$$

Вторая схема. Для укомплектования полученного графика гидромодуля, как и в первом случае, надо увеличить долю площадей, включаемых под затопление в начале поливного периода. Доля площадей, которая должна засеваться, а затем затопляться в течение каждого дня, может быть определена по следующим формулам, полученным из условия постоянства ординаты графика гидромодуля в течение всего периода первоначального затопления $T_п$:

$$\Delta_1 = \frac{1}{T_п - aT_2}; \qquad (39)$$

$$\Delta_2 = \frac{1 - \Delta_1 T_1}{T_2}; \qquad (40)$$

$$a = \frac{q_з + 0{,}5\, t\, q}{q_1}, \qquad (41)$$

где T_1 — период, в течение которого производится только первоначальное затопление;

T_2 — второй период, когда наряду с продолжением первоначального затопления на меньшей площади создается и поддерживается слой затопления на площадях, которые были засеяны первыми;

$T_п = T_1 + T_2$ — весь период первоначального затопления, сутки.

Для приведенного выше примера при составлении графика гидромодуля по второй схеме получим $\Delta_1 = 0{,}059$; $\Delta_{t+1} = 0{,}035$; $\Delta_{t+6} = 0{,}023$. Соответственно этому расчетная ордината:

$$q_р = 1{,}70 \text{ л/сек}.$$

С использованием вычисленных значений площадей для каждого дня составлен укомплектованный график гидромодуля, изображенный на рисунке 37, *б*. В этом случае коэффициент неравномерности:

$$K_н = \frac{1{,}70}{1{,}20} = 1{,}42.$$

Третья схема. В целях облегчения фактического водопользования площади под первоначальное затопление за время T_2 можно включать не ежедневно убывающими, а равными долями, аналогично тому, как это было сделано в первом типе при трехкратном водообороте. При такой схеме:

$$\Delta_1 = \frac{1}{T_п - b\,T_2}; \qquad (42)$$

$$\Delta_2 = \frac{1 - \Delta_1 T_1}{T_2}; \qquad (43)$$

$$b = \frac{q_3 + T_2 q}{q_1}. \qquad (44)$$

Формулы (42) и (44) аналогичны формулам (39) и (41) и отличаются лишь вторым членом в числителе при определении величины параметра b. Расчетная ордината получается несколько выше:

$$q_р = 1{,}85 \text{ л/сек}$$

и коэффициент неравномерности:

$$K_н = \frac{1{,}85}{1{,}20} = 1{,}54.$$

Разница со второй схемой составляет всего 4,2%, а преимущество в простоте применения этой схемы бесспорно.

Вторая и третья схемы при втором типе водного режима наиболее рациональные из всех рассмотренных. Отодвигание сроков создания постоянного слоя воды на поверхности чека на вторую половину посевного периода дает возможность существенно уменьшить расчетную ординату графика гидромодуля. В связи с этим уменьшается проектная пропускная способность каналов и сооружений.

В зависимости от природных условий, принятой агротехники и водного режима может быть большое разнообразие условий при определении расчетной ординаты гидромодуля в период первоначального затопления. В каждом отдельном случае, аналогично разобранным примерам, может быть укомплектован график гидромодуля. При этом следует отметить, что во всех случаях характерной чертой такого укомплектования будут более высокие темпы посева и залива в начале посевной кампании и постепенное уменьшение включаемых площадей к ее концу. Такой порядок наиболее рационален как для системы в целом, так и для каждого хозяйства в отдельности.

Поддержание слоя затопления

В период поддержания слоя затопления на поверхности чека расход воды с рисового поля складывается из водопотребления (испарение и транспирация), вертикальной фильтрации, бокового оттока, поверхностных сбросов и проточности.

Рассмотрим каждый из этих элементов. В условиях культуры затопляемого риса испарение происходит не с поверхности почвы, а со свободной водной поверхности. Процесс транспирации всегда полностью обеспечен необходимым количеством воды. На рисунке 38 изображено несколько подекадных графиков хода испарения, транспирации и суммарного водопотребления. Каждый график характеризуется максимумом, который в зависимости от погодных условий приходится на вторую

половину июля или август. Максимум общего водопотребления совпадает с максимумом транспирации и определяется последней. Увеличение расхода воды на транспирацию определяется ростовыми процессами. Доля транспирации в общей величине водопотребления непрерывно возрастает. К концу оросительного периода

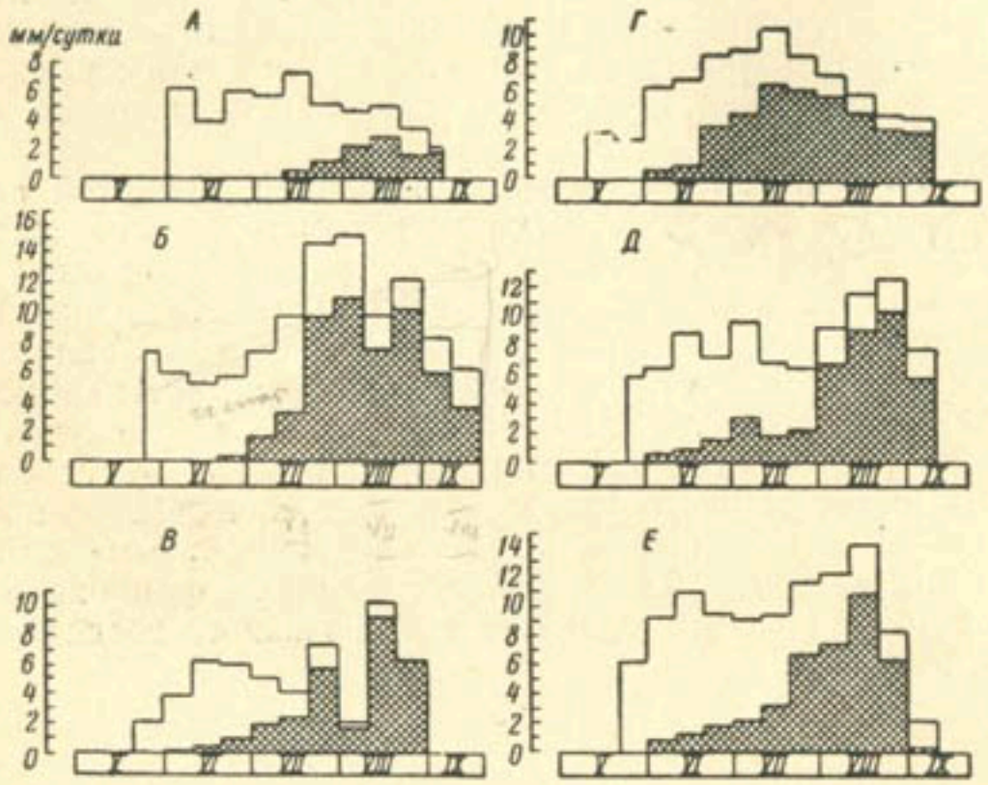


Рис. 38. Графики водопотребления:

А—Сантахезский ОМП, 1928 г.; *Б*—Кубанская РОС, 1958 г.; *В*—Славянский рисосовхоз, 1959 г.; *Г*—участок „Пятикараулы", 1955 г.; *Д*—дельта р. Терека, 1959 г.; *Е*—Тоболинское отделение, 1961 г.

транспирация не прекращается. Рис убирают, когда он имеет еще незначительную массу зеленых и жизнеспособных листьев и стеблей подгона.

При расчете графика гидромодуля величину водопотребления берут применительно к данным, полученным методом вегетационных сосудов-испарителей. Если этих данных нет, то ее вычисляют по методу Блейни и Кридла и сопоставляют с фактическими данными по системам, находящимся в аналогичных условиях. Величина водопотребления зависит от климатических факторов, которые, при обычных размерах системы, могут

быть приняты аналогичными по всей ее площади. Поэтому график водопотребления в большинстве случаев составляют один для всей системы.

Фильтрация с рисовых полей зависит от водно-физических свойств почвогрунтов и от общей гидрогеологи-

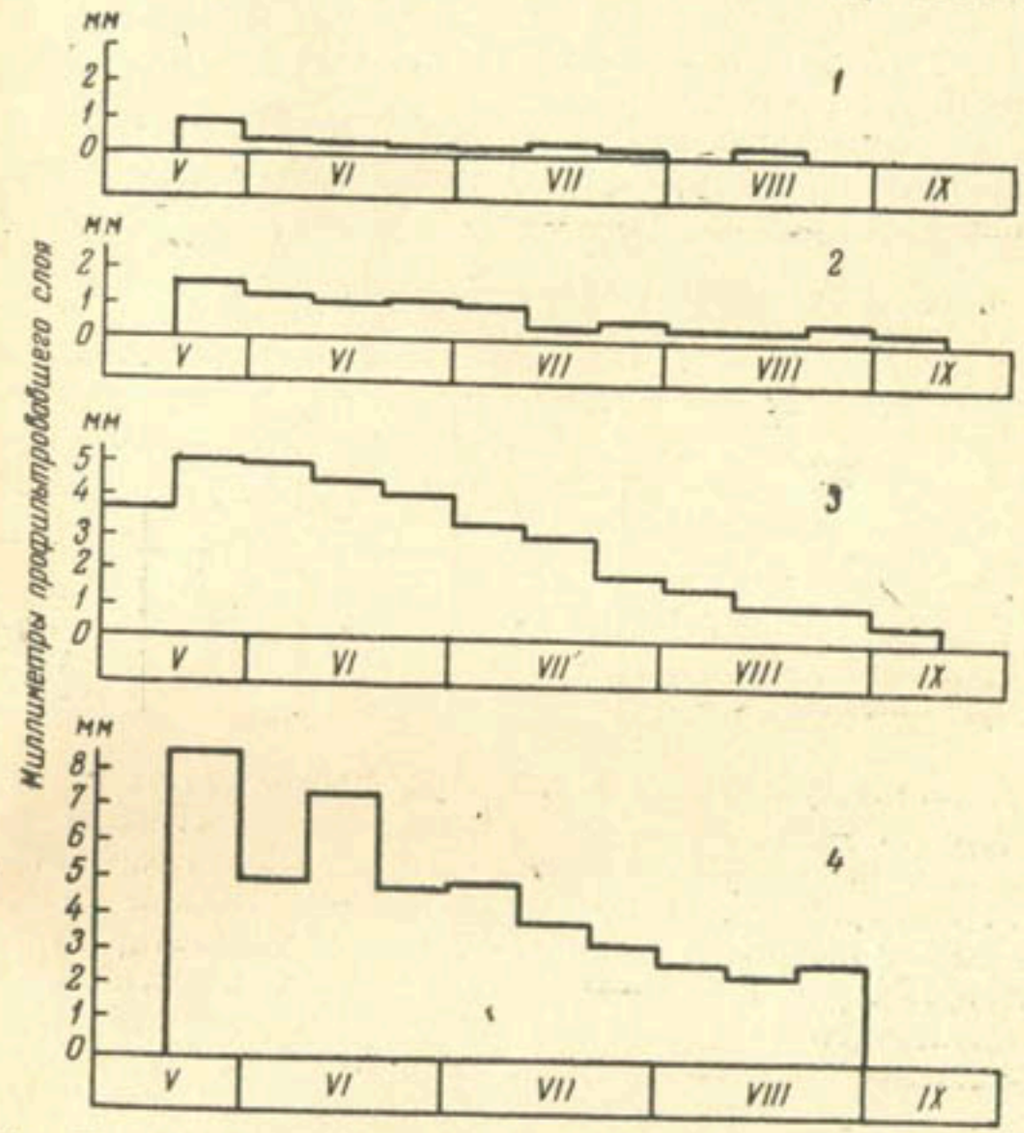


Рис. 39. Графики вертикальной фильтрации:

1—Петровско-Анастасиевская система, Краснодарский край; *2*—Кубанская система, Краснодарский край; *3*—колхоз имени Калинина, Ростовская область; *4*—колхоз им. М. Горького, Дагестанская АССР.

ческой обстановки. На рисунке 39 представлено четыре типичных графика хода фильтрации. В количественном отношении они сильно отличаются один от другого. Но общий ход фильтрации имеет отчетливо выраженную общую закономерность. Интенсивность вертикальной

фильтрации непрерывно уменьшается от начала к концу вегетационного периода. В этом направлении совместно действует несколько факторов. Процесс впитывания воды в почву идет по убывающему закону. По мере насыщения почвы водой набухает ее коллоидальная часть, а биохимические процессы, протекающие в почве затопленного рисового поля, ведут к ее постепенному обесструктуриванию.

Величина вертикальной фильтрации в пределах одного и того же земельного массива может изменяться в широких пределах (табл. 47).

Таблица 47

Величина вертикальной фильтрации на отдельных рисовых участках колхоза «Красный партизан» Астраханской области (в *м*³/*га*) (по Б. А. Шумакову и Л. В. Скрипчинской)

Участки	Подача воды $M+P$	Водопотребление $E+T$	Поверхностный сброс	Фильтрация F
№ 3, на гриве	39 838	10 875	920	28 043
№ 6, на гриве	27 363	10 875	1080	15 408
В большом ильмене . . .	10 413	10 875	—	—462
В малом ильмене	5 943	10 875	—	—4 932

Участки, указанные в таблице, расположены в порядке их удаления от русла реки. В направлении от реки понижаются их высотные отметки и утяжеляется механический состав почвы. На самом высоком участке № 3 фильтрация достигла 28 тыс. *м*³ на гектар. В то же время рис, высеянный на дне малого ильменя, расположенного на самых низких отметках, получил подпитывание за счет грунтовых вод в количестве около 5 тыс. *м*³/*га*. При определении ожидаемой величины фильтрации с рисовых полей территория проектируемой системы должна быть тщательно районирована. Наряду с гидрогеологической съемкой и лабораторными исследованиями хорошим материалом для этой цели могут служить полевые определения впитывания — фильтрации по методу Нестерова. Они должны быть выполнены в характерных точках по нескольким почвенным горизонтам.

Профильтровавшуюся в глубь почвы воду можно считать бесполезно потерянной. Вся система обработки почвы по воде, применяемая в странах древнего рисосеяния, приводит к уменьшению водопроницаемости почвы. Пахотный горизонт обесструктуривается и мелкоземистые частицы вмываются в глубь почвы. Многократные проходы животных при обработке почвы также вызывают уплотнение грунта. В Италии для уменьшения фильтрации были даже созданы так называемые катки Троммелино, имитирующие работу, выполняемую буйволом при обработке затопления рисовых полей.

При ручных прополках в результате хождения людей по рисовому полю также происходит обесструктуривание почвы и ее уплотнение. По данным опытного пункта Лоиань (КНР), на рисовом поле пункта до прополки фильтровало в среднем 2,4 *мм/сут*, а после трех последовательных прополок — только 0,7 *мм/сут*. Прекращение подачи воды и просушивание почвы, наоборот, вызывают увеличение фильтрации.

На Северо-Кавказской опытно-мелиоративной станции В. Н. Лаптевым были проведены опыты по искусственному уменьшению фильтрации с рисовых чеков. Для этого было применено укатывание в 4 прохода катком 3-К-6 с трактором «Беларусь» и затирание поверхности чека по грязи. Чек затапливался слоем воды в 10 *см*, затем в 5 следов пропускали тракторную волокушу. После оседания взмученных илистых частиц на поверхности почвы образовался слой ила примерно в 1 *мм*. Укатывание дало уменьшение фильтрации более чем в 1,5 раза, а затирание по воде — почти в 4 раза. Однако подобные работы дают нестойкие результаты, и их надо проводить ежегодно, так как замерзание почвы зимой вызывает ее разуплотнение.

В Японии, в связи с тем что тяжелые почвы полностью использованы и под посевы риса осваиваются легкие почвы, также проводятся мероприятия по уменьшению фильтрации. Под рис нередко занимают участки, отличающиеся очень большой фильтрацией. Так, в долине р. Куробе пахотный слой составляет только 10 *см*, а под ним идет слой песка и гравия, отличающегося сильной фильтрацией — 120—150 *мм/сут*, что за оросительный период составляет не менее 100 тыс. *м*³/*га*. Кроме того, фильтрация больших количеств холодной воды (в августе поливная вода имеет среднемесячную температуру 15,8°) отрицательно сказывается на урожаях. Для уменьшения фильтрации здесь проводят кольматаж

мутной водой, расстилают по поверхности поля компост, траву или солому, прогоняют по этому участку табун лошадей, обрабатывают поле машиной «Горо» [97]. В последнее время в Японии ведутся исследования по использованию бентонита для сокращения фильтрации с рисовых полей. Бентонит представляет особый вид глины, которая энергично разбухает при впитывании больших количеств воды. Для этой цели бентонит подмешивают к верхнему слою почвы в количестве около 0,7% по объему. После затопления чеков бентонит разбухает и закупоривает почвенные поры.

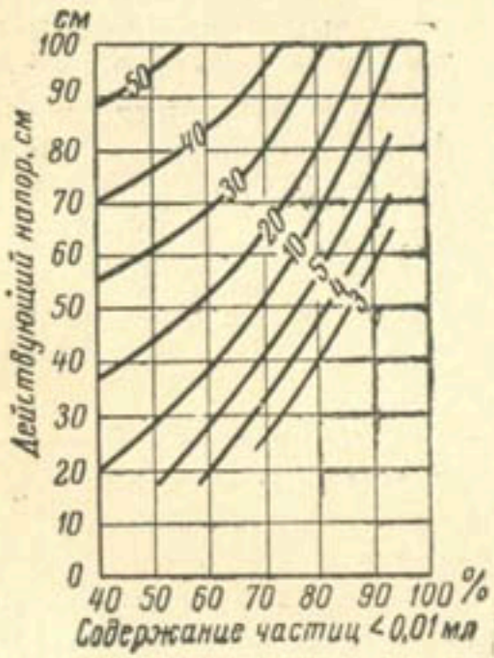


Рис. 40. Фильтрационный отток с затопленного рисового поля (в *л/сек* на 1 *км* картового сброса) в зависимости от действующего напора и механического состава грунта.

В проведенных опытах с использованием бентонита фильтрация уменьшалась в 2—4 раза. Широкого производственного применения бентонит пока не получил.

Существующие в настоящее время методы искусственного уменьшения фильтрации с рисовых полей трудоемки и в большинстве случаев не обеспечивают стойких результатов. Поэтому еще при составлении проекта должна быть выбрана надлежащая территория с наименьшей величиной вертикальной фильтрации, не превышающей 10 000 *м³/га* за сезон. Помимо вертикальной фильтрации в глубь грунта, существенное значение имеет боковой фильтрационный отток, величина которого может изменяться в широких пределах в зависимости от характера почвогрунтов и глубины сбросной сети. Наиболее подробно, с привязкой к механическому составу грунтов, этот вопрос был исследован П. К. Черепахиным в условиях Кубанской рисовой оросительной системы. Результаты обработки материалов по боковому оттоку изображены на графике (рис. 40).

Расход воды идет также на поверхностные сбросы и проточность. Этот расход в условиях незасоленных земель должен быть не более 10—20% суммарной подачи, причем в период первоначального затопления и установления слоя окончательного затопления поверхностные сбросы и проточность должны быть вообще исключены. При возделывании риса на засоленных землях сбросы и проточность предусматривают, исходя из соображений, изложенных в главе III.

Формулы для определения ординат графика гидромодуля

Величина гидромодуля для каждого этапа оросительного периода (см. главу VII) может быть определена по следующим формулам.

1-й этап. Первоначальное затопление. По предыдущему:

$$q_1 = 0{,}0116\left[\frac{W + 100\,h_1}{t_1} + 10\,\varepsilon_1\right] \text{ л/сек.} \qquad (23)$$

2-й этап. Перерыв на всходы:

$$q_2 = 0{,}0 \text{ л/сек}\cdot\text{га.} \qquad (45)$$

3-й этап. От всходов до кущения. В это время создается слой для борьбы с сорняками:

$$q_3 = 0{,}116\left[10\,\frac{h_3}{t_3} + \varepsilon_3 + \tau_3 + \varphi_3\right] \text{ л/сек}\cdot\text{га.} \qquad (46)$$

4-й этап. Кущение. Производится сброс слоя воды. Гидромодуль сброса:

$$q_{c-4} = 1{,}16\,\frac{h_3 - h_к}{t_к} \text{ л/сек}\cdot\text{га.} \qquad (47)$$

Одновременно в период кущения поддерживается заданный слой затопления:

$$q_4 = 0{,}116\,(\varepsilon_4 + \tau_4 + \varphi_4) \text{ л/сек}\cdot\text{га.} \qquad (48)$$

5-й этап. Создание постоянного слоя затопления:

$$q_5 = 0{,}116\left(10\,\frac{h_5 - h_к}{t_5} + \varepsilon_5 + \tau_5 + \varphi_5\right) \text{ л/сек}\cdot\text{га.} \qquad (49)$$

6-й этап. Поддержание заданного слоя:

$$q_6 = 0{,}116\,(\varepsilon_6 + \tau_6 + \varphi_6)\ л/сек \cdot га. \qquad (50)$$

7-й этап. Прекращение подачи после наступления восковой спелости:

$$q_7 = 0{,}0\ л/сек \cdot га. \qquad (51)$$

8-й этап. Окончательный сброс:

$$q_{c-8} = \frac{0{,}116}{t_8}\left[10\,h_5 + p_{7+8} - (\varepsilon_{7+8} + \tau_{7+8} + \varphi_{7+8})\right] л/сек \cdot га. \qquad (52)$$

При определении гидромодуля сброса осадки должны учитываться, так как при выпадении в период, предшествующий заключительному сбросу, они увеличивают количество воды, которое должно быть отведено с рисового поля.

В формулах (23), (45—52)

q_1, q_3 — средняя величина гидромодуля подачи воды для каждого из этапов, *л/сек · га*;

q_{c-2} — гидромодуль сброса для соответствующих этапов, *л/сек · га*;

t_1, t_2 — продолжительность этапов, сутки;

$t_к$ — время, в течение которого понижается слой воды перед кущением, сутки;

t_8 — время, в течение которого вода окончательно сбрасывается, сутки;

h_1, h_3 — глубина слоя затопления, устанавливаемая в данном этапе, *см*;

$h_к$ — слой, устанавливаемый на период кущения, *см*;

$\varepsilon_1, \varepsilon_2$ и т. д. — испарение
τ_3, τ_4 и т. д. — транспирация
φ_2, φ_3 и т. д. — фильтрация
p_7 и т. д. — осадки
} *мм/сут* в среднем за этап.

Если в течение оросительного периода предполагается несколько сбросов или понижений слоя с последующим восстановлением его, то их рассчитывают аналогично 4, 5 и 6 этапам.

Если по тем или иным причинам требуется установить степень проточности, то коэффициенты в формуле для определения ординат графика гидромодуля увеличивают по данным таблицы 48.

Таблица 48

Значение коэффициентов в формуле гидромодуля при разной степени проточности

Степень проточности, %	Нет	5	10	15	20	25
Коэффициент для подачи воды	0,116	0,122	0,128	0,133	0,139	0,145
Коэффициент для сброса	0,00	0,006	0,012	0,017	0,023	0,029

После вычисления поэтапных значений q строят графики гидромодуля и сброса. Наибольшие значения ординат принимают за расчетные.

В расчетные формулы гидромодуля входят величины отдельных статей расхода поливной воды на рисовом чеке. При составлении графика подачи на всю систему в целом они должны быть увеличены с учетом коэффициента полезного действия соответствующих частей системы.

Фактические графики гидромодуля

Для определения фактических графиков гидромодуля в 1958—1960 гг. были проведены детальные замеры подачи и сброса воды по двум типовым картам на каждой из трех рисовых оросительных систем Краснодарского края (рис. 41). Гидромодуль первоначального затопления по большинству графиков составляет от 3 до 6 *л/сек* и нигде не достигает принимаемой обычно в расчетах величины $q = 7{,}5$ *л/сек га*. В период поддержания слоя он равен примерно 2 *л/сек га*. Исключение составляет карта 26 по Кубанской системе, где были очевидные излишества со сбросом поливной воды. На большинстве графиков отмечается повышение ординаты в июле — наиболее жарком месяце, в течение которого интенсивно нарастает зеленая масса риса.

На графиках сброса, наложенных на график подачи, неожиданно проявляются значительные пики сброса во время первоначального затопления (май). Это говорит о совершенно нерациональном использовании поливной воды в этот напряженный период в результате создания вначале излишне глубоких слоев, которые затем на время получения всходов приходится сбрасывать.

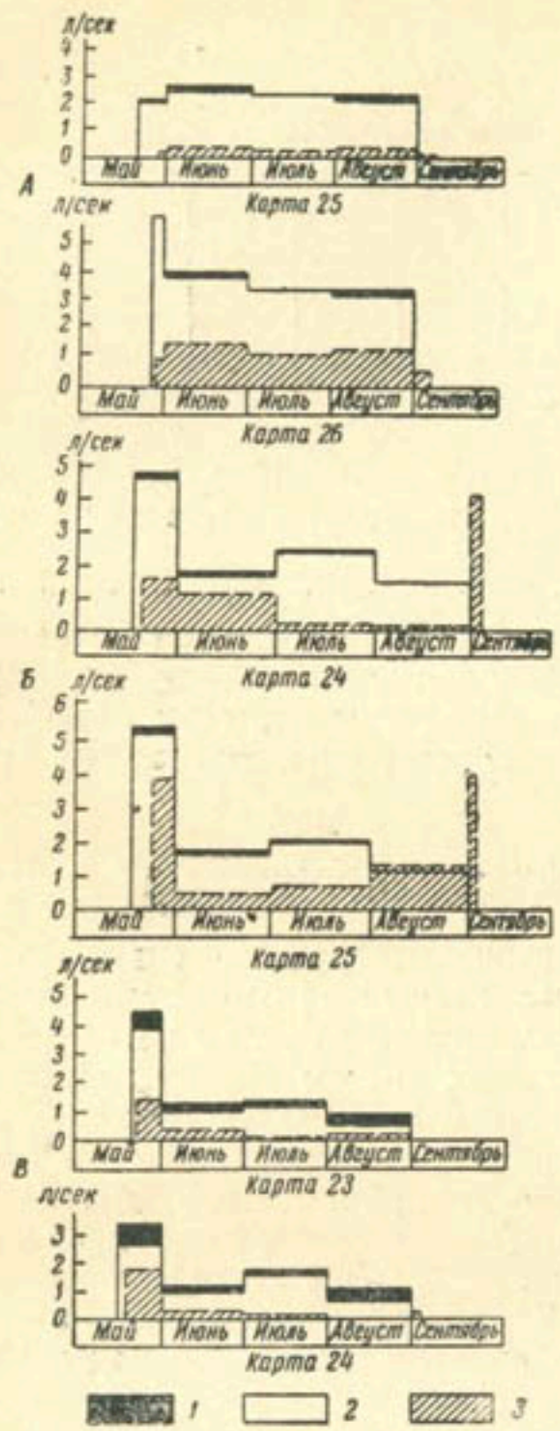


Рис. 41. Фактические графики гидромодуля нетто:

А — Кубанская система 1958 г.; *Б* — Петровско-Анастасиевская система 1959 г.; *В* — Афипская система 1960 г. *1* — осадки; *2* — подача; *3* — сброс.

В период поддержания слоя модуль сброса составляет от 0,5 до 1 *л/сек га*. Исключение составляет та же карта 26 на Кубанской системе.

Графики гидромодуля по Кубанской и Афипской системам отличаются отсутствием обычного осеннего пика сброса. На системах была своевременно прекращена подача воды и к моменту восковой спелости риса почти вся вода уже испарилась и впиталась. График гидромодуля по Петровско-Анастасиевской системе, наоборот, характеризуется большими сбросами в период первоначального затопления и осенью. На этой системе было совершенно неправильное использование поливной воды. Средние фактические подекадные величины гидромодуля подачи в голове Кубанской рисовой оросительной системы за последние 5 лет приведены в таблице 49.

Разбивка на декады сделана, начиная с первого дня подачи воды на затопление рисовых полей. Оросительный период распадается на три части. Первые две декады — первоначальное затопление, когда $q_{1\ брутто}$ в среднем равно 3,08 *л/сек*; с 3 по 10-ю декаду — период поддержания слоя $q_{2\ брутто} = 2{,}37$ *л/сек* и последние две декады — уменьшение подачи воды перед осенним осушением полей, когда $q_{3\ брутто} = 1{,}80$ *л/сек*.

Таблица 49

Фактический гидромодуль подачи оросительной воды по многолетним данным кубанской оросительной системы Краснодарского края

Декады	1957 г.	1958 г.	1959 г.	1960 г.	1961 г.	Среднее
1	3,14	3,42	3,13	3,27	3,3	3,25
2	2,70	2,87	2,91	2,56	3,5	2,91
3	2,87	1,76	3,04	2,66	2,66	2,56
4	2,46	2,04	2,50	2,29	2,98	2,43
5	2,06	2,05	2,49	2,14	2,72	2,29
6	2,32	2,24	2,24	2,12	2,30	2,24
7	2,32	2,45	2,32	1,83	3,04	2,38
8	2,29	2,55	2,25	2,71	3,12	2,59
9	1,80	2,34	2,10	2,69	2,58	2,31
10	1,73	2,38	2,26	2,13	2,43	2,18
11	1,21	2,27	1,90	1,66	2,35	1,87
12	1,14	2,08	1,91	1,51	1,45	1,72

Графики гидромодуля разрабатывают только в стадии проектного задания. Вначале по массиву, предназначенному для строительства на нем рисовой оросительной системы, разрабатывают не менее двух графиков гидромодуля для наиболее отличных по почвенно-гидрогеологическим условиям участков. Если разница между ординатами гидромодуля в этом случае не превышает 15%, то за расчетный принимают один средневзвешенный график. Когда же разница между ординатами гидромодуля более 15%, то проводят гидромодульное районирование и для каждого района составляют самостоятельный график. По каждому гидромодульному району определяют q_{I}, соответствующий периоду первоначального затопления, и $q_{мин.}$ — периоду поддержания слоя.

Если культуры, входящие в севооборот, орошаются, то гидромодуль для них находят обычным порядком и их в соответствующем проценте вводят в сводный график по системе.

Модуль стока в дренажные каналы, если они предусматриваются на системе, определяют по общепринятым методам.

2. Рисовая оросительная система

Рисовая оросительная система состоит из следующих элементов:

а) водопроводящей сети, доставляющей оросительную воду от источника орошения до рисового поля;

б) регулирующей сети, обеспечивающей поддержание нужного водного режима на рисовом поле;

в) водоотводящей сети, служащей для удаления излишков поверхностных и грунтовых вод с территории системы, а также для ограждения соседних, не занятых рисом площадей от возможного подтопления;

г) гидротехнических сооружений для регулирования расходов и горизонтов воды во всех звеньях системы;

д) вспомогательных устройств и приспособлений (водомерные посты, связь, дороги, лесополосы, служебные и жилые здания и др.), создающих условия для надлежащей хозяйственной и технической эксплуатации рисовой оросительной системы.

Устройство всех звеньев системы должно быть подчинено тем требованиям, которые вызваны спецификой культуры затопляемого риса.

Эти требования кратко сводятся к следующим.

1. Под рисовые оросительные системы желательно выбирать площади с тяжелыми почвогрунтами.

2. Оросительная система должна обладать возможностью двухстороннего регулирования почвенной влажности, т. е. обеспечивать поверхностное осушение рисо-

вых полей во время уборки и более глубокое просушивание почвы в межполивной период.

3. Расположение элементов оросительной сети относительно друг друга должно обеспечивать производительное использование современной сельскохозяйственной техники.

4. Горизонты воды в картовом оросителе должны превышать на 25—30 *см* наивысшую точку орошаемой из него территории для обеспечения возможности создания необходимой глубины затопления в период борьбы с сорняками.

5. Для создания равномерных слоев затопления поверхность чеков должна быть спланирована.

6. Коллекторная сеть, помимо пропуска расходов воды, поступающих по поверхностной водосбросной сети, по возможности должна еще выполнять функции отвода грунтовых вод, для чего она должна быть соответственно заглублена.

7. На незасоленных землях в период затопления рисовых полей горизонты в водосбросной сети должны держаться в подпорах для уменьшения величины оросительной нормы. Для этого водосбросная сеть должна иметь соответствующие сооружения.

Регулирующая сеть при возделывании затопляемого риса наиболее отличается от соответствующих устройств при орошении других культур. При дальнейшем изложении основное внимание будет уделено рассмотрению вопросов, специфических для риса.

Возделывание риса и создание специальных рисовых оросительных систем началось много веков назад. Бо́льшая часть древнейших способов орошения в почти неизмененном виде сохранилась до наших дней в старых районах рисосеяния, которые занимают наибольшую площадь посевов риса в мире. До недавнего времени это были технически отсталые колониальные и полуколониальные страны. Предстоит реконструкция огромных массивов древнего рисосеяния.

Поэтому рассмотрение вопросов проектирования рисовой оросительной системы начинаем с краткого обзора существующих способов орошения риса в различных странах мира. Далеко не все старые системы требуют полной переделки. Многовековый народный опыт отобрал приемы орошения, которые на доступном уровне

техники дают возможность наилучшего приспособления к природным условиям, часто весьма непохожим на привычные для нас.

Глава VIII

Способы водообеспечения культуры риса

Потребность в искусственном орошении определяют климатические условия. Техника подачи воды на рисовые поля в решающей степени зависит от положения данной территории по отношению к основным элементам рельефа и от того технического уровня, на котором находится данное хозяйство. Эти два признака положены нами в основу классификации способов водообеспечения риса, представленной в таблице 52.

В предлагаемой схематической классификации даны три градации элементов рельефа: долины и дельты рек, равнины и склоны гор.

Технические приемы водообеспечения, дающие горизонтальное членение таблицы, расположены по нарастающей степени их сложности.

Культура риса без ирригации

Это технически примитивные и, видимо, самые ранние по времени возникновения способы водообеспечения культуры риса. Их применение возможно в районах, где выпадает более 1000 *мм* осадков.

Плавающий рис (табл. 50, 1) — наиболее простая, не требующая никаких ирригационных устройств культура. Она встречается в ряде стран и расположена в дельтах и бессточных депрессиях рельефа, которые на долгое время затопляются муссонными дождями или при половодье рек, осушение которых невозможно или невыгодно. Рис высаживают или в самом начале дождей, или на уже затопленных полях. Посадку при затоплении слоем 0,3—0,5 *м* делают с помощью специальной вилки.

Таблица 50

Способы водообеспечения риса в зависимости от положения участка относительно элементов рельефа и технического уровня хозяйства

Технические приемы водообеспечения	Рельеф: долины и дельты рек	Рельеф: равнины	Рельеф: склоны гор	Водообеспеченность
I Без ирригации	1. Плавающий рис 2. Ачима	3. Небесный рис	4. Небесный рис на террасах 5. Горный (суходольный) рис	Целиком зависит от количества и времени выпадения осадков
II Краткосрочное регулирование дождевого стока	—	6. Засеваемые пруды 7. Постоянные пруды	—	Зависит от количества выпавших осадков
III Самотечное орошение живым током	8. Бассейновое орошение	9. Глубокие каналы с водоподъемом	11. Орошение по террасам	Зависит от водности источника орошения и степени его использования
		10. Командующие каналы		

Продолжение

Технические приемы водообеспечения	Рельеф			Водообеспеченность
	долины и дельты рек	равнины	склоны гор	
IV Самотечное орошение с годовым и многолетним регулированием	12. Отдельные водохранилища		—	Постоянная, за исключением катастрофически маловодных лет
	13. Цепочки водохранилищ			
V Машинное орошение	14. Насосные станции		—	Постоянная
VI Осушение и орошение затопляемых территорий	15. Водные дворы, полдеры		—	Избыточная
	16. Приливное орошение			
VII Орошение подземными водами	—	17. Буровые скважины	—	Зависит от наличия и степени использования подземных вод

По мере постепенного увеличения глубины затопления рис очень быстро растет в высоту, так что на поверхности воды все время плавает взрослый лист и видна верхушка следующего молодого листа. Так продолжается до конца половодья, во время которого глубина затопления нередко достигает более 2 *м*.

Спад горизонтов обычно идет быстрее, чем подъем. В верхнем узле растения, после того как начинает спадать горизонт воды и прекращается рост стебля в длину, образуются висячие корни. Потеряв опору, плавающее растение риса ложится на переувлажненный грунт, покрытый лужами воды. При соприкосновении с грунтом корни у верхнего узла укореняются и начинается как бы вторая вегетация. Нижняя часть стебля, ставшая теперь не нужной, отмирает.

Плавающий рис продолжает развиваться дальше, как обычное наземное растение, и дает урожай. Наиболее известный пример такого типа культуры риса имеется в Камбодже [17, 23].

В районах, где слой воды на полях задерживается надолго, высевают сорта риса, которые у плавающего верхнего междоузлия образуют боковые побеги, т. е. кущение идет на поверхности воды. Такой рис убирают с лодок. Интересно отметить, что эти же сорта риса в обычных условиях дают более высокие урожаи. В Индии, в штатах Ассам, Уттер-Прадешь и Орисса выведены специальные сорта риса, которые могут переносить слой воды на полях от 1,6 до 6 *м* [71].

Плавающий рис возделывают в Китае, Таиланде, Индии, ОАР, в долине р. Нигер и других странах. Его урожаи обычно невелики — 8—12 *ц/га*.

Ачима (табл. 50, 2) — это особый вид рисовых полей, расположенных в низинах на болотных почвах. Чеки на них в течение всего года находятся под водой. Таким способом рис возделывали в некоторых районах Узбекистана [52].

Возможность возделывания подобной культуры показывает, что наши представления о кислородном режиме рисовых полей нуждаются еще в существенных уточнениях.

Небесный рис (табл. 50, 3). Крестьяне при этом типе культуры земледелия все свои надежды возлагают только на небо, т. е. на дождь. Оросительную

систему в обычном понимании при возделывании такого риса не делают. Но вместе с тем здесь уже возникает необходимость в простейших устройствах в виде валиков, с помощью которых дождевая вода задерживается на рисовом поле. Глубина слоя воды на чеках целиком зависит от количества осадков и времени их выпадения. Для перепуска излишней воды в валиках делают примитивные водовыпуски из чека в чек. Из нижнего чека через воду выпускают в естественную котловину между холмами. Нередко ее емкость бывает недостаточной и часть рисовых посевов оказывается затопленной.

В старых районах рисосеяния этот способ орошения риса занимает огромные площади. В Китае небесным рисом засевается до 7 млн. *га* [12], в Бирме — более 3,5 млн *га*, на Филиппинах — более 1 млн. *га*. В Индии только 30% посевов риса орошают искусственно, а в Камбодже — не более 6%. На остальных площадях затопление создается за счет дождей. Такой способ орошения не дает гарантии на получение устойчивых урожаев.

Небесный рис на террасах (табл. 50, 4). Небесный рис возделывают не только в долинах, но и поднимают в горы, где его высевают на террасах. На горных склонах стран древнего рисосеяния встречаются как бы два полюса этой культуры: поражающие своей грандиозностью рисовые террасы и совершенно примитивная, подсечная культура горного риса.

Горный, или суходольный, рис (табл. 50, 5). Этот тип культуры риса подробно описан во второй главе. Его сеют в районах, где выпадает не менее 1000 *мм* осадков. Этот вид культуры риса наиболее экстенсивный и дает малые урожаи.

Краткосрочное регулирование дождевого стока

Плавающий, небесный и горный рис целиком зависят от количества осадков и времени их выпадения. В странах с муссонным климатом осадки отличаются большой неравномерностью. У древних рисоводов естественно возникало желание собрать, запасти дождевую воду, чтобы иметь возможность подать ее на рисовые поля в нужное время.

Засеваемый пруд (табл. 50, 6). В районах с муссонным климатом некоторое количество дождей выпадает и в так называемый сухой период. Если дождевую воду собрать в небольшой пруд, расположенный в вышележащей седловине, то до начала массовых ливней можно оросить питомник, где выращивается рассада риса. В результате продолжительность оросительного периода увеличивается не менее чем на месяц [12]. Когда вся вода из пруда использована, его дно также используют под посев риса. Это наиболее простая форма регулирования местного дождевого стока.

Постоянный пруд (табл. 50, 7). В пруде, устроенном аналогично предыдущему, накапливают запас воды, достаточный не только для орошения питомника, но и для дополнительного орошения основных рисовых полей в критические моменты вегетационного периода. Площади систем, базирующихся на таких прудах, бывают от нескольких сотен квадратных метров до 100—200 *га*. В этом случае имеется уже правильное орошение, хотя сеть оросительных каналов на такой системе развита весьма слабо, так как подача воды по рисовым полям идет из чека в чек, с верхней террасы на нижнюю. Такой тип ирригации делает менее вероятной посушку риса. Но и в этом случае запас воды, собираемой в пруде, целиком зависит от осадков. Так, в провинции Хунань, в бассейне рек, впадающих в озеро Дунтинху, гарантированная водообеспеченность подобных систем не превышает 50%.

Аналогичный тип орошения риса до недавнего времени был широко распространен в Азербайджане в виде истилей. Истиль — это мелкий пруд, в котором создают запас воды в дождливый осенне-зимний период. Подобные же устройства делают в Индии под названием «ахарсы» [71].

Кроме засеваемых и постоянных прудов, среди рисовых полей обычно имеются мелкие водоемы и ямы, наполненные водой на 0,5—1 *м*. Из них с помощью простейших водоподъемных механизмов воду подают на чеки, если нет дождей. Кроме того, в таких водоемах, расположенных вблизи населенных пунктов, возделывают идущие в пищу культурные гидрофиты (лотос орехоплодный, водяной орех, колоказия, стрелолист и др.).

Самотечное орошение живым током

Несмотря на то что орошение риса, основанное только на выпадении атмосферных осадков, очень ненадежно, лишь незначительная часть мировых посевов риса имеет оросительные системы, получающие воду из рек и озер. В то же время тропический и субтропический климат этих районов при должной водообеспеченности позволяет снимать два и даже три урожая риса за один год.

Сейчас в Китайской Народной Республике, в Демократической Республике Вьетнам, в Малайе, Индонезии и других странах ведется ирригационное строительство не только в целях освоения новых площадей, но и для создания гарантии высоких урожаев на полях небесного риса и получения возможности снятия здесь вторых урожаев. Простейший вид использования водных ресурсов рек и ручьев — самотечное орошение живым током без сезонного или многолетнего его регулирования.

Бассейновое орошение (табл. 50, 8). Чтобы умерить глубину затопления и продлить его время, земледельцы строят несколько рядов высоких дамб вдоль берега реки. Полученные полосы разбивают поперечными валами на отдельные участки — бассейны, которые затопляют полыми водами на разную глубину. Вода в бассейн может поступать только в период половодья. Но глубину затопления можно ограничить своевременным перекрытием водозаборного отверстия. Поперечные валы удерживают воду в бассейнах и после окончания паводка. Все это создает лучшие условия для произрастания риса, чем при описанном выше посеве плавающего риса непосредственно в затопляемой пойме или дельте. Такой способ орошения является одним из древнейших видов ирригации. Он широко практикуется в рисовых районах Таиланда, Гвинеи, ОАР и других стран.

В бассейны, затопляемые на разную глубину, высевают или высаживают разные сорта риса, приспособленные к вегетации в этих условиях (табл. 9) [17].

Глубокие каналы с водоподъемом (табл. 50, 9). В районах древнего орошения риса оросительные каналы, как правило, не командуют над орошаемой территорией. Горизонты воды в них ниже поверхности поливного поля. Забор воды из реки обычно бесплотинный. Во время половодья такие каналы

пропускают большие расходы воды. После паводка горизонты и расходы воды резко снижаются. Воду на поля из таких каналов подают простейшими водоподъемными механизмами, изготовленными самими земледельцами, нередко совсем без применения металла. В ряде стран древней культуры риса такой способ ирригации является основным. Так, в ДРВ из 2,1 млн. *га* посевов риса не более 0,7 млн. *га* получают воду из каналов самотеком, а на остальные 1,4 млн. *га* она подается черпаками, бамбуковыми корзинами, ножными нориями и др. В Китайской Народной Республике в бассейне р. Янцзы из 11 млн. *га* риса на полив 4,4 млн. *га* воду поднимают из глубоких каналов с помощью ножных норий и других простейших механизмов. Орошение риса таким способом требует огромных затрат труда. В последние годы в КНР постоянно много мелких насосных станций. Они заменили большое число людей, работавших на подъеме воды ножными нориями [46].

Ирригация с заглубленными каналами вызвана специфическими условиями районов, в которых этот способ распространен. Осадки здесь выпадают в огромных количествах и часто вызывают наводнения. В этом случае заглубленный канал, идущий по пониженным отметкам рельефа, из оросительного обращается в водоотводный. Он гораздо более устойчив и надежен, чем канал, устроенный в дамбах. Переполнение заглубленного канала не угрожает разрушением, а лишь увеличивает его пропускную способность. Такие каналы разгружают русло реки в период половодья. Вместе с тем они служат основными транспортными артериями.

Командующие каналы (табл. 50, 10). Следующим этапом усовершенствования ирригационной техники являются каналы, горизонты воды в которых командуют над орошаемой территорией. Для этого требуется устройство длинных холостых частей магистральных каналов, на протяжении которых за счет разности в уклонах местности и горизонтов воды в канале осуществляется деривация. При возрастании технических возможностей русло реки перегораживается, чем создается сосредоточенный подъем горизонтов. Нередко оба принципа сочетаются вместе.

Самотечное орошение — основное для всех районов рисосеяния, расположенных в областях, где естественных

осадков недостаточно для возделывания риса. К их числу относятся районы рисосеяния СССР, европейских стран, США и др. Но и в странах с влажным климатом ведется интенсивное строительство самотечных рисовых систем на новых землях и реконструкция полей небесного риса.

Орошение по террасам (табл. 50, 11). Во многих густонаселенных районах древнего рисосеяния, особенно на островах, под посевы освоены не только речные долины и обширные равнины с невысокими холмами, но и склоны гор. На террасах выращивают как небесный рис, так и орошаемый из горных речек и ручьев. Для смягчения больших уклонов, неизбежных в горных условиях, каналы устраивают зигзагами. Нередко воду подводят в трубах, сделанных из стволов бамбука, в которых выбиты перегородки в междоузлиях. Террасы для посева насыпают из камня или из смеси камня с землей. В дождливый период вода горных ручьев несет много ила. Он отлагается на террасах и создает плодородную и маловодопроницаемую почву для возделывания риса.

Самотечное орошение с годовым и многолетним регулированием

Искусственная плотина, перегораживающая русло реки, не только обеспечивает нужные командные горизонты, но и дает возможность аккумулировать некоторую часть ее стока, чтобы использовать этот запас в маловодный период.

Отдельные водохранилища (табл. 50, 12) — первый этап внутригодового, а затем и многолетнего регулирования стока на данном источнике орошения.

Цепочки водохранилищ (табл. 50, 13). В ряде районов древнего орошения риса процесс регулирования источников орошения полностью завершен. Целые реки превращены в цепочки водоемов. В период дождей в них запасают воду для возделывания риса в сухое время года. Во влажные годы воду аккумулируют для использования ее в маловодные. Примером такого полного использования источника орошения может служить многовековая история ирригации в бассейне рек Инда и

Андхра-Прадешь и Теленган в округе Хайдарабад (Индия). Теленган называют «землей тысячи водоемов». Здесь снимают два, а в некоторых местах три урожая риса в год [71].

Устройство водохранилищ в сочетании с современными методами гидрологического прогноза дает возможность не только повысить водообеспеченность рисовых посевов, но и рационально регулировать их посевные площади применительно к ожидаемой водности данного года. В этом отношении поучителен опыт ОАР. Здесь рис сеют только в нижней части дельты Нила. Под рис отведена специальная территория, орошаемая каналами, которые подают воду только на рисовые поля. По данным гидрометеорологических наблюдений за ледниками, питающими Нил, с учетом запаса воды, образованного в водохранилищах, департамент земледелия Объединенной Арабской Республики ежегодно составляет прогноз водности реки. На этом основании выдаются лицензии на посев риса в размерах, обеспеченных водой. В зависимости от водности эти площади по отдельным годам изменяются от 100 до 350 тыс. *га*.

Машинное орошение

Машинное орошение при возделывании затопляемого риса применяется сравнительно редко, так как для полива риса требуются большие объемы воды. Крупным районом рисосеяния, целиком базирующимся на насосных станциях, является Камарга. Он расположен на юге Франции, в дельте р. Роны, между ее рукавами Большая и Малая Рона, в районе г. Арль. В условиях дельты вывод оросительной воды в командование путем устройства водоподъемных плотин или деривационных каналов технически нецелесообразен. Поэтому все 35 тыс. *га* рисовых полей орошают здесь с помощью насосных станций, работающих на электроэнергии. Рис возделывают в монокультуре. Урожаи достигают 40 *ц/га*. Для удаления с полей сбросной воды устроена разветвленная сеть водоотводных каналов. Вода из сбросной сети также с помощью насосных станций перекачивается в озера или реку. Крупные насосные установки для орошения риса имеются также в США —

в штатах Техас и Луизиана. В 1937 г. здесь была электрифицирована насосная станция, орошающая более 4 тыс. *га* риса. На ней установлено три насоса с разной производительностью, что дает возможность подавать 7 разных расходов воды в пределах от 1,25 до 6,4 *м*³/*сек* [101].

Осушение и орошение затопляемых территорий

В районах с муссонным климатом бывают частые наводнения, которые приносят большие бедствия для земледельцев. Для борьбы с наводнениями применяют общее обвалование и устраивают водные дворы, или полдеры.

Общее обвалование. Обвалование рек широко применяют во всех районах рисосеяния южной и юго-восточной Азии. Например, в Корее все реки и даже осушительные каналы обвалованы дамбами. Но это, казалось бы, вполне радикальное средство для борьбы с наводнениями имеет существенный недостаток. За многие столетия существования обвалования в руслах рек откладывается огромное количество наносов. В связи с этим валы приходится систематически досыпать, и реки оказываются как бы приподнятыми над окружающей равниной. Подобное явление имеется у нас в дельте р. Терека. На поддержание дамб обвалования в исправности ежегодно затрачивается много сил и средств. И все же во время наводнения дамбы нередко оказываются прорванными. Так, за 20 лет — с 1912 по 1933 г. — р. Хуанхэ 94 раза прорывала обвалование и затопляла обширные пространства, причиняя огромные убытки. Поэтому рисовые поля, расположенные в долинах, хотя они и имеют более плодородные почвы и дают большие урожаи, считаются здесь менее ценными, так как вследствие прорыва дамб часто подвергаются затоплению.

Задержание стока. Более рациональный способ борьбы с наводнениями — это задержание стока на водосборе. Такое мероприятие ликвидирует причину наводнений. Рисовые поля при достаточных запасах в высоте валиков над уровнем воды сами могут аккумулировать значительные количества ливневых осадков. Этот прием широко применяется на высоко расположенных рисовых полях ДРВ. Временное повышение глубин затопления на чеках не считается опасным.

Но наводнения возникают не только в результате разливов рек. Когда количество осадков превышает расход их на испарение, транспирацию, фильтрацию и поверхностный сток, начинается систематическое накопление воды на данной территории. Сначала вода скапливается в понижениях, а затем разливается на все бóльшие пространства. Поверхность равнины покрывается слоем воды 1 *м* и более. В реках в это время также проходит паводок, и сток воды с окружающих земель в них затруднен. Вода задерживается на полях на длительное время после прекращения ливней. В результате полностью или частично гибнет урожай. Наводнения такого типа бывают чаще и приносят больший ущерб, чем наводнения от прорыва дамб.

Водные дворы, или полдеры (табл. 50,15), являются дальнейшим развитием процесса обвалования. Они представляют кольцевое обвалование отдельных участков. Такое обвалование служит для защиты от наводнений и морских приливов или для обращения под культуру риса участков дна озер. Водные дворы имеют самые различные площади — от нескольких десятков до тысяч гектаров. Большие водные дворы, ограждаемые валами высотой до 12 *м*, делятся затем на более мелкие участки, валы вокруг которых достигают 3—8 *м*. С двух сторон водного двора обычно устраивают каналы, идущие по высоким отметкам. В центральной части двора располагают заглубленный сбросной канал. Каждый канал имеет шлюзы в дамбах обвалования. Во время паводка шлюзы закрывают. По мере надобности через них самотеком подают воду в верхние каналы. После падения горизонтов воду для орошения подают из центрального заглубленного канала с помощью простейших водоподъемных механизмов.

Примером подобного вида ирригации может служить район озера Дунтинху в КНР, где площадь водных дворов достигает 954 тыс. *га*, а общая длина обвалования превышает 4 тыс. *км*. Рисовый район вокруг озера Дунтинху — один из самых высокоурожайных в Китае [12].

Вместе с тем такое отвоевание сельскохозяйственной территории от паводков имеет и отрицательные стороны. С увеличением обвалованных площадей уменьшается емкость затопляемых бассейнов и паводковые горизонты повышаются. Это вызывает необходимость непрерывного наращивания высоты валов и усиления их поперечного сечения. Кроме того, начинают покрываться водой территории, которые до этого не затоплялись.

Более рационален способ, который применяется в районе озера Лисяхэ. Здесь посевные площади создавали повышением одной части поверхности дна озера за счет одновременного углубления другой. В этом случае поля ограждали небольшими валами высотой 1—1,5 *м*. Озерный ил, поднимаемый со дна с джонок специальными черпаками, является отличным удобрением. Воду на поля подают путем подъема ее простейшими механизмами из густорасположенных и обычно тупиковых каналов. Таким способом в этом районе за многие столетия освоено под культуру риса около 700 тыс. *га* бывшего дна озера. Подобные же рисовые поля, устроенные на бывшем дне озера, имеются в южно-индийском штате Керала.

Приливное орошение (табл. 50, 16). Высота приливной волны на Тихоокеанском побережье стран Юго-Восточной Азии достигает +2 *м*. Посевы риса по берегу моря спускаются до отметки +0,5. Во избежание их затопления устраивают дамбы, обваловывающие отдельные полдеры. В Корее их называют приливоприемными дамбами. Примером подобного сооружения может служить шлюз в дельте р. Бейцзяна в районе г. Кантона. Во время прилива пролеты шлюза перекрывают, и вода из реки, не имея выхода в море, затопляет рисовые поля. В период отливов шлюз открывают, и излишняя вода сбрасывается с полей. Подобные сооружения есть на побережье Китайской Народной Республики, во Вьетнаме, на острове Ява.

Орошение грунтовыми водами

Орошение грунтовыми водами (табл. 50, 17) обычно требует меньших единовременных капитальных вложений, но бо́льших эксплуатационных затрат. Если есть

водоносный горизонт, то можно оросить каждый отдельный участок независимо от соседних площадей. В районах древнего орошения, где для подъема воды из колодцев служат примитивные приспособления, подземными водами поливают лишь сады и огороды. В технически развитых странах большие площади рисовых посевов орошают подземными водами из буровых скважин.

Примером может служить значительная часть рисовых посевов в Больших Прериях Техаса (США). Устройство скважины на своем участке или совместно с двумя-тремя соседями дает возможность фермеру осуществить орошение независимо от ирригационной кампании и самостоятельно распоряжаться водными ресурсами. Однако свойственная капиталистическому обществу бесплановость и анархия в использовании природных ресурсов привели в США к сильному снижению уровня используемых для орошения горизонтов грунтовых вод. Уровень падает до 15—30 *см* в год. В отдельных районах общее снижение уровня составило 100 *м*. Исходя из годовой нормы падения горизонта грунтовых вод, Г. Л. Смит [118] полагает, что к 1980 г. большая часть района Больших Прерий будет испытывать недостаток в воде. В связи с этим он предлагает перейти к «подземной ирригации» (underground Irrigation), понимая под ней подачу воды по стальным трубам, уложенным под землей. В этом случае исключаются потери на фильтрацию и испарение из каналов, а площадь, занимаемая надземной сетью, может быть использована под посевы риса. По его мнению, в ближайшие 10 лет 75% ферм в рисовом районе Больших Прерий перейдут к такой системе орошения.

Причины, вызвавшие описанное положение, настолько очевидны, что официальное издание Министерства Земледелия США заявляет о необходимости при использовании грунтовых вод прекратить практику, при которой «каждый сам за себя». Этот случай может служить примером того, как развитие средств производства перерастает возможность рационально управлять ими на началах частнопредпринимательской инициативы.

Крупный район орошения подземными водами из буровых колодцев в недавнее время создан в штате Уттар-Прадешь в Индии. Здесь работает около 2000 скважин с общим расходом воды 85 $м^3/сек$. Скважины

работают уже более 15 лет, но падения уровня грунтовых вод не отмечается. Вся эта система находится в руках государства, что по справедливому заявлению А. П. Бахаттачария [85] является главным преимуществом системы Уттар — Прадешь по сравнению с Североамериканскими районами орошения грунтовыми водами.

На Кубе в провинции Пинар Дель Рио за счет примерно 300 артезианских колодцев орошают 24 тыс. *га* рисовых плантаций [56].

Значительное развитие орошения рисовых полей из скважин получило в Японии. Но там, в связи с бесплановым использованием воды в районах интенсивного орошения грунтовыми водами начались просадки и оползни на больших площадях.

Использование грунтовых вод для орошения — один из технически сложных видов ирригации. Его применение возможно лишь при достаточной изученности запасов грунтовых вод и путей их пополнения. Рациональная эксплуатация подобных систем возможна лишь в условиях планового хозяйства.

Типы рисовых оросительных систем в СССР

Почти все площади посевов риса в СССР орошают из самотечных систем с каналами, командующими над орошаемой территорией (тип 10 по табл. 50). На дальневосточных рисовых системах и на небольших участках в Волго-Ахтубинской пойме, в Ростовской области и на Украине воду на рисовые поля подают с помощью насосных станций (тип 14 по табл. 50). В Азербайджанской ССР значительные площади риса орошали из истилей — небольших водохранилищ, расположенных на лесистых горных склонах (тип 12 по табл. 50). Сейчас, в связи с развитием культуры чая, рис там почти не сеют.

В СССР большие площади пригодных под рис неосвоенных земель имеются в речных долинах и дельтах, а также в равнинах приозерного и плавневого характера. Освоение под рис горных склонов и устройство полдеров в наших условиях экономически нецелесообразно. Основным типом орошения риса должна служить самотечная оросительная система, горизонты воды в которой командуют над орошаемой территорией. Головной водозабор должен обеспечивать необходимую водоподачу в течение всего оросительного периода. По мере освоения источников орошения неизбежен переход от бесплотинного водозабора к плотинному, а затем к системе водохранилищ.

В таких районах, как Приханкайская низменность или Волго-Ахтубинская пойма, целесообразен машинный водоподъем. В последнем случае следует применять смешанную, машинно-самотечную схему водозабора.

Развитие рисосеяния возможно в ряде районов СССР. Ниже приводятся ориентировочные площади в гектарах водообеспеченных земель, пригодных для строительства рисовых оросительных систем: низовья Аму-Дарьи (1000 тыс.), среднее течение и низовья Сыр-Дарьи (500 тыс), низовья р. Или (300 тыс.), низовья рек Терека и Сулака (300 тыс.), низовья р. Кубани (250 тыс.), Дальневосточный край (250 тыс.), низовья рек Днепра, Буга, Днестра и Дуная (120 тыс.), низовья р. Дона (100 тыс.), Волго-Ахтуба (100 тыс.).

В последние десятилетия на Кубани создан пока единственный в СССР крупный рисовый район с вновь построенными и успешно освоенными рисовыми системами. Начато строительство аналогичных систем в Ростовской области и на юге Украины. Наиболее перспективны районы для развития рисосеяния: низовья Аму-Дарьи и Сыр-Дарьи, где имеются обширные водообеспеченные площади, пригодные для рисосеяния, которые не могут быть использованы под посевы хлопка.

Глава IX

Чек

Рисовые поля для получения возможности создания слоя затопления разбивают на отдельные участки — чеки, ограждаемые со всех сторон водоудерживающими земляными валиками. Площадь чеков выравнивают, планируют.

В районах древнего рисосеяния чеки в большинстве случаев имеют малые размеры — от 0,05 до 0,5 *га*, а

иногда и меньше. Валики извилистые, с крутыми откосами. Разница отметок двух соседних чеков нередко превышает 1 *м*. Чеки имеют разнообразную и подчас весьма причудливую форму. Для пахоты используют животных, а все остальные работы выполняют вручную. Поверхность чеков очень старательно выравнивают. На участке, предназначаемом под рис. земледелец в свободное от других полевых работ время срезает бугры и засыпает понижения. Лишь в результате нескольких лет таких работ получается спланированный чек, на котором можно начинать посев.

Спланированный рисовый чек является тем первичным элементом, из которых складывается рисовая карта, а затем и вся система. Чековые валики создают существенные препятствия для работы сельскохозяйственных машин и орудий. Поэтому желательно иметь наименьшее количество валиков, т. е. придавать чекам возможно большие размеры. Однако увеличение площади чеков неизбежно влечет за собой увеличение объема планировочных работ и соответствующее удорожание строительства рисовой системы. Одновременно возрастает глубина срезки грунта на повышенных местах, и урожаи на них снижаются. В проекте вертикальной планировки рисовых полей должны быть найдены пути рационального согласования этих противоречий.

Агротехнические соображения

Планировка орошаемых площадей — это инженерное мероприятие, проводимое в агротехнических целях. Поэтому как положительное, так и отрицательное влияние планировки на плодородие почвы и урожай риса должны со всей тщательностью учитываться в процессе проектирования.

Глубина затопления сказывается на величине урожая (табл. 51).

Культура риса лучше переносит более глубокое затопление, чем незалитые бугры, которые быстро зарастают сорняками и совсем не дают урожая. Но и глубокое затопление ведет к снижению урожая, а при глубине более 40 *см* — к его полной гибели [8]. Необходимость планировки рисовых полей бесспорна. На величину урожая риса оказывают также влияние глубина срезок и высота подсыпок грунта (рис. 42). В разных условиях низовий рек Кубани, Дона и долины Чирчика результаты получены совершенно аналогичные. Уже при срезке более 20 *см* урожай снижается от 40 до 70%. В то же время на насыпях, не превышающих 30 *см*, он получается более высоким, чем при естественном залегании горизонтов. Здесь образуется более мощный слой почвы, богатой питательными веществами. При большей толщине подсыпок, которым обычно соответствуют и более глубокие срезки, на поверхности оказываются взятые снизу горизонты. Однако урожай снижается на больших подсыпках не столь значительно, как на срезах,— не более 20% при толщине подсыпки 40 *см*.

Таблица 51

Коэффициент урожайности в зависимости от глубины затопления и высоты незатопленных участков над уровнем воды в чеке (по данным М. В. Бородина)

Глубина затопления, *см*	Коэффициент урожайности	Высота незатопленных участков, *см*	Коэффициент урожайности
0— 5	0,66	0— 0	0,38
6—10	0,97	0— 5	0,22
11—15	1,00	6—10	0,08
16—20	0,91	11—15	0,03
21—25	0,90	>15	0,00
26—30	0,75	—	—
31—35	0,53	—	—
36—40	0,26	—	—
>40	0,00	—	—

Таблица 52

Влияние срезки и подсыпки на урожай риса УзРОС (по И. И. Чурикову)

Горизонты, *см*	Величина урожая, %	
	1935 г.	1945 г.
—20	70,6	74,6
—10	109,0	99,0
0	100,0	100,0
+10	114,2	104,5

В результате планировки на каждом из чеков создается пестрота плодородия, которая естественным путем устраняется очень медленно (табл. 52).

Десять лет, прошедшие после первого посева риса на спланированном поле, мало изменили пестроту плодородия.

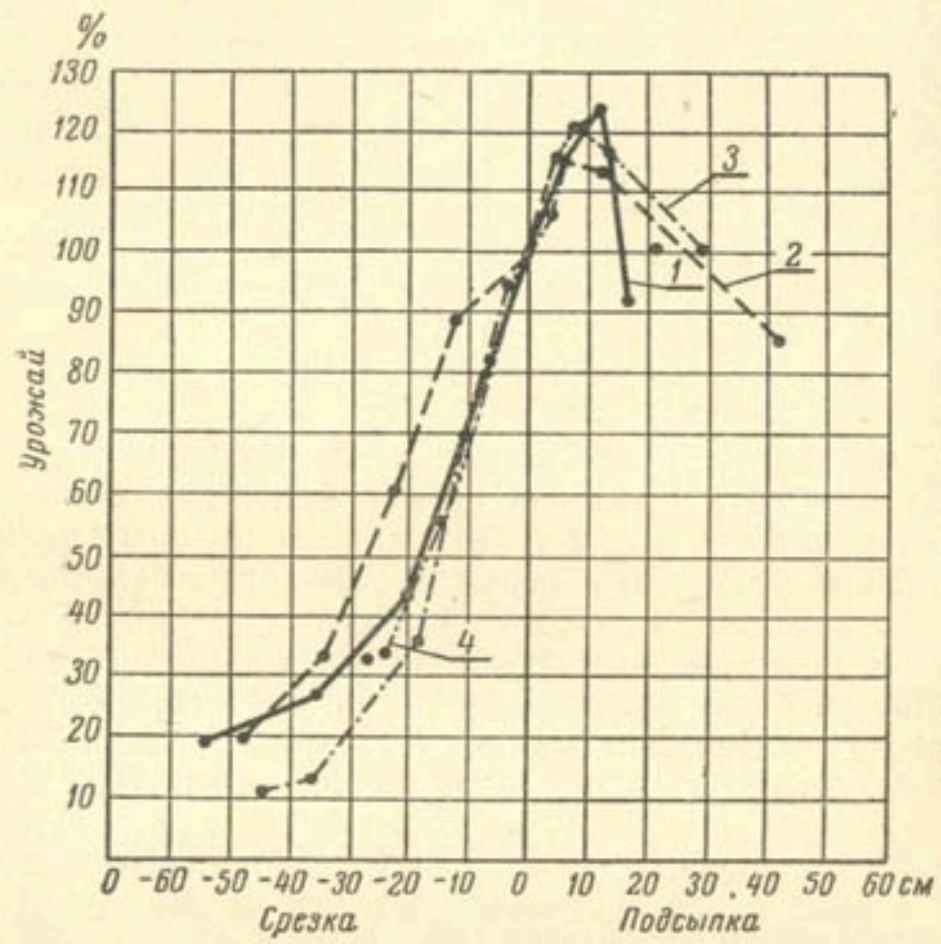


Рис. 42. Зависимость урожая риса от глубины срезок и высоты подсыпок (по М. В. Бородину, Г. А. Данову, И. И. Чурикову и З. Ф. Туляковой):

1—Тиховский рисосовхоз Краснодарского края; *2*—Черкесский рисосовхоз Краснодарского края; *3*—колхоз имени Буденного Узбекской ССР; *4*—Цимлянский рисосовхоз Ростовской области.

Сплошное внесение удобрений дает значительное общее повышение урожая и лишь небольшое выравнивание плодородия. Наилучший эффект получается при дробном внесении перегноя и минеральных удобрений только на местах срезки пахотного горизонта. Целесообразно также применение сидератов в комбинации с последующим внесением минеральных удобрений. Эти

работы должны быть предусмотрены в числе мероприятий по мелиоративному освоению вновь построенных рисовых оросительных систем и внесены в соответствующие разделы генеральной сметы как единовременные затраты, связанные с капитальной вертикальной планировкой рисовых полей.

Капитальная планировка рисового поля, как бы хорошо она ни была сделана, не решает раз и навсегда задачи о надлежащем состоянии его поверхности. При пахоте ежегодно образуются свальные гребни и разъемные борозды. Поэтому, кроме единовременной, капитальной планировки, в комплекс ежегодных предпосевных сельскохозяйственных работ должно входить эксплуатационное выравнивание. В противном случае деформации поверхности чеков из года в год будут накапливаться. Возникнет необходимость проведения ремонтной планировки. Для ее выполнения поле, хотя бы на часть сезона, придется вывести из сельскохозяйственного оборота. За поверхностью каждого спланированного рисового чека необходим систематический технический надзор и уход, как и за всяким сооружением.

Подсчет объемов земляных работ при проектировании планировки рисовых полей

Проектирование планировочных работ ведется двумя стадиями. В стадии проектного задания внутрикартовую сеть проектируют только на типовых участках. Их выбирают на площадках, характерных по рельефу для данного массива или отдельных его частей. Полученные по типовым участкам объемы распространяют на соответствующие площади. На их основании определяют сметную стоимость планировочных работ по всей системе.

В стадии рабочих чертежей проектируют каждый чек. Сначала намечают трассы валиков, а затем подсчитывают объемы работ. При этом обязательно должен соблюдаться баланс земляных работ, в который, помимо собственно планировки, войдет отсыпка валиков, валов оросителей и полотна дорог, а также использование грунта, вынутого из сбросов.

При проектировании планировки рисовых полей наиболее распространенный масштаб съемки 1 : 2000.

Объем планировочных работ можно определять по горизонталям, по точкам в углах квадратов и по точкам в центрах тяжести квадратов. При подсчете по горизонталям с помощью планиметрирования последовательно определяют площади: $aAb = \omega_1$; $cABd = \omega_2$; $eABf = \omega_3$ и т. д. до $ABCD = \omega$ *м*². Количество грунта в объеме, ограниченном поверхностью земли, боковыми вертикальными и нижней горизонтальной плоскостью отсчетов, равно:

$$W_п = h\,[0{,}75(\omega_1 + \omega) + \omega_2 + \omega_3 + \ldots + \omega_n + a\omega]\ м^3, \qquad (53)$$

где $W_п$ — полный объем планировки, *м*³,

h — разность отметок, через которые проведены горизонтали; на рисунке 43, h — через 0,1 *м*;

a — число горизонталей от плоскости отсчета до следующей за наинизшей из них; имеющейся в пределах чека;

ω_n — площадь, ограниченная последней горизонталью, *м*²;

ω — вся площадь чека, *м*².

При работе с планиметром все промежуточные подсчеты по формуле (53) можно вести непосредственно в отсчетах по планиметру. В натуральные величины следует переводить лишь тогда, когда полностью будет вычислена вся сумма, заключенная в квадратные скобки. При определении площадей с достаточной для практических целей точностью вместо планиметра можно пользоваться палеткой с квадратами 5×5 *мм*.

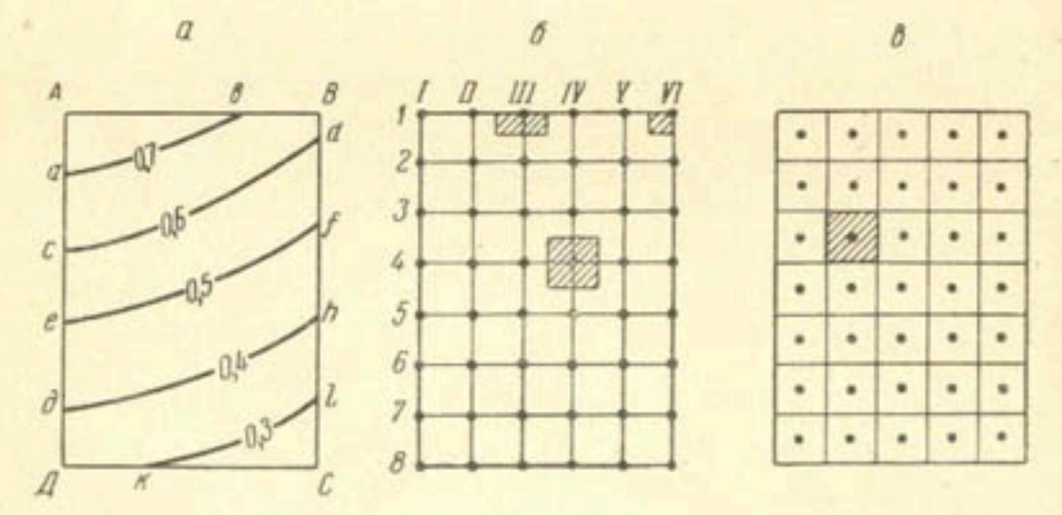


Рис. 43. Схемы способов подсчета объемов земляных работ:
а — подсчет по горизонталям, *б* — по точкам в углах элементарных площадок, *в* — по точкам в центрах тяжести площадок.

Поверхность земли можно представить состоящей из большого числа малых по величине «элементарных площадок». Применяя способ приближенного интегрирования, известный как третья формула прямоугольников, криволинейную поверхность чека заменяем ступенчатой поверхностью из элементарных площадок. Если точки, для которых известны отметки, расположены в углах квадратов (рис. 43, *б*), то:

$$W_п = \Delta\,(0{,}25\,\Sigma H_у + 0{,}5\,\Sigma H_б + \Sigma H)\ м^3, \qquad (54)$$

где Δ — площадь элементарного квадрата или прямоугольника;

$H_у$ — отметки угловых точек, *м*. На схеме (рис. 44, *б*) это точки I—1, I—8, VI—1, VI—8.

$H_б$ — отметки боковых точек. Это точки по рядам I, VI, 1 и 8, за исключением перечисленных выше угловых точек, *м*;

H — отметки всех прочих точек, *м*.

Уравнение (54) может быть интерпретировано так, что угловым точкам соответствует вес $^1/_4$ элементарной площадки, боковым — $^1/_2$ и всем остальным — всей элементарной площадки. На схеме по одной такой площадке заштриховано.

При подсчете по отметкам точек, расположенных в центрах тяжести элементарных площадок (в пересечении диагоналей) (рис. 43, *в*), все точки обладают одним и тем же весом и формула имеет наиболее простой вид:

$$W_п = \Delta\,\Sigma H\ м^3. \qquad (55)$$

При работе с планом в горизонталях для подсчета объемов работ по этому способу отметки в центрах квадратов прочитывают путем интерполяции горизонталей. Для этой цели можно пользоваться вспомогательной палеткой.

По точности конечных результатов, при не слишком большой площади квадратов, все три способа равноценны. Способ по точкам в центрах квадратов наиболее простой и наименее трудоемкий.

При разбивке на клетки по двум сторонам чека могут получиться нестандартные площадки. В них берут

отметки в центрах тяжести. Эти отметки умножают на поправочные коэффициенты $\varkappa$;

$$\chi = \frac{\Delta_н}{\Delta}, \qquad (56)$$

где $\Delta_н$ — площадь нестандартной площадки. В связи с этим формула (55) в окончательном виде будет:

$$W_п = \Delta \Sigma \chi h \; м^3, \qquad (55')$$

имея в виду, что для стандартных элементарных площадок $\varkappa = 1$.

При вычислении $H_{ср}$ из отметок точек полезно отбрасывать целое число метров, соответствующее отметке, лежащей ниже самой низкой точки чека. Отметки целесообразно выписывать не в метрах, а сразу в сантиметрах.

Среднюю отметку чека получаем делением полного объема $W_п$ на площадь чека:

$$H_{ср} = \frac{W_п}{\omega} \; м. \qquad (57)$$

Если в чеке нет элементарных площадок неправильной формы, то тот же результат даст деление суммы отметок точек на их число:

$$H_{ср} = \frac{\Sigma H}{n} \; м, \qquad (57')$$

где n — число точек.

Если из отметки земли, превышающей среднюю отметку, вычесть $H_{ср}$, то получим рабочую отметку срезки в данной точке

$$H_с = H - H_{ср} \; м. \qquad (58)$$

Вычитая из средней отметки меньшие ее отметки, получим рабочие отметки подсыпки в соответствующих точках

$$H_н = H_{ср} - H \; м. \qquad (59)$$

Соответственно объем срезки:

$$W_с = \Delta h_с \; м^3 \qquad (60)$$

и подсыпки:

$$W_н = \Delta h_н \; м^3. \qquad (61)$$

В пределах точности вычислений должно соблюдаться равенство:

$$W_с = W_н, \qquad (62)$$

которое служит проверкой правильности выполненных подсчетов.

О рельефе и микрорельефе

Установим некоторые понятия, необходимые в процессе дальнейшего изложения.

Основной рельеф. На плоской схеме, изображенной на рисунке 44, линия $BabcdefqC$ — поверхность

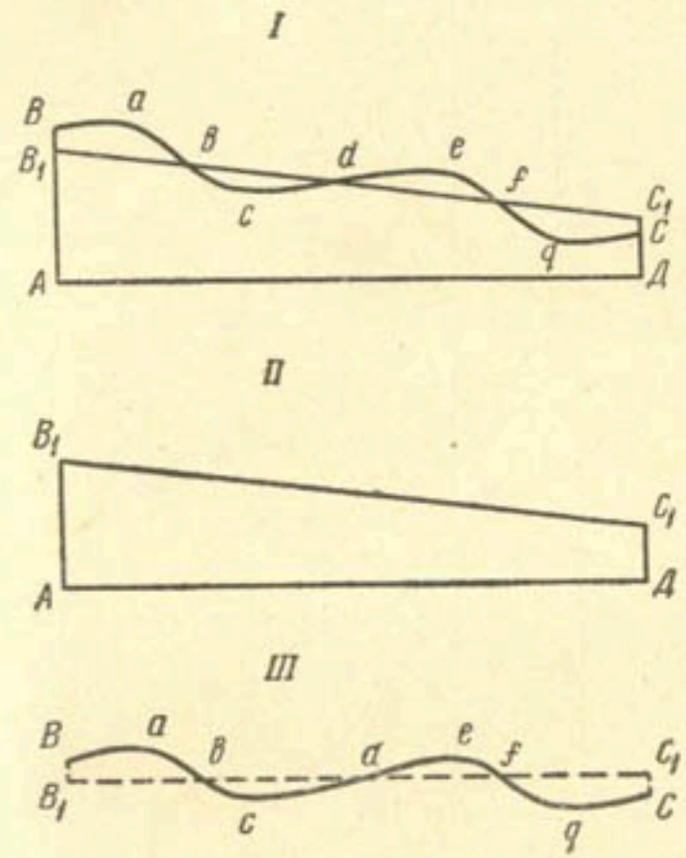


Рис. 44. Схема рельефа и микрорельефа:
I — реальный рельеф; *II* — основной рельеф; *III* — микрорельеф.

почвы. AD — горизонтальная плоскость отсчетов. Возьмем наклонную плоскость, изображенную линией B_1C_1 и проведем ее так, чтобы объем

$$AB_1C_1D = ABabcdefCD.$$

Поверхность B_1C_1 характеризует основной рельеф данного участка. При этом соблюдается равенство:

$$W_{по} = W_п, \qquad (63)$$

где $W_п$ — полный объем для фактического рельефа;
$W_{по}$ — полный объем для основного рельефа.

Микрорельеф. Разность между действительной поверхностью грунта и поверхностью, соответствующей основному рельефу, характеризует собой микрорельеф данного участка. Из условия (63) следует, что объем элементов микрорельефа, лежащих выше поверхности

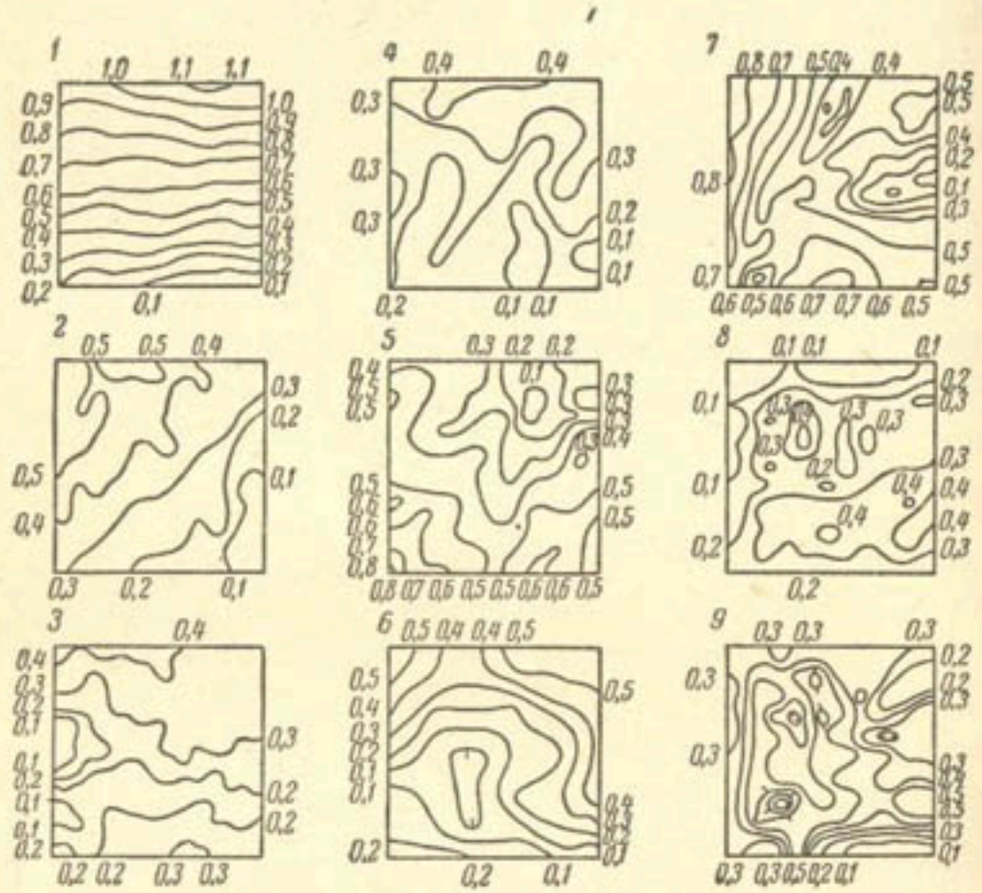


Рис. 45. Типовые участки.

основного рельефа, должен равняться объему элементов, расположенных ниже этой поверхности. Или, переходя к терминам планировки, объем срезки до основного рельефа должен равняться объему подсыпки до него:

$$B_1 Bab + def = bcd + fqCC_1.$$

Рассматривая основной рельеф как плоскость отсчетов, получим микрорельеф в чистом виде, как это изображено на рисунке 45, *3*.

Для выполнения дальнейших иллюстративных подсчетов воспользуемся планами в горизонталях девяти типовых участков, приведенных Н. П. Самсоновой [62]. На примере участка *2* рассмотрим ход вычислений, выполненных для всех девяти участков. По горизонталям

читаем отметки в центрах квадратов со сторонами 10×10 *м* и выписываем их в сантиметровой размерности (рис. 46, *а*). Полный объем грунта для этого участка $W_п = 7369$ *м*^{3}, $H_{ср} = 73{,}7$ *см*. Для выявления основного рельефа линиями *MN* и *OP* делим нашу площадку на четыре равные части. Для каждой из них, аналогично предыдущему, находим средние отметки. На рисунке 46, *б* в центре всей площадки и каждой из четырех частей выписываем в знаменателе полный объем, а в числителе — среднюю отметку. Пользуясь последними, вычисляем уклоны, а по ним — отметки, сначала по линиям I—I, II—II, III—III, IV—IV, а затем по всей сетке. В результате получаем основную поверхность (рис. 46, *г*), обладающую тем свойством, что полный объем, подсчитанный по отметкам этой поверхности, равен полному объему, определенному для реальной поверхности земли. Для выделения микрорельефа вычисляем в каждой точке разность отметок реальной поверхности площадок и основного рельефа. В результате получаем положительные и отрицательные отметки микрорельефа (рис. 46, *д*), по которым находим объем микрорельефа. Для площадки *2* $W_{микр} = \pm 104$ *м*^{3}.

Основной рельеф планировочных работ может быть полностью характеризован средним уклоном по направлению, нормальному к горизонталям. Обозначим этот уклон i_0. Положение площадки на такой линейчатой поверхности характеризуется углом α между направлением горизонталей и одной из сторон площадки. Для определения i_0 сначала вычислим средние частные уклоны:

$$i_1 = \frac{(H_1 + H_2) - (H_3 + H_4)}{l_1}; \qquad (64)$$

$$i_2 = \frac{(H_1 + H_3) - (H_2 + H_4)}{l_2}, \qquad (65)$$

где i_1 и i_2 — средние уклоны по направлению двух взаимно перпендикулярных сторон площадки;

H_1, H_2, H_3, H_4 — отметки в центрах тяжести четырех частей, на которые была разделена площадка;

l_1 и l_2 — длина сторон площадки по двум взаимно перпендикулярным направлениям соответственно.

а

	A 1	2	3	4	5	0 6	7	8	9	10 B
1	55	50	50	50	50	45	40	40	37	35
2	52	50	49	46	44	40	38	36	34	32
3	51	50	50	45	42	39	37	34	31	25
4	55	50	47	45	43	40	37	33	30	28
5	52	49	44	40	40	41	34	27	20	15
M										N
6	49	46	42	39	36	32	28	24	20	10
7	40	40	39	36	33	30	26	23	20	8
8	39	36	32	29	28	26	24	22	20	10
9	37	34	30	28	25	23	20	20	14	6
10	32	28	26	24	22	20	17	13	10	5
C										D

P

б

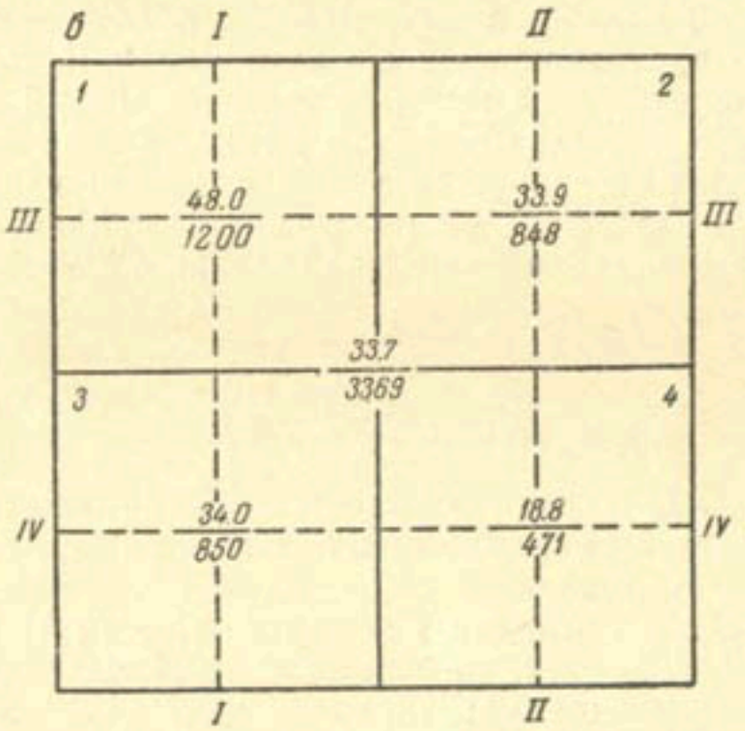


Рис. 46. Расчетные схемы для участка 2:
а—исходные отметки земли; *б*—средние отметки;

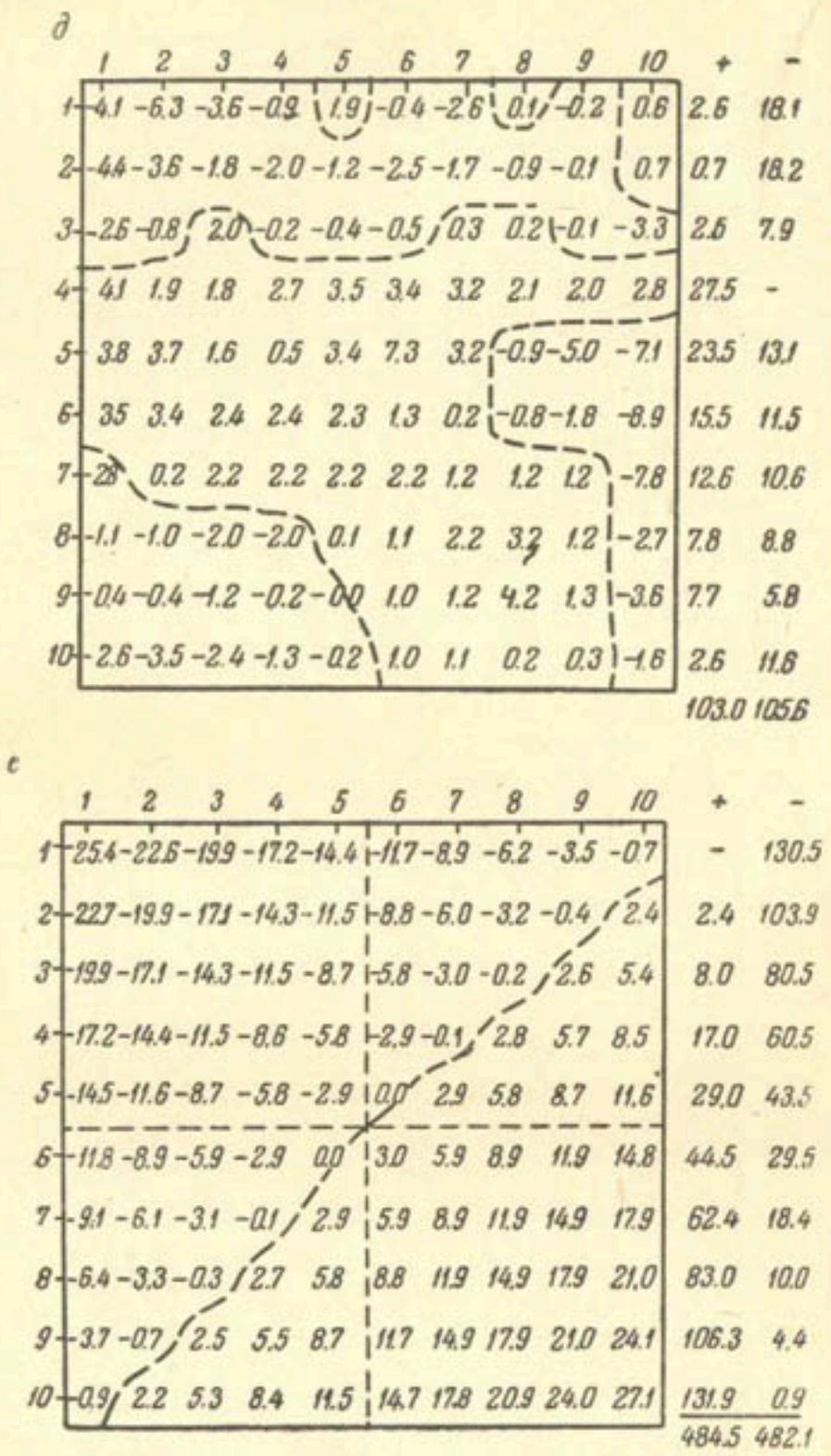
в

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	+	−
1	-21.3	-16.3	-16.3	-16.3	-16.3	-11.3	-6.3	-6.3	-3.3	-1.3	−	115.0
2	-18.3	-16.3	-15.3	-12.3	-10.3	-6.3	-4.3	-2.3	-0.3	1.7	1.7	85.7
3	-17.3	-16.3	-16.3	-11.3	-8.3	-5.3	-3.3	-0.3	2.7	8.7	11.4	78.4
4	-21.3	-16.3	-13.3	-11.3	-9.3	-6.3	-3.3	0.7	3.7	5.7	10.1	81.1
5	-18.3	-15.3	-10.3	-6.3	-6.3	-2.3	-0.3	6.7	13.7	18.7	39.1	64.1
6	-15.3	-12.3	-8.3	-5.3	-2.3	1.7	5.7	9.7	13.7	23.7	54.5	43.5
7	-6.3	-6.3	-5.3	-2.3	0.7	3.7	7.7	10.7	13.7	25.7	62.2	20.2
8	-5.3	-2.3	1.7	4.7	5.7	7.7	9.7	11.7	13.7	23.7	78.6	7.6
9	-3.3	-0.3	3.7	5.7	8.7	10.7	13.7	13.7	19.7	27.7	103.6	3.6
10	1.7	5.7	7.7	9.7	11.7	13.7	16.7	20.7	23.7	28.7	140.0	−
											501.2	499.2

г

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1	59·1	56·3	53·6	50·9	48·1	45·4	42·6	39·9	37·2	34·4	2.74
2	56·4	53·6	50·8	48·0	45·2	42·5	39·7	36·9	34·1	31·3	2.78
3	53·6	50·8	48·0	45·2	42·4	39·5	36·7	33·9	31·2	28·3	2.82
4	50·9	48·1	45·2	42·3	39·5	36·6	33·8	30·9	28·0	25·2	2.86
5	48·2	45·3	42·4	39·5	36·6	33·7	30·8	27·9	25·0	22·1	2.90
6	45·5	42·6	39·6	36·6	33·7	30·7	27·8	24·8	21·8	18·9	2.96
7	42·8	39·8	36·8	33·8	30·8	27·8	24·8	21·8	18·8	15·8	3.00
8	40·1	37·0	34·0	31·0	27·9	24·9	21·8	18·8	15·8	12·7	3.04
9	37·4	34·4	31·2	28·2	25·0	22·0	18·8	15·8	12·7	9·6	3.08
10	34·6	31·5	28·4	25·3	22·2	19·0	15·9	12·8	9·7	6·6	3.12
	2.70	2.56	2.8	2.84	2.90	2.92	2.98	3.02	3.08	3.12	

Рис. 46. (Продолжение).
в—рабочие отметки планировки под плоскость; *г*—отметки и горизонтали основного рельефа;



д

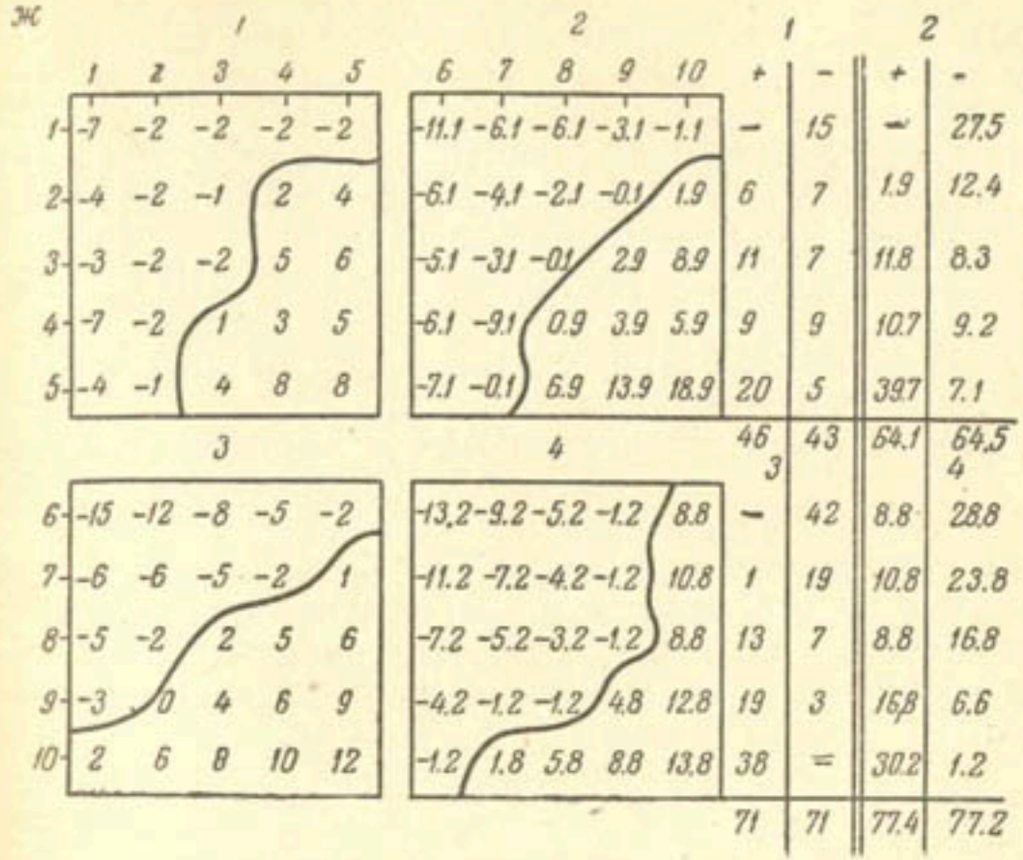
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	+	−
1	-4.1	-6.3	-3.6	-0.9	1.9	-0.4	-2.6	0.1	-0.2	0.6	2.6	18.1
2	-4.4	-3.6	-1.8	-2.0	-1.2	-2.5	-1.7	-0.9	-0.1	0.7	0.7	18.2
3	-2.6	-0.8	2.0	-0.2	-0.4	-0.5	0.3	0.2	-0.1	-3.3	2.6	7.9
4	4.1	1.9	1.8	2.7	3.5	3.4	3.2	2.1	2.0	2.8	27.5	-
5	3.8	3.7	1.6	0.5	3.4	7.3	3.2	-0.9	-5.0	-7.1	23.5	13.1
6	3.5	3.4	2.4	2.4	2.3	1.3	0.2	-0.8	-1.8	-8.9	15.5	11.5
7	2.8	0.2	2.2	2.2	2.2	2.2	1.2	1.2	1.2	-7.8	12.6	10.6
8	-1.1	-1.0	-2.0	-2.0	0.1	1.1	2.2	3.2	1.2	-2.7	7.8	8.8
9	-0.4	-0.4	-1.2	-0.2	-0.0	1.0	1.2	4.2	1.3	-3.6	7.7	5.8
10	-2.6	-3.5	-2.4	-1.3	-0.2	1.0	1.1	0.2	0.3	-1.6	2.6	11.6
											103.0	105.6

е

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	+	−
1	25.4	-22.6	-19.9	-17.2	-14.4	-11.7	-8.9	-6.2	-3.5	-0.7	-	130.5
2	22.7	-19.9	-17.1	-14.3	-11.5	-8.8	-6.0	-3.2	-0.4	2.4	2.4	103.9
3	19.9	-17.1	-14.3	-11.5	-8.7	-5.8	-3.0	-0.2	2.6	5.4	8.0	80.5
4	17.2	-14.4	-11.5	-8.6	-5.8	-2.9	-0.1	2.8	5.7	8.5	17.0	60.5
5	14.5	-11.6	-8.7	-5.8	-2.9	0.0	2.9	5.8	8.7	11.6	29.0	43.5
6	11.8	-8.9	-5.9	-2.9	0.0	3.0	5.9	8.9	11.9	14.8	44.5	29.5
7	9.1	-6.1	-3.1	-0.1	2.9	5.9	8.9	11.9	14.9	17.9	62.4	18.4
8	6.4	-3.3	-0.3	2.7	5.8	8.8	11.9	14.9	17.9	21.0	83.0	10.0
9	3.7	-0.7	2.5	5.5	8.7	11.7	14.9	17.9	21.0	24.1	106.3	4.4
10	0.9	2.2	5.3	8.4	11.5	14.7	17.8	20.9	24.0	27.1	131.9	0.9
											484.5	482.1

Рис. 46. (Продолжение).

д—микрорельеф; *е*—рабочие отметки планировки основного рельефа под плоскость;



ж

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	+	−	+	−
	1					2					1		2	
1	-7	-2	-2	-2	-2	-11.1	-6.1	-6.1	-3.1	-1.1	-	15	-	27.5
2	-4	-2	-1	2	4	-6.1	-4.1	-2.1	-0.1	1.9	6	7	1.9	12.4
3	-3	-2	-2	5	6	-5.1	-3.1	-0.1	2.9	8.9	11	7	11.8	8.3
4	-7	-2	1	3	5	-6.1	-9.1	0.9	3.9	5.9	9	9	10.7	9.2
5	-4	-1	4	8	8	-7.1	-0.1	6.9	13.9	18.9	20	5	39.7	7.1
			3					4			46	43	64.1	64.5
											3			4
6	-15	-12	-8	-5	-2	-13.2	-9.2	-5.2	-1.2	8.8	-	42	8.8	28.8
7	-6	-6	-5	-2	1	-11.2	-7.2	-4.2	-1.2	10.8	1	19	10.8	23.8
8	-5	-2	2	5	6	-7.2	-5.2	-3.2	-1.2	8.8	13	7	8.8	16.8
9	-3	0	4	6	9	-4.2	-1.2	-1.2	4.8	12.8	19	3	15.8	6.6
10	2	6	8	10	12	-1.2	1.8	5.8	8.8	13.8	38	-	30.2	1.2
											71	71	77.4	77.2

Рис. 46. (Продолжение).

ж—рабочие отметки по четырем частям.

Основной уклон:

$$I_0 = \frac{i_1}{\sin\alpha} = \frac{i_2}{\cos\alpha}. \qquad (66)$$

Угол поворота α определится из условия, что

$$\operatorname{tg}\alpha = \frac{i_1}{i_2}. \qquad (67)$$

В разбираемом примере $i_1 = 0{,}00291$; $i_2 = 0{,}00293$; $\alpha = 44°43'$ и $I_0 = 0{,}00412$.

Когда микрорельеф, даже если он имеет значительную амплитуду, равномерно распределен по всей поверхности площадки, это не скажется на объеме планировки под горизонтальную плоскость, так как повышения и понижения по отношению к средней наклонной плоскости будут взаимно компенсироваться. Но если элементы микрорельефа распределены по планируемой поверхности неравномерно, то возникают дополнительные работы по их перемещению. Количественную характеристику

рельефа с этой точки зрения будем называть коэффициентом анизотропности (неравномерности). Для получения коэффициента анизотропности вычисляем в отдельности для каждой из четырех частей площадки объем планировочных работ под горизонтальную плоскость. Для перехода с четверти площадки на всю ее площадь этот объем надо увеличить в 8 раз:

$$W_1 = 8V_1, \tag{68}$$

где V_1 — объем планировочных работ на первой из четырех частей площадки;

W_1 — объем работ, который при характере рельефа, подобном первой части, соответствует всей территории площадки.

Аналогичные величины W_2, W_3 и W_4 вычисляем для остальных частей площадки. Отношение наибольшей из них к объему планировки, определенному по основному рельефу, принимаем за показатель анизотропности рельефа:

$$A_н = \frac{W_{макс}}{W_0}, \tag{69}$$

где $A_н$ — показатель анизотропности;

$W_{макс}$ — наибольший объем по одной из четырех частей, приведенный ко всей площади чека;

W — объем насыпи-выемки при планировке основного рельефа.

Если нет микрорельефа и поверхность площадки имеет вид наклонной плоскости или если элементы микрорельефа равномерно распределены по поверхности, то $W_{макс} = W_0$, а коэффициент анизотропности $A_н = 1$. Чем больше величина $A_н$, тем выше анизотропность рельефа.

Объем планировочных работ в зависимости от формы, положения и размеров чека

При планировке под культуры, поливаемые по бороздам или по полосам, основной рельеф в большинстве случаев не затрагивается. В таком случае можно ограничиться выравниванием микрорельефа и приданием поливной площадке однородного уклона. При планировке под горизонтальную плоскость для риса изменение основного рельефа неизбежно. Объем планировочных работ в этом случае зависит как от основного рельефа, так и от степени развития и характера микрорельефа.

При выяснении закономерностей, определяющих объем планировочных работ за счет основного рельефа, поверхность земли в пределах чека принимаем за наклонную плоскость. Прямоугольный чек $ABCD$ (рис. 47)

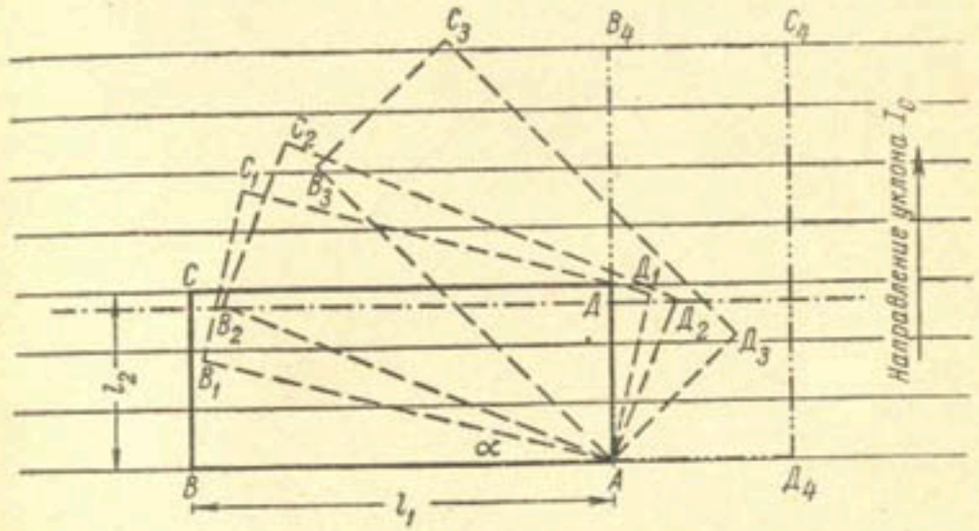


Рис. 47. Схема положения чека относительно горизонталей.

стороной AB, имеющей длину l_1, расположен по направлению горизонталей. Другой, перпендикулярной к ней стороной BC, равной l_2, — по направлению уклона местности. Длина стороны BC может быть выражена через сторону AB.

$$l_2 = \lambda l_1 \text{ м}, \tag{70}$$

где λ — отношение сторон чека, или коэффициент формы чека.

Обозначая площадь чека ω м², получим:

$$\omega = l_1 l_2 = \lambda l_1^2 \text{ м}^2. \tag{71}$$

Представим себе, что наш чек, не меняя размеров, вращается вокруг своей вершины A. При этом сторона AB переходит в положение AB_1 и составляет с направлением горизонталей угол α. При дальнейшем вращении чек займет положение $AB_2C_2D_2$, при котором его противоположные вершины B_2 и D_2 окажутся на одинаковом

расстоянии от первоначального положения стороны AB. Нетрудно убедиться, что в этом случае имеет место равенство:

$$\operatorname{tg}\alpha = \lambda. \qquad (72)$$

При дальнейшем вращении чек пройдет через ряд последовательных положений, характеризуемых на схеме

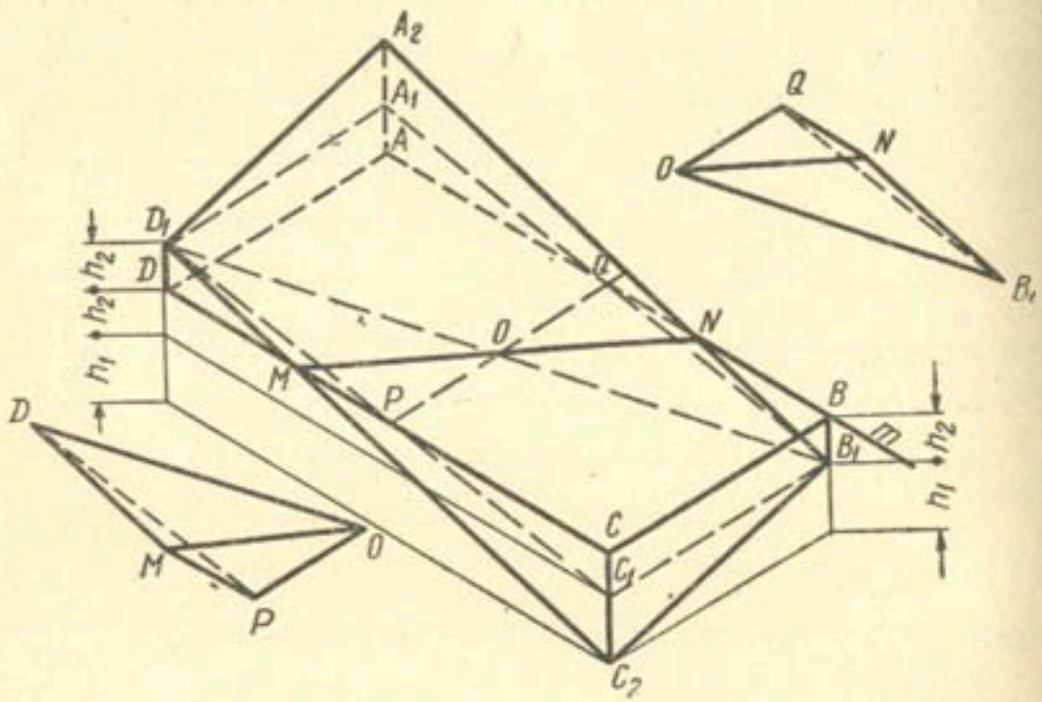


Рис. 48. Схема планировки основного рельефа.

прямоугольником $AB_3D_3C_3$, и, наконец, сторона AB станет перпендикулярно к своему первоначальному направлению, заняв положение AB_4, а сторона AD_4 станет параллельно направлению горизонталей.

Планировка прямоугольного чека при произвольном его положении заключается в перемещении косого клина MDD_1AA_2N в положение обратного ему клина NBB_1CC_2M (рис. 48). Объем планировочных работ в этом случае равен:

$$W_0 = 10^5 I_0 z \sqrt{\omega}\ м^3/га, \qquad (73)$$

где W_0 — объем планировки основного рельефа;
I_0 — основной уклон местности;
ω — площадь чека, *га;*
z — безразмерная функция от угла поворота и коэффициента формы чека.

Из формулы (73) следует, что объем планировочных работ на гектар прямо пропорционален основному уклону местности и корню квадратному из площади чека. Выражение $10^5 I_0 \sqrt{\omega}$ представлено в виде графика 40.

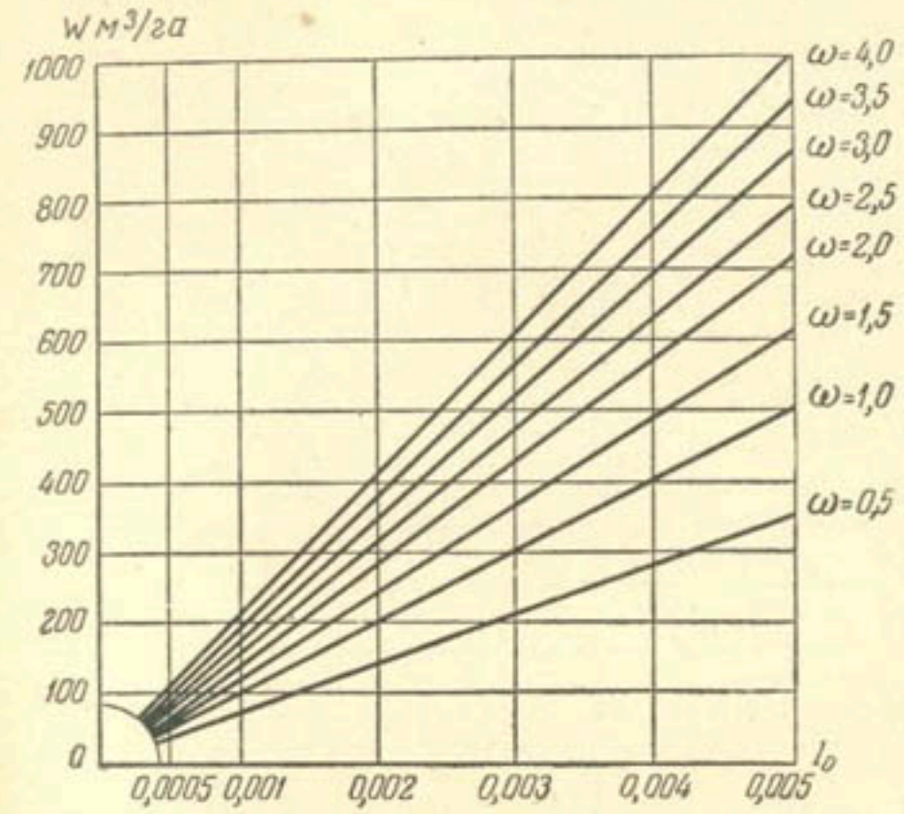


Рис. 49. График функции $10^5 I_0 \sqrt{\omega}$.

Функцию z в зависимости от значения угла α можно выразить двояко:

$$\text{при } \operatorname{tg}\alpha < \lambda;\ z_1 = \left(1{,}25\,\lambda\cos\alpha + 0{,}42\,\frac{\sin^2\alpha}{\lambda\cos\alpha}\right)\sqrt{\frac{1}{\lambda}}; \qquad (74)$$

$$\text{при } \operatorname{tg}\alpha \geqslant \lambda;\ z_2 = \left(1{,}25\sin\alpha + 0{,}42\,\frac{\lambda^2\cos^2\alpha}{\sin\alpha}\right)\sqrt{\frac{1}{\lambda}}. \qquad (75)$$

При этом, когда $\alpha = 0$, $z_1 = 1{,}25\sqrt{\lambda}$;
при $tg\alpha = \lambda$ по обеим формулам получаются тождественные выражения: $z_1 = z_2 = 1{,}67\sin\alpha\sqrt{\frac{1}{\lambda}}$.

Наконец, при $\alpha = 90°$ $z_2 = 1{,}25\sqrt{\frac{1}{\lambda}}$.

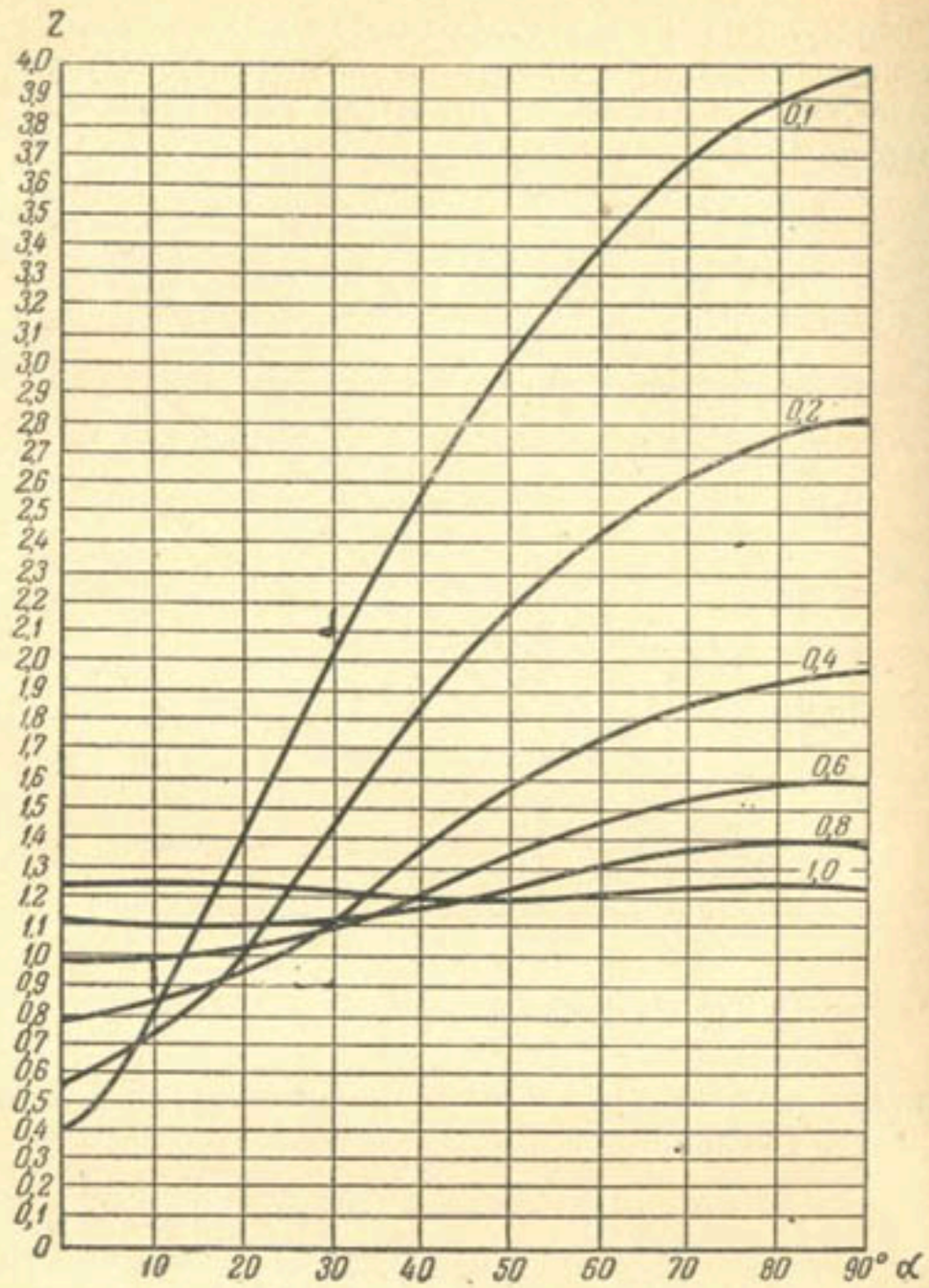


Рис. 50. График функции $z=f(\alpha\lambda)$.

Таким образом, формула (73) совместно с формулами (74) и (75) охватывает все возможные положения чека.

Для функции z построен график, изображенный на рисунке 50. Изменения угла α взяты в пределах от 0 до 90°. От 90 до 180° значения z изменяются симметрично в обратном порядке. Из графика следует, что при одних и тех же величинах уклона местности и площади

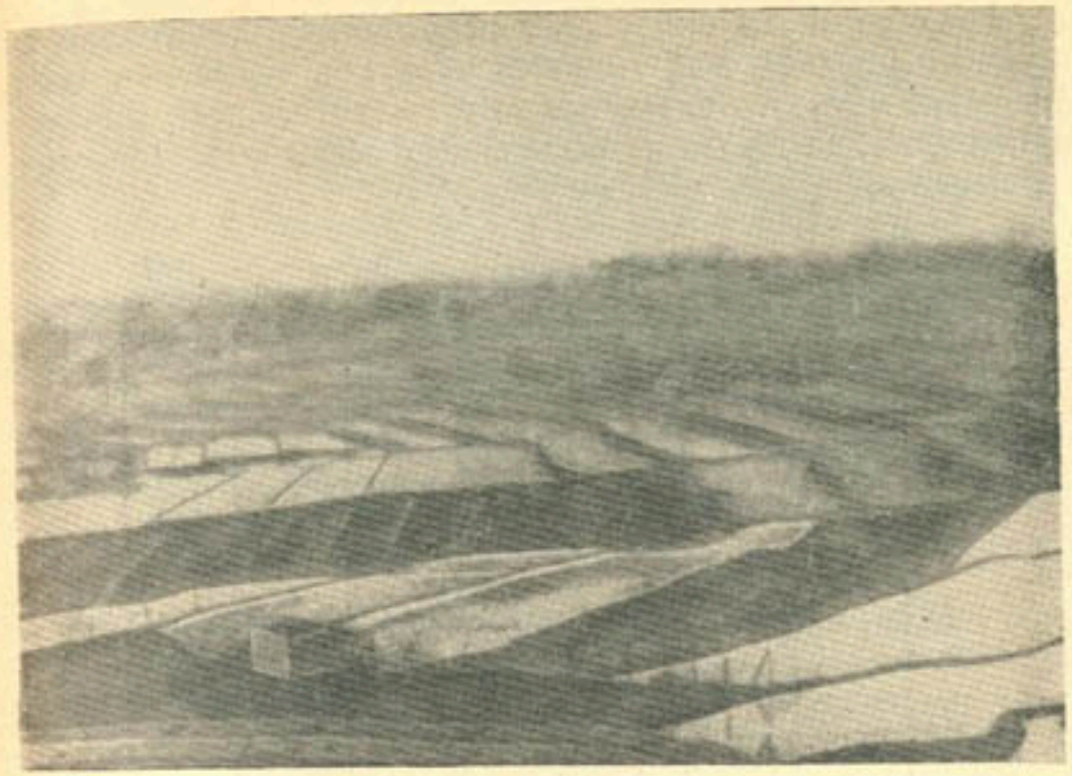


Рис. 51. Рисовые террасы (Индонезия; фото Н. Б. Натальина).

чека объем планировочных работ в зависимости от формы чека и его положения относительно горизонталей может изменяться в 10 раз. При всякой форме чека наименьшие значения, а значит, и наименьшие объемы планировочных работ получаются при расположении длинной стороны чека вдоль горизонталей. При этом наименьшие z получаются для самых узких чеков ($\lambda=0{,}1$). Наоборот, если такой узкий чек расположить перпендикулярно к горизонталям, то получаются колоссальные объемы работ. При квадратном чеке ($\lambda=1$) объем планировочных работ изменится лишь в пределах 5%. Но дальность возки при $\alpha=45°$ возрастет более чем на 40%, так что и для квадратного чека наиболее выгодное положение при $\alpha=0°$.

При отчетливо выраженном уклоне наименьший объем планировочных работ дадут узкие и длинные чеки. Так устраивают рисовые поля на склонах холмов и гор (рис. 51). Если общий уклон невелик и, как бывает в таких случаях, сильно изменчив и выражен не четко, наиболее выгодной оказывается форма чека, близкая к квадрату.

В таблице 53 сопоставлены объемы планировки основного рельефа для типовых участков, вычисленных по формуле (73) и полученных путем детального подсчета по точкам, которые в дальнейшем называем «фактическими».

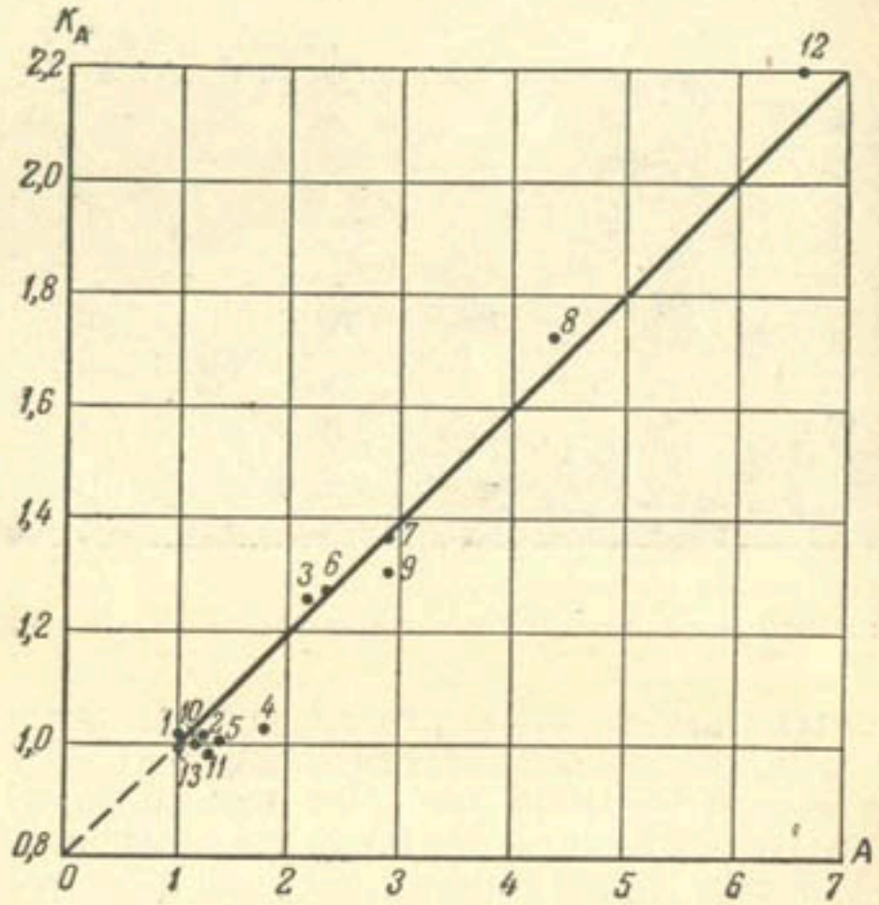


Рис. 52. График связи поправочного коэффициента K_A с показателем анизотропности. Точки с *1* по *9* — типовые участки Самсоновой, с *10* по *13* — Южгипроводхоза

Фактические и расчетные объемы планировки основного рельефа совпадают.

Таблица 53

Сопоставление фактических объемов планировки основного рельефа и полученных по формуле

№ площадок	1	2	3	4	5	6	7	8	9
По формуле	1178	487	282	309	541	545	440	240	387
Фактически	1161	483	282	308	543	541	439	250	384
Разница, %	+1,5	+0,8	0,0	+0,3	−0,4	+0,7	+0,2	−4,0	+0,8

Для перехода от объема планировки основного рельефа к действительному объему вводим поправочный коэффициент. Для типовых площадок составлен график, характеризующий связь этого поправочного коэффициента с коэффициентом анизотропности (рис. 52). Аналитически в первом приближении он выражается зависимостью:

$$K_A = 0{,}8 + 0{,}2A_и, \qquad (76)$$

где K_A — коэффициент анизотропности, в соответствии с чем расчетный объем планировочных работ:

$$W_р = K_A\, I_0\, z \sqrt{\omega} \cdot 10^5\ м^3/га. \qquad (77)$$

Точность определения объемов по формуле оказывается 5%, что при вычислении объемов земляных работ для планировки вполне достаточно (табл. 54).

Таблица 54

Сопоставление расчетных и фактических объемов планировки

Основной объем	Показатель анизотропности $A_и$	Поправочный коэффициент K_A	Объем планировки		Разница, %
			по формуле (77)	фактически	
1178	1,24	1,05	1230	1163	+5,7
487	1,25	1,05	511	500	+2,2
282	2,16	1,23	348	356	−2,2
309	1,80	1,16	359	358	+0,3
541	1,41	1,08	585	570	+2,6
545	2,34	1,27	694	698	−0,6
440	2,92	1,38	608	603	+0,8
240	4,38	1,68	405	415	−2,4
387	2,91	1,38	535	508	+5,3

Если же планировку выполняют не под нулевую плоскость, а с допуском $\pm\Delta h$, расчетный объем должен быть соответствующим образом уменьшен:

$$W_{\pm\Delta h} = K_A\, I_0\, z \sqrt{\omega} \cdot 10^5 - 0{,}5\,\Delta h \left(\omega - l\,\frac{\Delta h}{I_0}\right) м^3/га, \qquad (78)$$

где l — размер чека по направлению горизонталей.

Коэффициент анизотропности дает возможность количественно характеризовать микрорельеф применитель-

но к задачам проектирования планировочных работ. По мере накопления фактического материала методика его вычисления и количественные связи с поправочным коэффициентом к формуле (77) подлежат дальнейшему уточнению. Применение предложенной методики может значительно упростить определение объемов планировочных работ в стадии проектного задания.

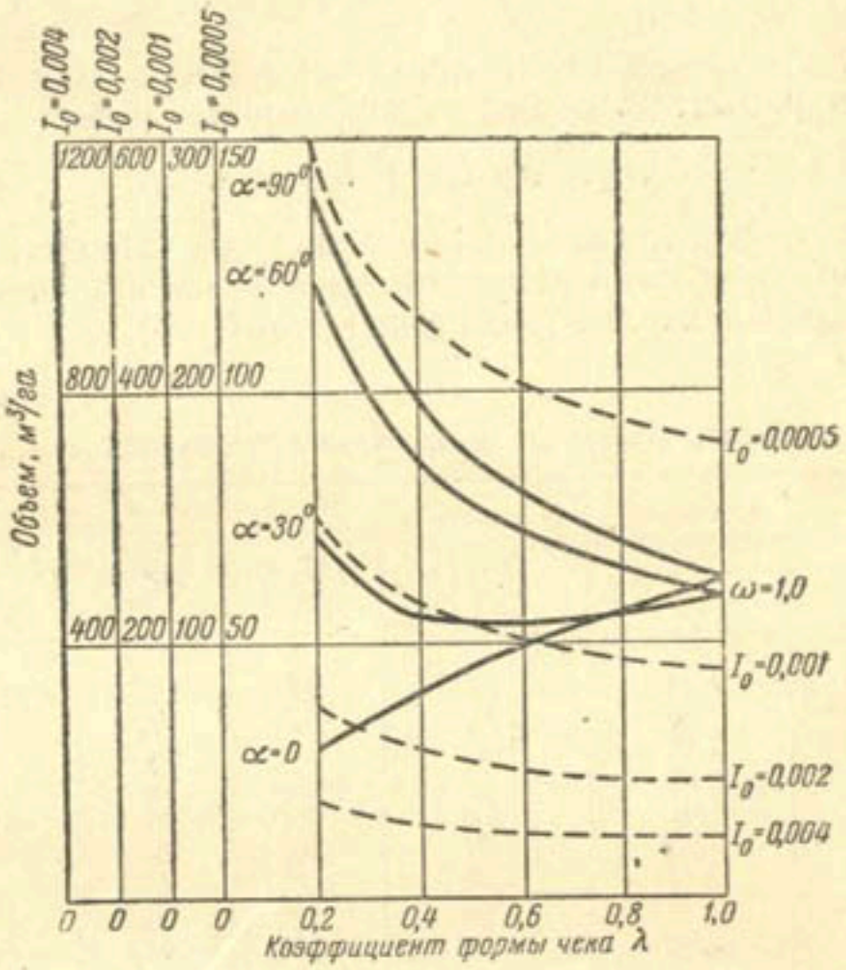


Рис. 53. График зависимости объемов планировочных работ от уклона, площади и формы чека. Сплошные кривые — планировка; пунктирные — валики.

Чековые валики делают высотой 35 *см* от проектной плоскости верхнего чека. Ширина по верху 30—35 *см* и откосы 1 : 1,5. На участках, где через валики должны переходить сельскохозяйственные машины, их откосы принимают не менее 1 : 4. Площадь поперечного сечения непереходимого валика $F_1=0{,}289$ *м*², а переходимого $F_2=0{,}612$ *м*². Объем работ по поделке валиков зависит от площади чеков и их формы (табл. 55). На графике 53 даны объемы работ по планировке и насыпке валиков при площади чека 1 *га* и $K_A=1$, но при разных λ и α. Основной уклон I_0 в формуле (77) входит в первой степени. Поэтому кривые объемов планировки (сплошные линии) справедливы для различных уклонов, но отсчет следует делать по шкале в масштабе соответствующего уклона. Объемы работ по валикам на этом же графике даны в разных масштабах, соответствующих разным уклонам. При увеличении площади чека доля объема работ, приходящаяся на валики, соответственно падает.

Таблица 55

Объем земляных работ (*м*³/*га*) на поделку валиков
Продольные — непереходимые, поперечные — переходимые

Площадь чека, *м*²	Отношение сторон чека λ				
	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0
0,5	220	163	141	133	127
1,0	150	115	100	94	90
2,0	106	81	71	67	64
3,0	86	66	58	54	52

Планировку чеков и устройство валиков следует проектировать в комплексе с соблюдением общего баланса земляных работ.

При проектировании планировочных работ для других культур установилась практика получения баланса земляных работ путем постепенного приближения. При этом для одной и той же площадки приходится делать два-четыре варианта. В условиях планировки под горизонтальную плоскость эта задача может быть полностью решена аналитически.

Наиболее общим выражением баланса земляных работ при планировке является:

$$W_п = \text{Const}, \qquad (79)$$

т. е. полный объем земли на данной площадке остается постоянным. Если грунт для образования валиков или валов оросителя берут с чека, то средняя отметка, под

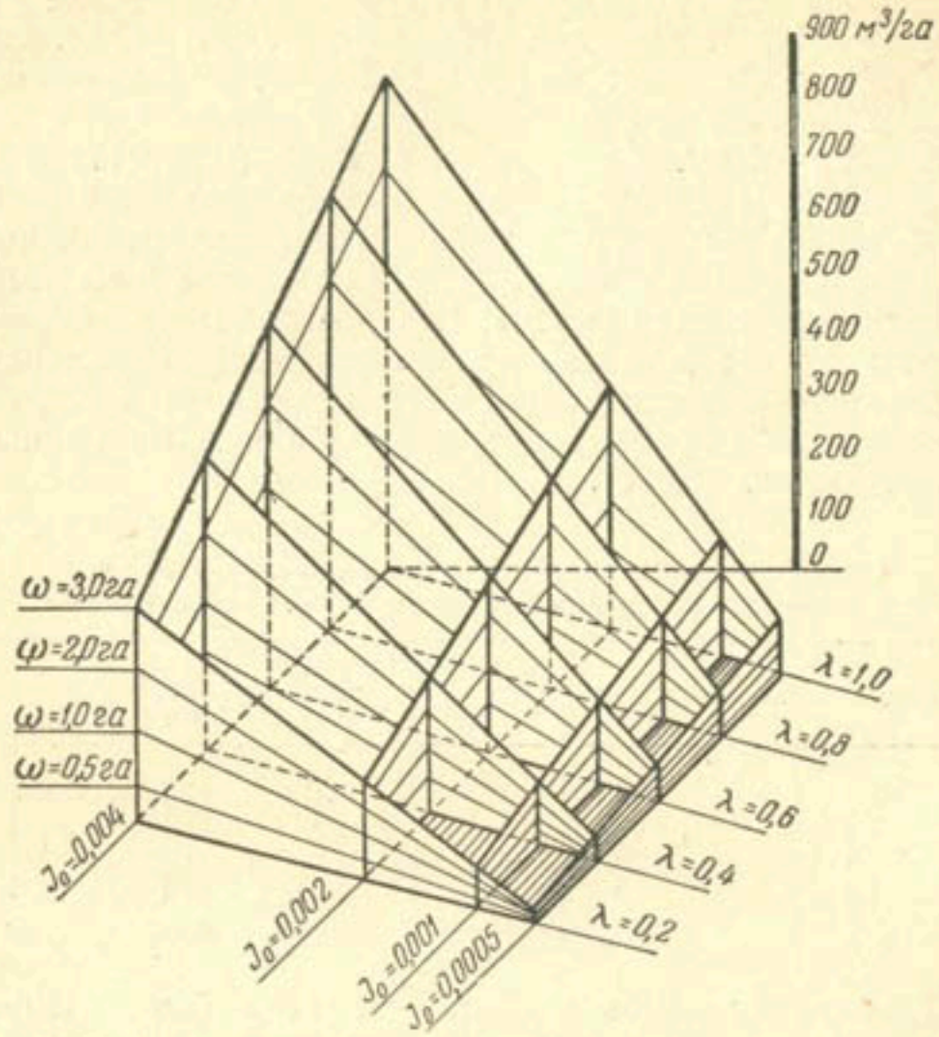


Рис. 54. Диаграмма изменения объемов планировочных работ в зависимости от уклона местности, размера и формы чека.

которую ведется планировка, будет ниже, чем по формуле (57). Она будет равна:

$$H_0 = \frac{W_н - W_в}{\omega} м, \qquad (80)$$

где H_0 — отметка нулевой плоскости чека с учетом изъятия грунта;

$W_в$ — объем грунта, взятый с данного чека на валики, дамбы и пр.

В этом случае равенство (62) получает вид:

$$W_с - W_в = W_н. \qquad (81)$$

Оно является управлением баланса земляных работ на чеке и по-прежнему может служить для проверки точности выполненных подсчетов.

В большинстве случаев из каждого чека землю берут не более чем на поделку двух валиков — один продольный и один поперечный.

$$H_0 = \frac{\Sigma H \cdot \Delta - l_1 (F_1 + \lambda F_2)}{\omega} м. \qquad (82)$$

На рисунке 54 изображена пространственная диаграмма, дающая объем планировочных работ с учетом использования грунта на устройство валиков, в зависимости от уклона местности, размера и формы чека. Эти объемы изменяются в очень широких пределах. Размер, форма и положение чека должны задаваться со строгим учетом всех факторов, влияющих на кубатуру земляных работ.

Точность планировочных работ

Поверхность чека желательно спланировать под идеальную горизонтальную плоскость *а—в* (рис. 55, *а*). Однако практически современными землеройными машинами такой точности невозможно достигнуть. Почти

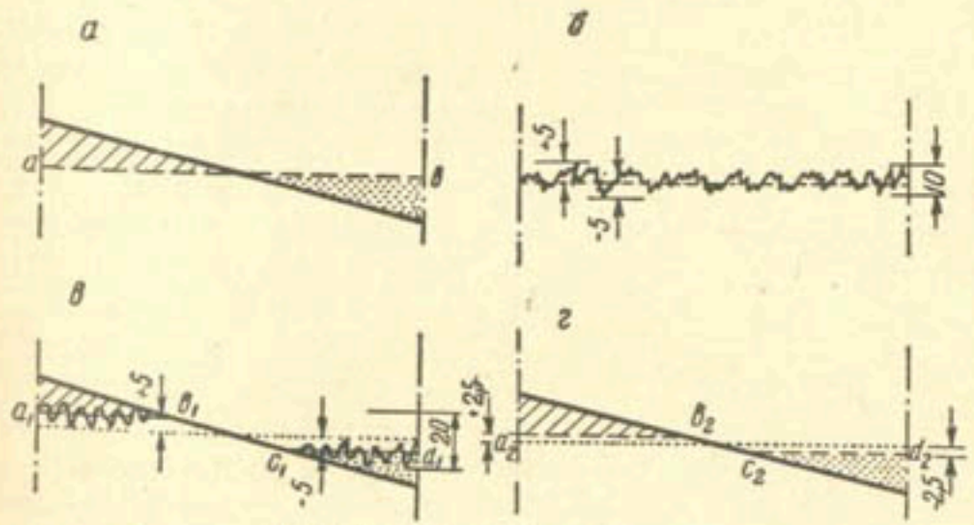


Рис. 55. Схема точности производства планировочных работ:

а — планировка „под нуль" (идеальная); *б* — фактическая поверхность при планировке с допуском ± 5 *см* от нулевой плоскости; *в* — фактические поверхности при планировке от плоскостей ± 5 *см*; *г* — расчетная схема, принятая для определения сметных объемов; *1* — поверхность до планировки; *2* — проектная поверхность; *3* — нулевая плоскость; *4* — срезка; *5* — подсыпка.

всегда поверхность получается с небольшими отклонениями относительно проектной плоскости, как это изображено на рисунке 55, *б*. При достаточно аккуратном выполнении работ и хорошем техническом надзоре эти отклонения не превышают 5 *см*.

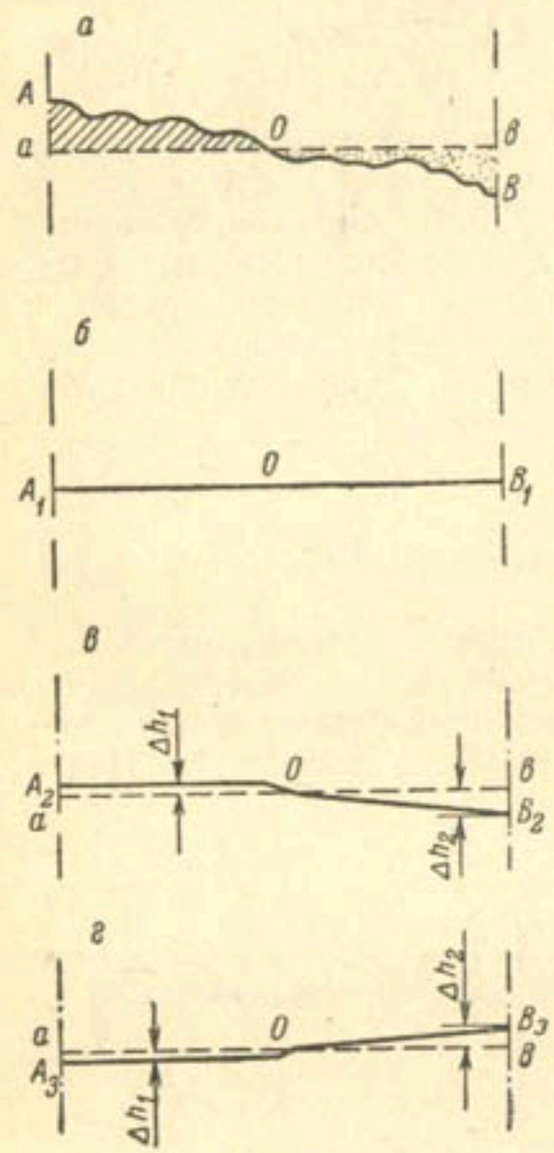


Рис. 56. Схемы деформации спланированной поверхности:

а — исходная поверхность чека; *б* — после планировки „под нуль"; *в* — после разрыхления и осадки; *г* — исполнительная поверхность с учетом осадки и разрыхления.

Планировку с точностью ± 5 *см* нередко совершенно неправильно понимают так, как это изображено на рисунке 55, *в*. Отступление от нулевой плоскости сразу закладывают в проект, и проектная поверхность чека идет по ломаной линии $a_1в_1c_1d_1$. Но так как при производстве работ неизбежно получаются случайные отклонения от заданных поверхностей a_1—$в_1$ и c_1—d_1 не менее чем ±5 *см*, то общая разность отметок на чеке в лучшем случае составляет 20 *см*. Но при приемке работ требуется, чтобы на поверхности спланированных чеков, не было отклонений более ±5 *см*. В связи с этим строительной организации приходится фактически выполнять объем работ, превышающий тот, который был заложен в смету. В результате наблюдений, выполненных нормативно-исследовательской станцией Главводхоза, оказалось, что объем, подсчитанный с допуском ±2,5 см, в среднем соответствует фактически выполняемым работам. Ряд лет практической работы по планировке полей на рисовых системах Краснодарского края подтвердил этот вывод.

Практикуемый в настоящее время порядок производства и приемки планировки рисовых полей нельзя считать совершенным. Поверхность чека AB (рис. 56, *а*) в результате планировки обращается в горизонтальную плоскость A_1B_1 (рис. 56, *б*). На участке A_1O срезан грунт, т. е. снят пахотный горизонт и обнажена почва в ее естественном, более плотном сложении. После вспашки чека ненарушенный грунт на месте срезки разрыхлится и поверхность чека в этой его части повысится на величину Δh_c. При пахоте на глубину 20 *см*, принимая наименьшее значение коэффициента разрыхления, получим, что отметка поля поднимается здесь на величину

$$\Delta h_c = 0{,}24 \times 20 = 4{,}8\ см.$$

Там, где была сделана насыпь, также произойдет некоторое разрыхление грунта, но подъем поверхности на насыпи будет меньше, чем на срезке, так как грунт здесь был уже разрыхлен в процессе производства работ. В 1957 г. на строящемся участке Петровско-Анастасиевской системы были проведены подобные наблюдения (табл. 56).

Таблица 56

Изменение отметок поверхности свежеспланированного чека после пахоты (по Ю. Г. Батракову)

№ чеков	Средние отметки		
	всего чека до пахоты	после пахоты	
		на срезах	на насыпях
26	9,096	9,145	9,117
27	8,883	8,924	8,908

После затопления происходит осадка. Принимая величину остаточного разрыхления наименьшей и равной 4%, получим, что на месте срезки грунт и после осадки окажется приблизительно на 1 *см* выше той поверхности, под которую он был спланирован. На месте подсыпки осадка грунта оказывается гораздо сильнее и достигает 20—30% высоты подсыпки. Поверхность чека примет форму, изображенную на рисунке 56, *в*.

Хорошо спланированный и строго принятый в пределах допуска ±5 *см* чек уже в конце первого сезона будет иметь на своей поверхности точки, отклоняющиеся от средней плоскости в пределах ±7—10 *см* вместо требуемых ±5 *см*. Разрыхление грунта на срезках и особенно его осадка в насыпях должны учитываться в процессе производства и приемки планировочных работ, как это делается при отсыпке валов оросителей, полотна дорог и иных земляных сооружений. В связи с этим поверхность чека после планировки должна иметь вид, подобный изображенному на рисунке 56, *г*.

Производство планировочных работ

Большие поверхности и удельно малые объемы работ создают специфические особенности в организации производства планировки.

Наибольший объем планировочных работ на рисовых полях СССР выполнен на системах Краснодарского края. В результате многолетней практики здесь сложилась следующая технология их выполнения. На основании рабочего проекта производится разбивка междучековых валиков. При выполнении собственно планировочных работ проектные материалы служат только для определения их сметной стоимости. Перед началом работ мастер нивелирует поверхность чека по квадратам. Плановую разбивку для нивелировки делают с невысокой точностью саженкой или даже шагами. Нивелировку выполняют по каждому чеку в отдельности. Каждый чек снимают обычно с одной стоянки. Перевод «взглядов» в отметки не делают и горизонт инструмента не вычитают. Сумму всех взглядов делят на число точек, и получается средний взгляд. По разности среднего взгляда и взглядов на точки определяют рабочие отметки. По рабочим отметкам на схеме обозначают границы срезок и подсыпок и вновь, независимо от проекта, подсчитывают кубатуру земляных работ, по которой ведут расчет с бригадой скреперистов. Необходимость повторной съемки и вычисления объемов работ диктуется тем, что между съемкой в процессе изыскания и началом производства работ проходит в лучшем случае полтора-два года. Поверхность почвы

в результате обработок, подсыхания и пр. принимает иную конфигурацию.

Копию схемы с рабочими отметками выдают трактористу-скреперисту. Никаких насыпок, попов, колышков и пр. не устанавливают. Не обозначают также на месте границы срезок и подсыпок. Вероятная неточность, возможная при их перенесении с проектного плана в натуру, весьма велика. Так, при уклоне 0,002 эта неточность превышает 60 *м*, при уклоне 0,004—30 *м*. В пределах чека, границы которого ясно обозначены, тракторист, имеющий некоторый опыт, с неменьшей точностью ориентируется непосредственно по схеме.

Перед окончанием скреперных работ нивелировку ведут в том же порядке, как описано выше. По данным этой нивелировки выполняют необходимые доделки и поправки. Одновременно с планировкой скреперами отсыпают грунт в валики, в подушки под оросительные каналы, в полотно дорог и пр. При такой организации работ никаких резервов, которые надо было бы потом засыпать, не остается.

После окончания работы скреперов грейдерами окончательно выравнивают поверхность чеков, оправляют валики и оформляют валы-оросители. Бульдозерами оформляют крестовины и примыкания валиков к оросителям, а также выравнивают углы и разворотные полосы, которые не могут быть обработаны грейдером. В процессе грейдерного выравнивания поверхности чека проводят нивелировку, по данным которой максимальные отклонения внутри каждого чека доводят до величин, не превышающих ±5 *см*.

Скреперные работы, с помощью которых выполняют основную работу, ведут бригадным методом, сдельно. Внутри бригады зарплату распределяют по фактически отработанным часам каждым скреперистом. Кроме того, каждому трактористу-скреперисту оплачивают положенное по нормам число часов на профилактику. Никакие простои в течение сезона не оплачивают. Этим создается должная заинтересованность каждого работника в надлежащем уходе за закрепленными за ним трактором и скрепером.

В странах древнего рисосеяния планировку рисовых полей ведут в затопленном состоянии, используя для этого животных. Такой способ производства имеет су-

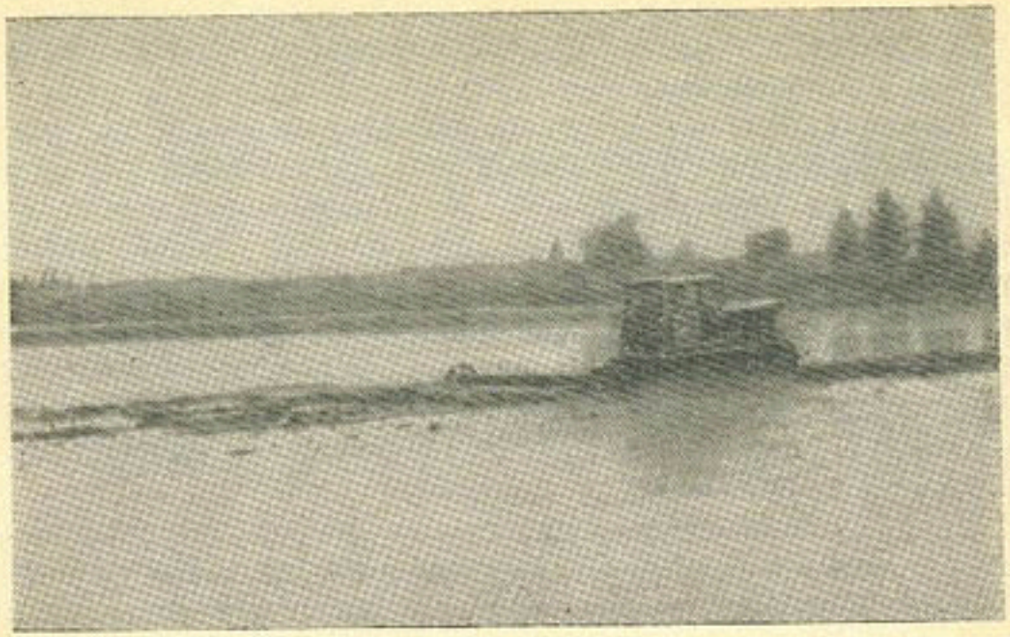


Рис. 57. Планировка рисового поля по воде трактором ДТ-54 и сцепом из плавающего бруса и борон (Кубанская рисовая опытная станция).

щественные преимущества. Размякший грунт легкоподвижен. В воде он теряет большую часть своего веса и для его перемещения требуются меньшие тяговые усилия. Водная поверхность затопленного чека является идеальным нивелиром. Все сколько-нибудь значительные бугорки и отдельные комья отчетливо видны над водой и легко устраняются.

В ряде случаев затопленные рисовые поля планируют с помощью тракторов. Например, в Камарге (Франция) такую планировку выполняют колесными тракторами, к которым для этой цели приспосабливают уширители. Никакого специального орудия трактор за собой не тянет. Он перемещается в разных направлениях по залитому чеку до тех пор, пока почва не будет полностью выравнена и покрыта слоем воды. После этого пересаживают рис. На рисунке 57 изображен момент планировки по воде гусеничным трактором ДТ-54 на Кубанской рисовой опытной станции. За трактором идут два ряда штифтовых борон, а затем брус, который, имея плавучесть, на глубоких местах не касается поверхности почвы, а все бугры и возвышения снимает. За несколько перекрестных проходов такого орудия достигается хорошее выравнивание поверхности чека.

В районах, где практикуется культура риса с пересадкой или посев в затопленные чеки вручную или самолетом, планировка по воде входит в комплекс предпосевных обработок почвы.

В наших условиях, при посеве рядовыми сеялками, планировку по воде можно проводить в процессе строительства или в паровом клину. Спланированные таким путем поля полностью просохнут к весне будущего года.

Планировка по воде имеет существенное преимущество с агротехнической точки зрения, заключающееся в довольно полном перемешивании грунта и оседании затем на всей поверхности чека слоя плодородного ила. В результате отрицательное действие срезок грунта сказывается менее заметно. Планировка рисовых полей в затопленном состоянии заслуживает дальнейшей экспериментальной разработки. Желательно получить специальный трактор, приспособленный к работе в таких условиях. Наиболее подойдет для этих условий колесный трактор с четырьмя ведущими колесами, ступицы которых будут находиться на достаточном расстоянии от уровня воды в чеке. В случае надобности к колесам могут быть прикреплены уширители.

Эффективность планировки рисовых полей

В результате проведения планировочных работ создаются условия для более равномерного затопления рисовых полей. Это ведет к повышению урожая. Но на срезках и больших подсыпках, как уже было сказано, несколько снижается урожай. Каков же будет итоговый результат этих двух факторов, действующих в противоположном направлении? В результате подсчетов, проведенных М. В. Бородиным и Г. А. Дановым [8], на основании собранного ими фактического материала оказывается, что урожай на неспланированном поле с интервалом неровностей от 60 *см* глубины затопления до 40 *см* незатопленных повышений составляет 65,7% от возможного. При планировке с точностью ±5 *см* с учетом отрицательного влияния срезок и подсыпок урожай поднимается до 88,4%, принимая за 100% урожай на

идеально выравненном, ровном чеке с ненарушенным почвенным покровом. Следовательно, в результате планировки повышается урожай на 88,4—65,7=22,7%.

Для условий Кубани средняя величина урожая при благоприятных условиях на спланированном чеке может быть принята как минимум 45 *ц/га*. В этом случае на неспланированном поле урожай риса будет равен 0,657×45=29,6 *ц/га*, а на спланированном, без принятия каких-либо мер против снижения урожая на срезках, 0,884×45=39,8 *ц/га*. Увеличение урожая за счет планировки составляет 10,2 *ц*. По существующим закупочным ценам это дает 10,2×21,5=219,3 руб. с гектара. Объем планировочных работ для поля указанной выше степени неровности составляет 606 *м³/га*. Стоимость выполнения этих работ в среднем 30—35 коп. за 1 *м³*. Взяв наибольшую стоимость, получаем 212,1 руб. на гектар. Затраты на планировку окупаются уже в первый год.

Глава X

Карта

Размеры карты

На рисовых системах сохранились постоянные картовые оросительные и сбросные каналы, сохранились постоянные карты. Временная сеть не оправдывает себя. Свеженасыпанные из рыхлого грунта валики и ороситель с высотой вала не менее 35 *см* сразу должны работать с максимальной нагрузкой, так как периоду первоначального затопления соответствует максимальная ордината графика гидромодуля. В результате и валики и валы оросителей часто прорываются. Для заделки промоин на месте негде взять грунт на сплошь затопленных рисовых полях. Его надо привозить. Содержание временной регулирующей сети в исправном состоянии в этом случае — трудоемкая операция, стоимость которой превосходит ту экономию, которая получается при работе сельскохозяйственных машин на более крупных участках с временными валиками. Сверх того насыпка высоких валов оросителей и чековых валиков, а потом их разрушение также составляют довольно большой объем работ.

Длину рисовой карты назначают в соответствии с рельефом и размерами рисового севооборота от 400 до 1500 *м*. Меньший размер соответствует наиболее сложным условиям рельефа. В обычных для рисовых систем равнинных районах длину карты редко принимают короче 700 *м*.

Ширина карты зависит от уклонов, характера рельефа и микрорельефа, а также от местных почвогрунтов и определяемой ими допустимой глубины срезки грунта при планировке. Обычно ширину карты принимают от 150 до 250 *м*. Иногда предлагают увеличить ширину карты до 400 *м* [68]. Но несмотря на то что с уширением карты число оросителей уменьшается, в общем итоге объемы работ значительно увеличиваются. В Краснодарском филиале Госгипросельхозстроя были сделаны сравнительные подсчеты по типичному для Петровско-Анастасиевской системы участку площадью 342 *га*, орошаемому распределителем Рх-10-2-2 (табл. 57).

Таблица 57

Объемы и стоимость работ при ширине карты 200 и 400 *м*
(по В. П. Баских)

Варианты	Объем планировочных работ, *м³/га*	Дальность возки, *м*	Стоимость, руб.
Ширина карты 200 *м*	634	95	123,60
Ширина карты 400 *м*	971	173	335,00
Увеличение в абсолютных величинах	337	78	211,40
Увеличение в число раз	1,52	1,82	2,72

Стоимость при ширине карты 400 *м* увеличилась в 2,7 раза, так как рабочее время, затрачиваемое на разработку грунта скреперами, зависит не только от объема перемещаемого грунта, но и от расстояния, на которое требуется его переместить.

Экономия при устройстве карты шириной 400 *м* по сравнению с картой в 200 *м* складывается из удешевления строительных работ за счет уменьшения числа оросителей и из стоимости дополнительной

идеально выравненном, ровном чеке с ненарушенным почвенным покровом. Следовательно, в результате планировки повышается урожай на 88,4—65,7=22,7%.

Для условий Кубани средняя величина урожая при благоприятных условиях на спланированном чеке может быть принята как минимум 45 *ц/га*. В этом случае на неспланированном поле урожай риса будет равен 0,657×45=29,6 *ц/га*, а на спланированном, без принятия каких-либо мер против снижения урожая на срезках, 0,884×45=39,8 *ц/га*. Увеличение урожая за счет планировки составляет 10,2 *ц*. По существующим закупочным ценам это дает 10,2×21,5=219,3 руб. с гектара. Объем планировочных работ для поля указанной выше степени неровности составляет 606 *м³/га*. Стоимость выполнения этих работ в среднем 30—35 коп. за 1 *м³*. Взяв наибольшую стоимость, получаем 212,1 руб. на гектар. Затраты на планировку окупаются уже в первый год.

Глава X

Карта

Размеры карты

На рисовых системах сохранились постоянные картовые оросительные и сбросные каналы, сохранились постоянные карты. Временная сеть не оправдывает себя. Свеженасыпанные из рыхлого грунта валики и ороситель с высотой вала не менее 35 *см* сразу должны работать с максимальной нагрузкой, так как периоду первоначального затопления соответствует максимальная ордината графика гидромодуля. В результате и валики и валы оросителей часто прорываются. Для заделки промоин на месте негде взять грунт на сплошь затопленных рисовых полях. Его надо привозить. Содержание временной регулирующей сети в исправном состоянии в этом случае — трудоемкая операция, стоимость которой превосходит ту экономию, которая получается при работе сельскохозяйственных машин на более крупных участках с временными валиками. Сверх того насыпка высоких валов оросителей и чековых валиков, а потом их разрушение также составляют довольно большой объем работ.

Длину рисовой карты назначают в соответствии с рельефом и размерами рисового севооборота от 400 до 1500 *м*. Меньший размер соответствует наиболее сложным условиям рельефа. В обычных для рисовых систем равнинных районах длину карты редко принимают короче 700 *м*.

Ширина карты зависит от уклонов, характера рельефа и микрорельефа, а также от местных почвогрунтов и определяемой ими допустимой глубины срезки грунта при планировке. Обычно ширину карты принимают от 150 до 250 *м*. Иногда предлагают увеличить ширину карты до 400 *м* [68]. Но несмотря на то что с уширением карты число оросителей уменьшается, в общем итоге объемы работ значительно увеличиваются. В Краснодарском филиале Госгипросельхозстроя были сделаны сравнительные подсчеты по типичному для Петровско-Анастасиевской системы участку площадью 342 *га*, орошаемому распределителем Рх-10-2-2 (табл. 57).

Таблица 57

Объемы и стоимость работ при ширине карты 200 и 400 *м*
(по В. П. Баских)

Варианты	Объем планировочных работ, *м³/га*	Дальность возки, *м*	Стоимость, руб.
Ширина карты 200 *м*	634	95	123,60
Ширина карты 400 *м*	971	173	335,00
Увеличение в абсолютных величинах	337	78	211,40
Увеличение в число раз	1,52	1,82	2,72

Стоимость при ширине карты 400 *м* увеличилась в 2,7 раза, так как рабочее время, затрачиваемое на разработку грунта скреперами, зависит не только от объема перемещаемого грунта, но и от расстояния, на которое требуется его переместить.

Экономия при устройстве карты шириной 400 *м* по сравнению с картой в 200 *м* складывается из удешевления строительных работ за счет уменьшения числа оросителей и из стоимости дополнительной

продукции. Эта дополнительная продукция может быть получена на полосе земли, занятой при ширине карты 200 *м* одним из оросителей, надобность в устройстве которого при ширине карты 400 *м* отпадает. Экономия за счет уничтожения одного из оросителей составляет 102,1 руб. на гектар. Стоимость дополнительной продукции на освободившейся полосе шириной 8 *м* при урожае 40 *ц/га* равна 17 руб. 20 коп. на гектар. В итоге при варианте 400 *м* расход

$$335-(102{,}1+17{,}2)=215{,}7 \text{ руб.},$$

что на 92,1 руб. на гектар больше по сравнению с объемом капиталовложений при карте шириной 200 *м*, т. е. получилась не экономия, а увеличение затрат на ирригационное освоение.

Увеличение ширины карты вместе с тем имеет ряд других отрицательных сторон. Из общей теории полива затоплением известно, что с увеличением длины добегания струи увеличивается поливная норма и возрастает время, необходимое для затопления. Следовательно, темпы первоначального затопления замедлятся, что весьма нежелательно. При ширине карты 400 *м* картовые сбросы расположены вдвое реже. Это затруднит осенний предуборочный сброс поверхностных вод и неблагоприятно скажется на последующем осушении в межполивной период. Приведенные соображения и многолетний опыт эксплуатации показывают, что ширина карты 200 *м* в настоящее время наиболее приемлема. В зависимости от конкретных условий допускаются отклонения в пределах 50 *м* в ту или другую сторону. Такие карты построены на кубанских системах, на Дальнем Востоке, такими их делают и на вновь строящихся донских системах в Ростовской области. Эта же величина предусмотрена и техническими указаниями по проектированию рисовых оросительных систем [13].

Площадь карт на инженерных системах, в зависимости от рельефа, принимают от 10 до 35 *га*. В пределах одного севооборотного поля карты желательно делать по возможности равновеликими по площади. Это упростит в дальнейшем маневрирование расходами при осуществлении водооборота в наиболее напряженный период первоначального затопления и облегчит планирование всех сельскохозяйственных работ.

Карты, как правило, делают прямоугольной формы с параллельными сторонами. Лишь при особо трудном рельефе допускается непараллельность сторон карты или излом их в плане. При этом угол излома должен быть тупым и не менее 120°. В процессе проектирования расположения в плане распределителей последнего порядка и назначения формы и размеров питаемых ими участков необходимо заранее достаточно отчетливо представить себе, как в этом случае расположатся получающие из них воду поливные карты.

Расположение карты относительно уклона местности

По отношению к направлению основного уклона местности поливная карта может быть расположена или по направлению уклона, т. е. длинной стороной нормально к горизонталям местности, или по направлению горизонталей, или, наконец, под некоторым углом к ним.

При уклонах до 0,0025 и спокойном рельефе карты рекомендуется располагать длинной стороной по направлению наибольшего уклона. В таком случае не нужно устраивать продольные валики на карте. Чеки могут быть сделаны сквозными, т. е. идущими от оросителя до картового сброса. Подобное расположение чеков имеет большое эксплуатационное преимущество. Оно позволяет регулировать водный режим в каждом чеке в отдельности. Непосредственное примыкание каждого чека к сбросному каналу значительно облегчает предуборочное осушение рисовых полей.

В местах с особо неблагоприятным рельефом приходится устраивать отдельные чеки не на всю ширину карты, а перегораживать их продольным валиком. В этом случае получается цепочка из двух чеков. В первый, верхний чек поступает вода из оросителя и сбрасывается во второй, нижний чек. Из второго чека вода сбрасывается непосредственно в картовый сброс.

При расположении карты параллельно горизонталям наибольший уклон местности идет поперек карты от оросителя к сбросу. Такое расположение может оказаться целесообразным только при очень неболь-

шом уклоне ($I_0 \leqslant 0{,}001$). В остальных случаях большой уклон поперек карты потребует устройства нескольких продольных валиков, т. е. устройства цепо-

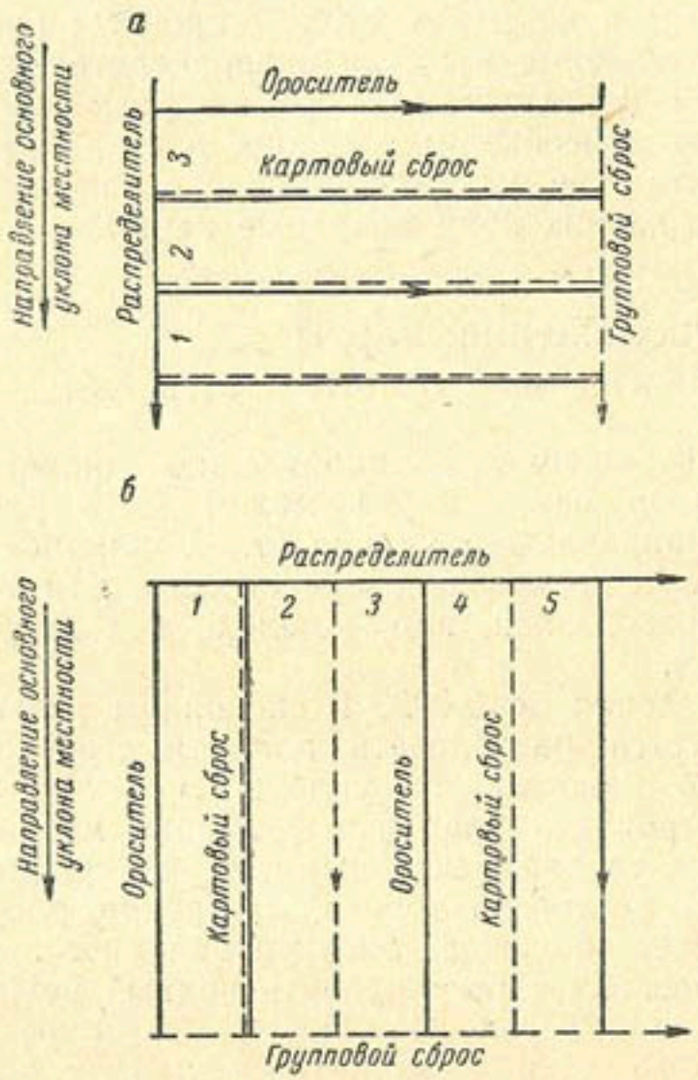


Рис. 58. Схема расположения карт относительно основного уклона местности: *а* — параллельно горизонталям; *б* — перпендикулярно горизонталям.

чек чеков, получающих воду один из другого. Такая внутрикартовая планировка крайне нежелательна. При подаче воды из чека в чек удлиняется период первоначального затопления, резко ухудшаются условия осеннего предуборочного осушения. С увеличением числа продольных валиков возрастает количество водовыпусков, требующих надзора. Коэффициент зе-

мельного использования ухудшается. Объем работы поливальщика возрастает, а условия для надлежащего управления водным режимом существенно ухудшаются.

В Приморском крае установилась практика располагать карты под углом к направлению основного уклона. Такая схема наиболее неудачна. На карте имеется значительный уклон как вдоль нее, так и поперек. В результате неизбежно возникнет необходимость устройства нескольких продольных валиков, т. е. создания чёток. В то же время и по направлению оросителя чек не может иметь большого размера. Наконец, в этом случае получается наибольшая дальность возки грунта при планировке, так как грунт перемещается в диагональном направлении.

При расположении карт параллельно горизонталям картовые оросители могут быть только одностороннего командования (рис. 58, *а*). В этом случае параллельно оросителю, выше его, идет картовый сброс соседней карты.

При расположении карт по направлению уклона местности оросители могут быть как одностороннего командования (карты 1 и 2, рис. 58, *б*), так и двухстороннего (карты 3 и 4). Картовые сбросы могут обслуживать по одной или по две карты (карты 2—3 и 4—5). Схема с двухсторонним командованием более выгодна по меньшему удельному объему земляных работ и по более высокому коэффициенту земельного использования. На кубанских оросительных системах всюду, где по характеру рельефа это возможно, проектируют оросители и сбросы двухстороннего командования. В районах, опасных по засолению, например на Пролетарском массиве Ростовской области, или особо трудных по условиям осушения, как в Приморье, предпочтение отдается схеме с односторонним командованием, дающей более густое расположение сбросной сети.

Валики

Валики, окружающие спланированный чек, удерживают на нем слой воды нужной глубины. На неинженерных рисовых системах валики в плане

располагаются самым причудливым образом. Их положение обусловлено рельефом и границами землепользования. Рациональное использование трактора на таких полях невозможно. Надлежащее расположение и форма валиков — одно из важных условий внедрения современной механизации на рисовых полях. На инженерных рисовых системах валики делают прямолинейными, а их пересечение — под прямым углом.

Продольные валики идут вдоль карты, параллельно оросителю. Они не мешают работе сельскохозяйственных машин. Поперечные расположены перпендикулярно оросителю и продольным валикам. Они бывают переходимого или непереходимого профиля. Периферические валики ограничивают чеки со стороны сбросных каналов и незатопляемых площадей. В период подавления слоем воды просянок глубину ее на чеках доводят до 0,25 *м*. С учетом сухого запаса 0,10 *м* высоту валиков делают не менее 0,35 *м* от средней плоскости более высокого чека.

Тракторные работы на рисовых полях могут выполняться по карте в целом с ежегодным разрушением и восстановлением поперечных валиков или с переходом агрегатов через постоянные поперечные валики. Тракторные работы можно вести внутри каждого чека в отдельности.

В первые годы практической разработки методов механизации возделывания риса наибольшее распространение имела первая схема. Всю карту обрабатывали и засевали полностью. Затем в несколько проходов грейдера или деревянного валикоделателя — риджера устраивали продольные и поперечные валики. Никакой планировки, кроме общего предпосевного выравнивания, не делали. Расстояния между валиками назначали однообразные для всей карты, исходя из среднего уклона. Хотя эти расстояния были и небольшие — 20—50 *м* — и площадь чеков получалась в пределах 0,1—0,2 *га*, разность глубин затопления в пределах чеков часто получалась большой. При перекрестном ходе валикоделателя места пересечений валиков (крестовины), а также их примыкания к оросителю оставались незаделанными. Эти работы выполняли вручную.

Валикоделатели работают по засеянному рисовому полю и сгребают в валик пахотный слой вместе с семенами. Вдоль валиков получается резерв глубиной около 20 *см*. Участок резерва обычно подсевали вручную. Но рис на них развивался плохо, так как семена попадали на обнаженный подпахотный слой. К тому же здесь в течение всего вегетационного периода была слишком большая глубина затопления.

Свеженасыпаемые валики при первоначальном затоплении сразу попадают под максимальный напор воды и часто прорываются. Для заделки промоин приходится, невзирая на посевы, закладывать резерв в уже засеянном и затопленном чеке. Причиной размывов и оплывания свеженасыпанных валиков служит также то, что они — единственный путь сообщения, по которому могут ходить поливальщик, рабочие на прополке и др.

Перед уборкой валики должны быть разрушены и разравнены. До этого их нужно обкосить с обеих сторон. Для пропуска жнейки-прокосчика соответствующие участки поперечных валиков должны быть разрушены или хотя бы уположены вручную, так как никакие машины по полю со спелым рисом ходить не могут. Все эти работы приходится выполнять в наиболее напряженные по труду периоды посевной и уборочной кампаний. Поэтому после первых лет рисосеяния от работы с устройством временных валиков отказались.

В 1952—1954 гг. Краснодарским филиалом Гипроводхоза и Кубанской рисовой опытной станцией вновь были поставлены опытные работы по возделыванию риса с устройством временных валиков. Хотя на этих испытаниях была применена современная более мощная техника, положительного результата они также не дали.

В Краснодарском крае до недавнего времени рисовые оросительные системы строили с поперечными валиками переходимого типа. Предполагалось, что таким путем успешно решится задача производительного использования трактора на рисовых полях в результате обеспечения возможности его работы на длинных гонах [77]. Однако производственный опыт показал другое.

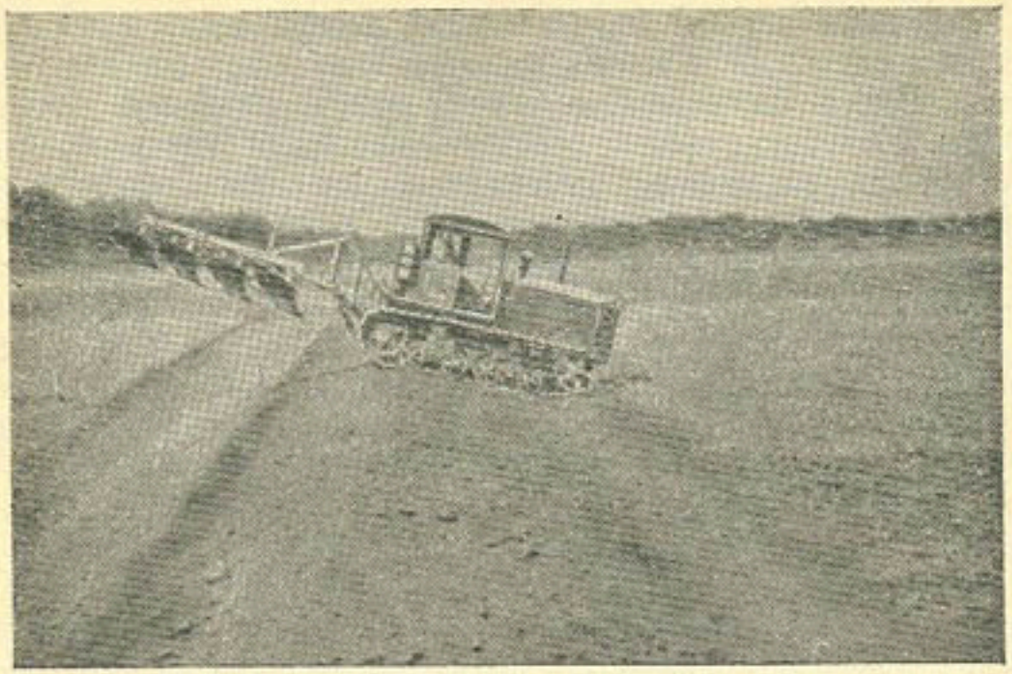


Рис. 59. Переход трактора ДТ-54А с плугом через поперечный валик (фото М. С. Родионова).

Термин «переходимый валик» в значительной степени условный.

Современный гусеничный трактор может форсировать любой валик. Он довольно легко поднимается по пологому откосу валика. Затем тракторист должен замедлить его движение, пока трактор не сделает «клевок», перевалившись на другую сторону валика (рис. 59), причем момент переваливания связан с ударом, который не только затрудняет работу тракториста, но и отрицательно сказывается на тракторе. Последний корпус плуга в момент клевка взлетает на высоту более 3 *м* от поверхности чека. В процессе перехода распахивается верхняя часть валика, но остаются недопаханные полосы перед валиком и после него. При пахоте прицепным плугом П-5-35 валик с откосами 1 : 4 распахивают на 32 *см*, т. е. почти на всю высоту. Навесной плуг разрушает валик примерно на половину этой величины. При работе с прицепным плугом вдоль поперечных валиков остаются недопаханные полосы перед валиком 183 *см* и после валика — 197 *см*. При навесном плуге ширина недопаханных полос оказывается еще больше.

Распашка этих полос дает дополнительные объемы работ.

С 1963 г. в Кубанском сельскохозяйственном институте начали изучать вспашку рисовых полей трактором ДТ-75 с навесным плугом на повышенных скоростях с переходом через валики.

Бороны проходят через валик в рабочем положении. Они сильно его понижают и уполаживают.

Когда же на валик наезжает трактор с навесной жаткой, то ходовая часть, гидросистема и крепления работают с большими перегрузками.

Таблица 58

Средняя ширина недопаханных полос при переходе трактора с навесным плугом через поперечный валик с пологими откосами (по М. С. Родионову)

Трактор	Плуг	Захват плуга, *см*	Ширина полосы, *м*	
			перед валиком	после валика
МТЗ-2	ПН-3-35	105	4,11	5,40
ДТ-54А	ПН-4-35	140	1,70	2,08

Рисовые комбайны СКПР-3 и СКПР-4 не могут переходить через поперечные междучековые валики ввиду недостаточного транспортного просвета.

Колесный трактор очень легко и плавно перекатывается через валик с пологими откосами. На это затрачивается в среднем 6,5 *сек*, в то время как на переход через валик трактора ДТ-54 требуется 13,7 *сек*, т. е. вдвое больше.

Сравним производительность трактора ДТ-54-А с плугом ПН-4-35 и колесного трактора на вспашке рисового поля при разных схемах работы; в частности при работе только внутри чеков и с переходом через поперечные валики, при различном расстоянии между этими валиками.

При работе внутри чека (рис. 60, *1—3*) вспашку проводят загонками. Не доходя до валика трактор делает холостой заезд. Затем он снова становится в борозду в обратном направлении. После вспашки всего

чека распахивают разворотную полосу с одной стороны чека. Затем трактор переезжает на другую сторону чека и распахивает вторую разворотную полосу, после чего агрегат через поперечный валик переходит в следующий чек.

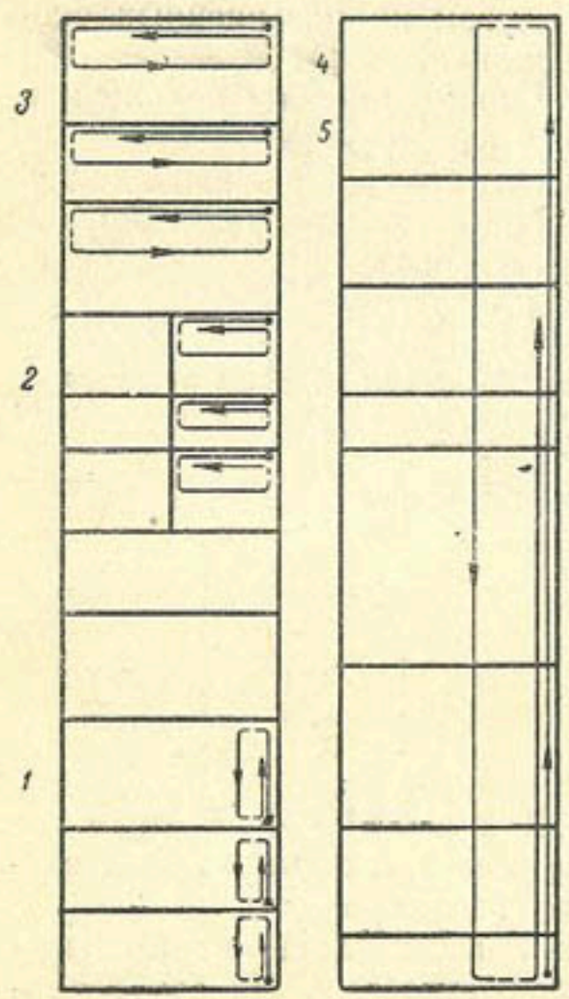


Рис. 60. Схемы работы трактора при вспашке рисовой карты:

1—работа внутри чека вдоль карты; *2*—работа внутри чека поперек карты; *3*—работа внутри чека поперек карты; *4*—работа с переходом через валик, гусеничный трактор; *5*—работа с переходом через валик, колесный трактор.

При работе с переходом через валики вспашка также ведется загонками и в начале и конце карты образуются две разворотные полосы (рис. 60, *4* и *5*). При рабочем ходе в этом случае время затрачивается не только на пахоту, но и на переезд через все поперечные валики. В конце рабочего хода производится холостой заезд по разворотной полосе и агрегат направляется в обратную сторону. После вспашки всей карты пашут одну из разворотных полос, а затем последовательно допахивают необработанные полосы, оставшиеся вдоль каждого из поперечных валиков. И, наконец, в противоположном конце карты распахивают вторую разворотную полосу.

Время, затрачиваемое на вспашку одного гектара нетто при работе внутри чека, выражается формулой:

$$t_ч = \frac{10}{Bv(l-b_в)}\left[\frac{B}{b}(l+l_р-2b_р)+2n_р(B+l_в)+\right.$$
$$\left.+(l-b_р)+1000vt_в\right] \text{ час/га.} \qquad (83)$$

При работе вдоль всей карты с переходом через валики:

$$t_к = \frac{10}{v(L-(n_п+1)b_в}\left[\frac{B}{b}(L+l_р-2b_р-n_п b_в)+\right.$$
$$+2(B+l_в)(n_р+n_п\cdot n_в)+(n_п+1)(l-b_р)+$$
$$\left.+1000vn_п\left(\frac{B}{b}+1\right)t_в\right] \text{ час/га.} \qquad (84)$$

где L — длина всей карты, *м*;
l — длина чека, т. е. расстояние между поперечными валиками по их осям, *м*;
B — ширина карты, *м*;
$b_в$ — ширина переходимого поперечного валика по низу, *м*;
v — рабочая скорость агрегата, *км/час*;
b — рабочая ширина захвата, *м*;
$b_р$ — ширина разворотной полосы в конце гона, *м*;
$n_р$ — число проходов при допашке разворотной полосы;
$n_в$ — число проходов при допашке у валиков;
$n_п = \frac{L-l}{l}$ — число поперечных валиков;
$l_р$ — длина холостого хода на разворотной полосе, *м*;
$l_в$ — длина холостого хода при допашке у валиков, *м*;
$t_в$ — время перехода агрегата через валик, часы.

Для сравнительного подсчета принимаем длину карты $L=1000$ *м*, ширину $B=200$ *м*. Расстояние между поперечными валиками берем

$$l=25,\ 50,\ 100,\ 150,\ 200 \text{ м.}$$

По результатам хронометражных наблюдений, выполненных на Кубанской рисовой опытной станции [59],
$v = 5{,}5$ *км/час* при нормально влажной (спелой) почве и глубине вспашки 20—22 *см*;
$b = 1{,}40$; при этом по данным фактических замеров коэффициент использования ширины захвата $=1$;
$b_в = 4{,}55$ *м*;
$b_р = 4$ *м* при длине чека 25—50 *м* и 4,7 *м* — при длине >100 *м*;

$n_р = 3$ *м* при длине чека 25—50 *м* и 4 *м* при длине >100 *м*;

$l_р = 24$ *м* при длине чека 25—50 *м* и 31,4 *м* при длине >100 *м*;

$n_в = 3$;

$l_в = 10$ *м*;

$t_в = 0{,}0038$ часа для гусеничного и 0,0018 часа для колесного трактора.

Результаты сравнительных подсчетов, сделанных по этим формулам, представлены в таблице 59.

Таблица 59

Затраты времени в часах на вспашку 1 *га* нетто рисового поля. Тракторы ДТ-54А и колесный такой же мощности. Плуг ПН-4-35. Почва спелая

Расстояние между поперечными валиками	Работа внутри чека			Работа вдоль карты с переходом через валики	
	Работа вдоль карты	Работа вдоль длинной стороны чека			
		один продольный валик	без продольного валика		
	гусеничный трактор				колесный трактор
25	3,17	1,81	1,57	3,02	2,33
50	2,14	1,81	1,57	2,08	1,78
100	1,81	1,81	1,57	1,69	1,55
150	1,64	1,64	1,57	1,57	1,47
200	1,57	1,57	1,57	1,50	1,44

В производственных условиях поверхность рисового поля пашут не по схеме *1* (рис. 60), а по схемам *2* и *3*, т. е. загонки располагают вдоль длинной стороны чека. В этом случае только при расстоянии между поперечными валиками 200 *м* работа с переходом через валики более производительна, чем внутри чека. Но такие большие чеки на краснодарских системах единичны. При средних размерах чеков в процессе вспашки одной карты необходимо сделать от 1,6 до 4 тыс. переездов через валики. Каждый из них требует от тракториста большого напряжения, ведет к снижению производительности и преждевременному износу трактора.

Трудности, возникающие при ежегодном разрушении и восстановлении поперечных валиков, а также при работе с переходом через них, привели к тому, что на рисовых системах Краснодарского края все основные тракторные работы ведут внутри чеков.

Колесный трактор дает более высокую производительность при работе вдоль всей карты.

Весьма своеобразно решили вопрос о порядке использования сельскохозяйственной техники рисоводы Приморского края. В условиях края обилие атмосферных осадков и тяжелые почвы не позволяют осушить рисовые поля до такого состояния, при котором возможна работа автотранспорта. В связи с этим там предложена организация работ под названием «Новая рисовая карта», при которой автотранспорт движется только по дорогам, специально устраиваемым вдоль каждой карты. Все сельскохозяйственные работы ведут только поперек карты от оросителя к сбросу и обратно. Ширину карты увязывают с возможностью заправки сеялки зерном и разгрузки наполненных бункеров комбайнов на дороге. Ориентируясь на получение высоких урожаев, ширину карты рекомендуется принимать от 200 до 250 *м*. В связи с тем что работу ведут поперек карты, продольным валикам придается переходимый профиль. Карты в Приморском крае расположены под углом к горизонталям, поэтому здесь бывает от двух до четырех валиков на каждой карте. При работе на коротком гоне поперек карты, с переходом при этом через несколько валиков, производительность сельскохозяйственных машин невелика. Поэтому порядок использования машин, принятый в Приморском крае, также неполностью себя оправдывает.

В Узбекистане, за исключением вновь строящихся рисовых совхозов в низовьях Аму-Дарьи, рис сеют на небольших участках. Это несколько карт, обычно неправильной формы, с очень малыми чеками (0,02 *га* и меньше). На этих участках механизирована только пахота, ежегодная нарезка временных валиков, доделываемых затем вручную, и молотьба молотилками или комбайнами на стационаре. Для планировки по воде используют тягу животных. Сев, прополку и уборку выполняют вручную. Почти вся площадь рисовых полей Узбекистана нуждается в капитальном переустройстве, укрупнении карт и планировке. Во вновь строящихся рисосовхозах проектируют инженерную оросительную

систему с картами правильной формы и чеками крупных размеров.

Из приведенного обзора и данных о производительности трактора на вспашке, приведенных в таблице 59, следует, что при наличии современных сельхозмашин, базирующихся на тракторе ДТ-54, работы по обработке почвы рисовых полей наиболее целесообразно вести внутри чека, с условием, чтобы одна из сторон чека была не менее 150—200 *м*. Площадь чека при этом не должна быть меньше 0,5 *га*. Отдельные операции могут выполняться и по всей карте в целом.

При работе с переездом через постоянные неразрушаемые валики площадь отдельных чеков может быть снижена до 0,4 *га*. А в случае ежегодного разрушения и последующего их устройства допускается площадь чека 0,25 *га*.

Таблица 60

Площадь, занимаемая валиками, в гектарах на каждые 100 *га* рисового поля нетто при ширине карты 200 *м*

Число продольных валиков на карте	Расстояние между поперечными валиками, *м*				
	10	25	50	100	200
При поперечных валиках переходимого типа $m = 1:4$					
0	31,9	13,0	6,7	3,6	2,0
1	32,6	13,7	7,4	4,3	2,7
2	33,3	14,4	8,1	5,0	3,4
3	34,0	15,1	8,8	5,7	4,1
При поперечных валиках непереходимого типа $m = 1:1,5$					
0	14,6	6,2	3,4	2,0	1,3
1	15,3	6,9	4,1	2,7	2,0
2	16,0	7,6	4,8	3,4	2,7
3	16,7	8,3	5,5	4,1	3,4

Вопрос о рисовой внутрикартовой сети не может считаться окончательно решенным. Необходима разработка и испытание новых типов сельскохозяйственной техники, более соответствующей условиям рисовых полей. Вместе с тем следует продолжать дальнейшее усовершенствование самой рисовой внутрикартовой сети.

Валики не только затрудняют работу сельскохозяйственных машин, но и занимают значительную часть площади рисового поля (табл. 60).

При расстоянии между валиками 25 *м* пропадает более 10% площади; при расстоянии 100 *м* эта величина равна 3—5%; а при 200 *м* — не превышает 3%. В таблице 60 подсчет сделан в двух вариантах при поперечных валиках с откосами 1 : 4 и при обычных с откосами 1 : 1,5. Во втором случае площадь, отходящая под валики, почти в 2 раза меньше. Поэтому, после того как на кубанских системах окончательно была принята схема работы внутри чеков, поперечные валики здесь стали делать непереходимого профиля.

Для обеспечения возможности перехода трактора из чека в чек участки валиков на длине 10 *м* от каждого пересечения делают переходимого профиля.

Картовый ороситель

Вода для затопления рисовых чеков поступает через постоянный канал — картовый ороситель, который является последним звеном водопроводящей сети ирригационной системы. Так как термин «ороситель» не применяется ни к каким другим звеньям системы, то в дальнейшем не будем добавлять определение «картовый».

Оросители двухстороннего командования делают длиной во всю карту. В их конце устраивают водовыпуск для опорожнения. Оросители одностороннего командования могут быть не доведены до конца карты, а заканчиваются водовыпуском в последний чек, который в случае необходимости служит для опорожнения. Оросители делают прямолинейными в плане, и лишь при особо неблагоприятном рельефе допускают углы не менее 120°. Внутренние и внешние откосы валов оросителя и их ширину по верху назначают в зависимости от характера грунтов по существующим нормам. При этом следует учитывать, что нижняя часть обоих откосов вала оросителя, примыкающего к затоплен-

ному чеку, в течение всего оросительного периода находится под слоем воды.

Все карты данного поля севооборота не могут быть засеяны в один день. Следовательно, и затопление их не может быть начато одновременно. Затопление риса по всему распределителю может продолжаться 15—20 дней. А затопление отдельных карт желательно заканчивать за 3—5 суток. Пропускную способность оросителя и сооружений на распределителе последнего порядка определяют по расчетному расходу:

$$Q_р = K_в \frac{q_р \Omega_о}{\eta} \text{ л/сек}, \qquad (85)$$

где $q_р$ — ордината графика гидромодуля, соответствующая периоду создания слоя затопления на рисовых полях, *л/сек · га;*

Ω — площадь, подкомандная данному оросителю, *га*;

η — коэффициент полезного действия оросителя;

K — коэффициент водооборота;

$$K_в = \frac{\omega_р}{\omega_в}; \qquad (86)$$

здесь $\omega_р$ — вся площадь, подкомандная распределителю;

$\omega_в$ — площадь, поливаемая за данный такт водооборота.

На рисовых системах обычно применяется трехтактный водооборот. В проектах рисовых систем Краснодарского края принимается $\eta = 0{,}90$.

Командование горизонтов оросителя над орошаемой из него площадью проверяют по минимальному расходу воды в оросителе:

$$Q = \frac{q \Omega_о}{\eta} \text{ л/сек}; \qquad (87)$$

здесь q — ордината графика гидромодуля для периода поддержания слоя затопления.

Получающийся при таком расходе горизонт воды в оросителе должен быть выше средней отметки самого высокого чека на карте на 0,2 *м* из расчета создания слоя воды 0,15 *м* и перепада горизонтов на водовыпуске из оросителя в чек, равного 0,05 *м*. В период борьбы с сорняками-просянками на чеках создается слой затопления, равный 0,25 *м*. Поэтому горизонт воды при расчетном расходе в оросителе должен быть выше средней отметки того же чека на 0,3 *м*. Если одно из этих условий не выполнено, то на оросителе устраивают необходимое количество подпорных сооружений.

Картовый сброс

Вдоль каждой карты параллельно оросителю должен быть устроен картовый сбросной канал.

Воды, поступающие в картовый сброс, могут быть трех категорий: оросительные, атмосферные осадки и грунтовые. Оросительные воды поступают в сбросную сеть, когда частично понижается или полностью спускается слой затопления на чеках, а также при непрерывной проточности воды из оросителя через чеки в сброс. В этом случае атмосферные осадки, выпадающие в течение оросительного периода, дополняют существующую проточность и немедленно поступают в сбросную сеть, вызывая ее переполнение. Если орошение ведется без проточности, то шандоры в оголовке водовыпуска из чека в сброс ставят на 3—5 *см* выше уровня, поддерживаемого на чеках. Это дает возможность аккумулировать дожди порядка 30—50 *мм*, т. е. практически все дожди, кроме катастрофических ливней. В результате атмосферные осадки за оросительный период оказываются полезно использованными.

Рисовые поля в большинстве случаев располагают на участках с тяжелыми глинистыми и суглинистыми грунтами. В этих условиях дренирующая роль картовых сбросов распространяется на сравнительно небольшую часть ширины карты. Но приток фильтрационных вод в картовый сброс может быть значительным. В этом случае он создается путем фильтрации из нижних, более водопроницаемых горизонтов, находящихся под общим гидростатическим напором, создаваемым уровнем воды в оросительной сети.

Как было показано в главе о грунтовых водах, уже через 10 дней после осеннего сброса воды с чеков дно картового сбросного канала в условиях Кубанской

системы обсыхает. Дальнейшее понижение уровня грунтовых вод под картой происходит под влиянием группового сбросного канала и старших сбросных каналов, идущих на более низких отметках.

На Афипской рисовой системе, расположенной на весьма тяжелых глинистых грунтах, дно картовых сбросов в течение всего оросительного периода в ряде случаев остается сухим, хотя перепад горизонтов между дном сброса и уровнем воды в прилегающем к нему чеке превышает 1 *м*.

Поперечное сечение картового сброса определяют по максимальному расходу:

$$Q_р = q_{с.макс}\,\Omega_0\ л/сек, \qquad (88)$$

где $q_{с.макс}$ — максимальная ордината графика гидромодуля сброса, соответствующая периоду понижения горизонта воды в чеках во время кущения или осеннему сбросу воды с полей.

Для картового сброса определяют еще и минимальный расход:

$$Q_{мин} = q_{с.\,мин}\,\Omega_0\ л/сек, \qquad (89)$$

где $q_{с.мин}$ — минимальная расчетная ордината графика гидромодуля, соответствующая периоду поддержания слоя воды в чеках и учитывающая принимаемую степень проточности и фильтрационный отток в сбросную сеть.

Глубину картовых сбросов принимают не менее 0,7 *м*. Для заболоченных земель с высоким стоянием грунтовых вод и для участков, опасных по засолению, глубину картовых сбросов назначают по расчету. В обычных условиях горизонт воды, устанавливающийся в сбросе при $Q_{мин}$ должен быть не менее чем на 0,5 *м*, а для заболоченных и подверженных засолению земель на 0,7 *м* ниже поверхности земли самого низкого чека на обслуживаемой им карте или картах при двухсторонней схеме. При этом же минимальном расходе проверяют условия самотечного стока из картового сброса в групповой сбросной канал.

На Дальневосточной рисовой опытной станции, где особо остро стоит вопрос об осушении рисовых полей в

уборочный период, были изучены различные виды дренирования рисовой карты.

Опыты проводились со следующими вариантами.

1. Кротование с закладкой кротодрен через 1 *м* на глубине 0,4—0,5 *м*.

2. Закрытый трубчатый дренаж. Закрытые дрены закладывали поперек карты на длину 200 *м*. Их устраивали из отрезков асбестоцементных труб длиной 0,3—0,5 *м*, диаметром 100 *мм*. Стыки обматывали мешковиной и засыпали щебнем. Такие дрены закладывали через 40 *м* с уклоном $i=0{,}001$.

3. Закрытый трубчатый дренаж совместно с кротованием всей площади через 1 *м*.

4. Контроль — участок в его обычном состоянии.

После одного года эксплуатации кротодрены заплыли рыхлым грунтом. После второго года никаких следов кротодрен обнаружить не удалось. Дрены из асбестоцементных труб сохранились хорошо. Фильтрующая засыпка на стыках не заилилась. Забитыми илом оказались лишь небольшие участки в самом устье, так как во время вегетации картовый сброс был затоплен.

Через несколько дней после очистки устьев асбестоцементных дрен-собирателей был определен расход по дренам. По разным дренам он изменялся от 0,01 до 0,20 *л/сек*. В пересчете на гектар дренажный сток оказался в среднем равен 0,73 *мм/сут*. Но осадков здесь выпадает больше, чем их могут отвести трубчатые дрены, расположенные через 40 *м*. В сентябре среднесуточное количество осадков равно 3,9 *мм*, а в октябре — 1,25 *мм*. Внешний вид дренированного участка ничем не отличался от соседних, недренированных. На нем также имелись отдельные блюдца, заполненные водой. Определение влажности на различных вариантах, которое было проделано 12 октября, также подтвердило неэффективность дренажа (табл. 61).

Таблица 61

Влажность почвы (в%) по различным вариантам дренажа

Горизонты, *см*	Контроль без дренажа	Кротование	Закрытые трубчатые собиратели плюс кротование
0—10	37,7	40,8	40,3
10—20	38,2	42,3	42,5

Чтобы получить необходимый эффект на тяжелых рисовых почвах, трубчатые дрены должны быть заложены через 1—2 *м* одна от другой. Но это очень дорогое мероприятие.

На строящейся Пролетарской оросительной системе в Ростовской области, неблагополучной по условиям засоления, картовым сбросам, помимо отвода поверхностных вод, придана функция дрен. При расстоянии 200 *м*, обусловленном шириной карты, при схеме с односторонним командованием их глубина, определенная по известной формуле А. П. Костякова, оказалась более 2 *м*. Для суждения о целесообразности такого мероприятия желательно устроить здесь опытный участок с разной густотой и глубиной сбросов-дрен.

Карта Краснодарского типа

Карты могут быть различных типов. На рисунке 61 представлены некоторые типичные карты. На схеме *а* изображена так называемая полуинженерная карта. Этот тип карты распространен в США и других зарубежных странах, когда оросительную и сбросную сеть строит ирригационная компания, а валики и планировку выполняют сами фермеры. В этом случае валики располагают, придерживаясь направления горизонталей.

На схеме *б* представлен тип внутрикартовой планировки, применяемой в Приморском крае. Постоянные продольные валики делают вдоль карты параллельно оросителю. Рекомендуется иметь четное количество полос и одинаковую ширину смежных полос, образованных продольными валиками, так как в этом случае облегчается разбивка поля на загонки для производства тракторных работ. Так как в Приморском крае картовые оросители делают под углом к горизонталям, то и продольные, и поперечные валики из условия минимума планировочных работ устраивают на близких расстояниях друг от друга. Чеки получаются небольшой площади — 0,25 *га* и ниже.

Тридцатилетний опыт возделывания риса на Кубани показал, что современному уровню развития сельскохозяйственной и строительной техники наиболее соответствует так называемая карта Краснодарского типа. По

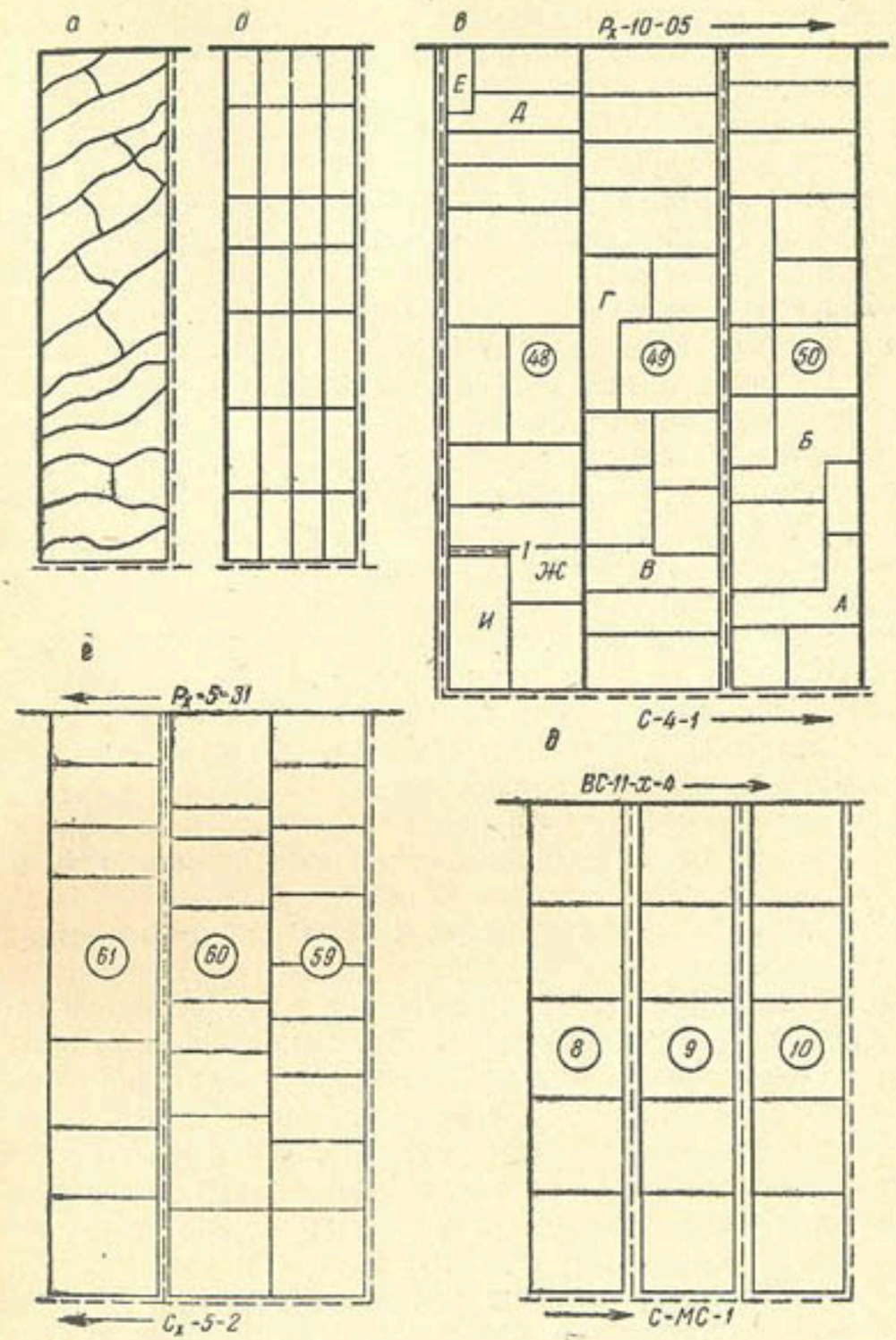


Рис. 61. Схемы карт различной конструкции:

а—карта полуинженерного типа; *б*—карта, рекомендуемая Приморским краевым управлением сельского хозяйства; *в*—карты 48, 49 и 50 по распределителю Рх-10-05 на Петровско-Анастасиевской системе Краснодарского края; *г*—карты 59, 60 и 61 по распределителю Рх-5-31 на Афипской системе Краснодарского края; *д*—карты 8, 9 и 10 по распределителю ВС-11-Х-4 на Веселовской системе Ростовской области.

мере накопления опыта и оснащения рисового хозяйства более мощными машинами и механизмами отдельные узлы карты подвергались изменению и дальнейшему совершенствованию. Однако принципы, положенные в основу ее проектирования, остались неизменными. Они сводятся к следующему.

1. Для строительства рисовой оросительной системы выбирают территорию с «рисовым», равнинным, малоуклонным рельефом.

2. Карту располагают по направлению основного уклона местности, перпендикулярно к горизонталям.

3. Оросители, как правило, проектируют двухстороннего командования.

4. Вдоль каждой карты со стороны, противоположной оросителю, идет картовый сбросной канал, предназначенный в основном для отвода поверхностных вод. На площадях, неблагополучных по солевому режиму, ему придается функция дрены, в связи с чем глубина соответственно увеличивается.

5. Ширина карты обычно 200 *м*. В зависимости от рельефа она может быть от 150 до 250 *м*. Длина карты от 700 до 1500 *м*. Площадь карты от 10 до 35 *га*.

6. Чеки, как правило, «сквозные»— поперек карты от оросителя к сбросу. При неблагоприятном рельефе допускается не более одного продольного валика, т. е. цепочка не более чем из двух чеков.

7. Площадь чеков не менее 1 *га*. В среднем площадь чеков 2 *га*.

8. Планировка поверхности чеков с точностью ±5 *см*.

9. Сельскохозяйственные работы ведутся внутри чеков, в связи с чем одна из сторон чека должна быть 150—200 *м*, а ширина чека не менее 40 *м*.

10. Продольные и поперечные валики постоянные непереходимого типа. В местах примыкания поперечных валиков к дамбе оросителя к валику вдоль картового сброса и продольному валику внутри карты, если он имеется, на длине 10 *м* от места примыкания поперечному валику придается «переходимый» профиль с откосами не менее 1 : 4.

11. Вода из оросителя в чеки, из чеков в картовый сброс и из чека в чек, в случае устройства цепочки чеков, поступает через постоянные сооружения с затворами шандорного типа.

На рисунке 61 *в*, *г* и *д* приведены схемы нескольких типичных карт, построенных на существующих рисовых системах Краснодарского края и Ростовской области. Несмотря на то что на карте 50 распределителя Рх-10-0-5 Петровско-Анастасиевской системы (рис. 61, *в*) площади чеков получились довольно большими, карта в целом запроектирована неудачно. Так, чек *А* имеет Г-образную, а чек *Б* — еще более сложную форму. Сельскохозяйственные работы вести на таких чеках неудобно. Более чем на половине длины карты имеется внутренний продольный валик, что приводит к подаче воды по цепочке. Ширина карты очень большая — 280 *м*. За счет ее уменьшения можно было бы почти полностью ликвидировать продольные валики, придав одновременно получающимся при этом сквозным чекам правильную конфигурацию. Аналогичные недостатки имеют чеки *В*, *Г*, *Д* и *Е* на картах 49 и 48. Отметка чека *Ж* равна 1,61, а соседнего *И* — 1,75. Поэтому для обеспечения спуска с него воды между двумя валиками устроена внутрикартовая сбросная канавка 1—1.

Карты 59, 60 и 61 на распределителе Рх-5-3 на Афипской системе (рис. 61, *е*) более поздней проектировки не имеют этих недостатков. Вследствие малого уклона вдоль карты площадь многих чеков здесь превышает 3 *га*. На карте 61 чеки *К* и *Л* разделены продольным валиком. Все остальные чеки сквозные.

На рисунке 61, *д* представлены карты *8*, *9* и *10* распределителя 11-Х-4 Пролетарской системы. Здесь благоприятный рельеф дал возможность площадь каждого чека довести до 4 *га*. Хотя условия рельефа вполне позволяют сделать карты двухстороннего командования, необходимость иметь густую сеть картовых сбросов-дрен для отвода засоленных грунтовых вод привела к тому, что все оросители и сбросы сделаны только одностороннего командования. Если участки с подобным рельефом не имеют засоления, то следует практиковать оросители и сбросы двухстороннего командования.

В настоящее время Кубанская рисовая опытная станция совместно с Краснодарским филиалом Гипросельхозстроя ведет подготовку к испытаниям в производственных условиях карты-чека, предложенной еще П. А. Витте. Ее располагают параллельно горизонталям и внутри карты не делают никаких валиков. Последним

звеном оросительной сети является групповой распределитель, а карта-чек, спланированная по всей длине под общую плоскость, затопляется путем переполнения картового сброса, идущего на всю ее длину. Такая схема имеет ряд очевидных преимуществ, а современная землеройная техника создает реальные условия для ее исполнения.

Глава XI

Оросительная и водоотводная сеть

Оросительная сеть

Инженерная рисовая оросительная система, как и всякая благоустроенная мелиоративная система, должна обеспечивать возможность двухстороннего регулирования режима почвенной влажности.

Оросительная сеть состоит из магистрального канала, забирающего воду из источника орошения и транспортирующего ее до водораспределительных узлов. От них начинаются распределители первого порядка. Крупные по расходам и протяженности распределители первого порядка иногда называют ветвями магистрального канала. Затем идут распределители второго и следующих порядков и, наконец, распределитель последнего порядка, или групповой распределитель, из которого получают воду картовые оросители. Желательно, чтобы площадь, подкомандная групповому распределителю, была равна целому полю севооборота. Оросительную и сбросную сеть проектируют одновременно с размещением полей севооборотов. Их границы совмещают с каналами, дорогами, лесополосами и пр.

Каждое хозяйство должно иметь свой самостоятельный водовыдел из канала старшего порядка и свой главный канал. Крупные хозяйства могут иметь несколько водовыделов. Распределители, подающие воду от магистрального канала до головы хозяйственного водовыдела, называются межхозяйственными. Каналы, разводящие воду по территории данного хозяйства, называются внутрихозяйственными или просто хозяйственными распределителями.

Ордината периода первоначального затопления рисового поля является расчетной. По ней определяют расход воды, по которому назначают размеры поперечного сечения каналов:

$$Q_р = \frac{q_р \Omega_р}{\eta}, \qquad (90)$$

где $q_р$ — ордината графика гидромодуля, соответствующая периоду создания слоя затопления, *л/сек, га;*

$\Omega_р$ — поливная площадь риса, обслуживаемая данным каналом, *га*;

η — коэффициент полезного действия системы данного канала.

Условия командования тех же каналов проверяют по минимальному расходу:

$$Q_{мин} = \frac{q\,\Omega_р}{\eta}\,л/сек, \qquad (91)$$

где q — ордината, соответствующая периоду поддержания слоя.

Кроме расчетного, может возникнуть необходимость пропуска по каналам форсированного расхода воды. По магистральному каналу и межхозяйственным распределителям форсированный расход потребуется пропускать в случае позднего начала сева из-за неблагоприятных климатических условий, когда нужно затопить рисовые поля в сроки, более короткие, чем расчетные, а также при сплошных посевах риса в первые годы освоения, до введения проектного плодосмена. Коэффициент форсировки ($K_ф$) принимают в зависимости от величины расчетного расхода. При $Q_р$ до 10 *м³/сек* $K_ф = 1{,}2—1{,}3$. При $Q_р$ свыше 10 *м³/сек* коэффициент форсировки понижают и принимают $K_ф = 1{,}15—1{,}2$. Форсированный расход равен:

$$Q_ф = K_ф \cdot Q_р\ л/сек. \qquad (92)$$

По форсированному расходу проверяют, имеют ли необходимое превышение дамбы над горизонтом воды в канале, а также пропускную способность сооружений.

На рисовой системе поперечные сечения всех каналов, кроме распределителей последнего порядка, назначают без учета водооборота. Введение водооборота на рисовой оросительной сети вызовет неоправданное увеличение ее пропускной способности: например, если в хозяйстве есть три поля риса и одно поле под неорошаемыми культурами, то при круглосуточной подаче на все поля севооборота, обычной и обязательной в период затопления рисовых полей, общий расход воды на хозяйство равен:

$$Q_{хоз} = \frac{q_р 3\Omega_{сев}}{\eta_{хоз}} \ л/сек \qquad (93)$$

и на каждое из полей севооборота:

$$Q_{сев} = \frac{q_р \Omega_{сев}}{\eta_{сев}}, \qquad (94)$$

где $\Omega_{сев}$ — площадь поля севооборота (предполагая их равными), *га;*

$\eta_{хоз}$ — к. п. д. внутрихозяйственной сети;

$\eta_{сев}$ — к. п. д. каналов, подающих воду на поле севооборота.

Если же будет введен водооборот между полями севооборота, то:

$$Q_{сев} = \frac{q_р \cdot 3_{сев}}{\eta_{сев}}, \qquad (95)$$

т. е. расход воды на поле севооборота увеличивается в 3 раза и делается равным всему расходу старшего канала. Следовательно, введение водооборота между полями не вызывается никакой хозяйственной необходимостью. Оно усложняет водопользование и требует большого увеличения пропускной способности каналов. При правильной эксплуатации сев должен начинаться одновременно на всех полях севооборота, занятых рисом.

Границу командования данного канала над орошаемой из него территорией, а также командование горизонтов воды в старших каналах над младшими определяют при расходах воды в них, соответствующих периоду поддержания слоя затопления. Границы территории, подкомандной данному каналу, находят исходя из необходимости создания на чеках слоя затопления глубиной 25 *см* для подавления сорняков. При этом учитывают потери напора в сооружениях, а также уклоны соответствующих каналов. Потери напора в сооружениях принимают в следующих размерах: а) в каждом сооружении на магистральном канале и крупных распределителях 10—20 *см*; б) в сооружениях на межхозяйственной сети 7—10 *см;* в) в сооружениях на внутрихозяйственной сети 5 *см*.

Уклоны для оросительных каналов устанавливают по расчету в зависимости от расходов воды в них и характера грунтов. Но они должны быть не менее 0,00005 для магистральных каналов и распределителей. Для оросителей и хозяйственных распределителей последнего порядка уклоны допускаются не менее 0,0001.

В случае, если горизонты воды в старшем канале не командуют над младшими, на старшем канале устраивают подпорные сооружения. Целесообразно объединить их в один узел с водовыпусками.

Если на небольшой участок, расположенный внутри контура системы, вода не может быть подана самотеком, его исключают из орошаемой площади и оставляют в виде так называемой выключки. В дальнейшем они могут быть использованы под усадьбы, многолетние насаждения, огороды и пр. Делать выключки менее одного гектара не рекомендуется. Их следует ликвидировать в процессе планировки.

Водоотводная сеть

Каналы водоотводной сети на рисовых системах выполняют различные функции.

Сбросная сеть отводит поверхностные сбросные воды с рисовых полей в вегетационный период, верхнюю часть грунтовых вод — по окончании затопления и воды местного стока — в межполивной период. Сбросная сеть состоит из картовых сбросов, внутрихозяйственных и межхозяйственных сбросных каналов различных порядков и главных или магистральных сбросных каналов. Последние, принимая в себя воду из межхозяйственных сбросов, отводят ее за пределы системы в водоприемник.

Дренажная сеть отводит грунтовые воды и понижает их уровень. Она состоит из дренажных каналов различных порядков и коллекторов. Дренажную сеть устраивают лишь в том случае, когда сбросная и оградительная сеть не могут обеспечить достаточное осушение рисовых полей. Ее устройство предусматривают также при возделывании риса на засоленных землях.

Оградительная сеть служит для перехвата фильтрационных вод и понижения их уровня. Ее устраивают для защиты полей рисовых севооборотов, не занятых в данную ротацию рисом, и других незатопляемых участков внутри рисовой оросительной системы (усадьбы, сады), а также прилегающих территорий.

Водосборные каналы ограждают территорию рисовой системы со стороны вышерасположенной водосборной площади от ливневых вод, которые могут попасть на систему.

Сбросные и оградительные каналы проектируют во всех случаях без исключения. Дренажные и водосборные — только там, где их необходимость обусловлена особенностями осваиваемой территории. Сбросную, оградительную и дренажную сети проектируют с таким расчетом, чтобы на каждом поле севооборота имелась возможность понижения грунтовых вод до нужного уровня независимо от водного режима на соседних площадях.

При расчете сбросной сети, помимо максимальной и минимальной ординат по графику гидромодуля сброса, устанавливают расчетные ординаты модуля ливневого стока с затопленных рисовых полей и с полей севооборота и других площадей, не занятых рисом.

При определении модуля ливневого стока с затопленных рисовых полей следует различать два случая. Если рис орошают при непрерывной проточности, то всякий, хотя бы и небольшой дождь вызовет соответствующее увеличение расходов воды в сбросной сети. Коэффициент поверхностного стока в этом случае должен быть принят равным единице. Если проточность не делается, то, при надлежащей установке шандор (см. главу VII), осадки порядка 30—50 *мм* полностью аккумулируются на чеках и в сброс не пойдут. Только часть осадков, превышающая эту величину, увеличит расходы воды в сбросной сети.

При расчете главных сбросных каналов, межхозяйственной и внутрихозяйственной сбросной сети определяют два вида расходов:

$$Q_р = q_{с.макс}\ \Omega_{рис}\ л/сек; \qquad (96)$$

$$Q_{лив} = q_{л.рис} \cdot \Omega_{рис} + q_{л.сух}\ \Omega_{сух}\ л/сек, \qquad (97)$$

где $q_{с.макс}$ — максимальный гидромодуль сброса;

$q_{л.рис}$ — модуль ливневого стока с затопленных рисовых полей;

$q_{л.сух}$ — модуль ливневого стока с не занятых рисом площадей;

$\Omega_{рис}$ — часть водосбросной площади данного канала, занятая рисом, *га*;

$\Omega_{сух}$ — часть водосбросной площади, занятая другими культурами, усадьбами и выключками, *га*.

По большему из расходов, определенных по формулам (96) и (97), устанавливают гидравлические элементы канала и определяют расчетные расходы в нем.

Кроме того, при расчете сбросной сети определяют минимальный расход воды в ней:

$$Q = q_{с\cdot мин}\ \Omega_{рис}, \qquad (98)$$

где $q_{с\cdot мин}$ — минимальный гидромодуль сброса.

Сбросные каналы всех порядков должны быть проверены также и на возможность пропуска по ним концевых расходов соответствующих звеньев оросительной сети.

Расчетные расходы в дренажных и оградительных каналах определяют по общим правилам, с учетом разности бьефов в дренажном канале и прилегающем рисовом поле или оросительном канале. При этом замечено, что после первых лет эксплуатации поступление фильтрационных вод в ограждающие каналы заметно сокращается (табл. 62).

Возможность самотечного сброса во всех звеньях водоотводной сети проверяют как при максимальных, так и при минимальных расходах воды. Горизонты в водоприемнике при этом берут наибольшие из числа возможных в соответствующий период. Уклоны картовых сбросов и хозяйственных сбросных каналов последнего порядка делают не менее 0,0001, а для всех других

Таблица 62

Изменение фильтрационного оттока в ограждающую сеть вдоль оросительных каналов (по П. К. Черепахину)

Канал и место наблюдений	Фильтрационный сток, $\frac{л/сек}{км}$ на 1 *м* напора					
	год	месяц	сток	год	месяц	сток
Магистральный канал у карты 0001	1939	VII	1,48	1945	VII	0,69
Левая ветка магистрального канала у узла № 3	1939	VII	4,68	1945	VII	2,66
Распределитель ОЛЗ . . .	1933	VII	13,20	1936	VII	2,16

каналов сбросной сети не менее 0,00005. Потери напора в сооружениях на сбросной сети принимают в размере 5 *см*, на всех звеньях, кроме главного сбросного канала. На нем потерю напора в сооружениях допускают 10 *см* и более. Условия поступления воды в водоотводную сеть должны быть особо тщательно проверены для времени весенних предпосевных работ и для периода уборки. Если самотечный сброс воды в водоприемник не обеспечивается, то для всей системы или для наиболее низко расположенных частей ее устраивают механическую откачку воды в водоприемник. Для этой цели, например, на Петровско-Анастасиевской системе Краснодарского края сооружено три сбросных насосных станции на общий расход 14 $м^3/сек$. Из них 1,6 $м^3/сек$ повторно используются для орошения. В проекте расширения Петровско-Анастасиевской системы предусматривается более широкое использование сбросных вод для орошения.

Несмотря на то что устройство разветвленной водоотводящей сети значительно увеличивает стоимость строительства рисовых систем, проектировать и строить такую сеть совершенно необходимо. Без водоотводящей сети быстро ухудшается мелиоративное состояние рисовых полей и окружающих территорий и в ряде случаев возделывание риса с применением современных машин и орудий становится невозможным.

При культуре риса на незасоленных землях, в целях уменьшения непроизводительных потерь оросительной воды, целесообразно все каналы водоотводной сети, идущие внутри затопленных рисовых полей, держать в

подпоре. Внешняя ограждающая сеть и каналы, отделяющие поля севооборота и в данную ротацию не занятые рисом, должны в течение всего оросительного периода обеспечивать свободный сток поступающих в них поверхностных и фильтрационных вод. На старших звеньях сбросной сети, принимающих воду из них, также не должно быть никаких подпоров.

Конструктивные вопросы

На рисовых оросительных системах конструкцию каналов оросительной и водоотводной сети, заложение внутренних и внешних откосов, допустимые скорости течения, ширину валов по верху и величину сухого запаса в них принимают по нормативам, общим для всех оросительных систем.

При устройстве оросительных каналов на рисовом поле нельзя оставлять резервы. Целесообразно одновременно с проектом канала выдавать проект планировки прилегающих карт, чтобы грунт поступал сразу для образования подушки или валов канала в процессе выполнения срезок при планировочных работах. Такой порядок производства принят на строительстве рисовых оросительных систем в Краснодарском крае и дал хорошие результаты. В случае закладки внешнего резерва на неорошаемой территории расстояние между подошвой внешнего откоса канала и бровкой внешнего резерва при глубине резерва до 0,5 *м* должно быть не менее 1,5 *м*, а при глубине до 1 *м* — не менее 3 *м*. Резерв, идущий по неорошаемой территории, целесообразно совместить с ограждающим эту территорию водоотводным каналом.

В крупных оросительных каналах, имеющих достаточную ширину, целесообразно закладывать внутренние резервы в дне канала. В донном резерве через каждые 200—300 *м* должны быть оставлены перемычки шириной не менее 2—3 *м*. Это будет способствовать оседанию ила и исключает опасность размывов. В местах, где должны быть построены гидротехнические сооружения, оставляют перемычки с отметкой проектного дна канала в этом месте. Длину перемычки принимают не менее 30 *м* в каждую сторону от створа сооружения. Проекти-

рованию донных резервов должны предшествовать детальные геологические изыскания по всей трассе канала. Обычно верхние горизонты грунта на рисовых системах водонепроницаемы. Но на некоторой глубине нередко залегают грунты водопроницаемые. Нельзя допускать, чтобы донный резерв прорезал всю водоупорную толщу и входил в водопроницаемый слой. Это вызовет резкое увеличение потерь воды на фильтрацию из канала и ухудшит режим грунтовых вод на системе. Устраивать донные резервы на картовых оросителях не следует, так как это приведет к неоправданному увеличению их ширины и ухудшению коэффициента земельного использования.

Ширину бермы от бровки сбросного канала до подошвы кавальера (отвала) принимают в зависимости от категории каналов и их глубины (табл. 63).

Таблица 63

Ширина бермы (в *м*) от бровки сбросного канала до подошвы кавальера

Категория каналов	Глубина каналов	
	менее 3 *м*	более 3 *м*
Главный сбросной канал	4,0	5,0
Сброс I порядка	3,0	4,0
Сброс II порядка	2,5	3,0
Сброс III порядка	2,0	2,5

Ширину бермы между различными элементами оросительной сети, картовыми и внутрихозяйственными сбросами принимают по таблице 64.

Таблица 64

Ширина бермы между бровкой сбросного канала и подошвой насыпи (в *м*)

Элементы сети	Картовый сброс	Внутрихозяйственный сброс
Чековый валик	Не < 1,0	По расчету, но не < 1,5
Картовый ороситель . .	Не < 1,5	» » но не < 2,5
Распределитель	Не < 3,0	» » но не < 3,0

Между более крупными оросительными и водоотводными каналами ширину бермы устанавливают по расчету. В том случае, если картовому сбросу придаются дренажные функции и он имеет глубину более 1 *м*, а также при устройстве донных резервов в оросительных каналах ширину бермы также проверяют расчетом.

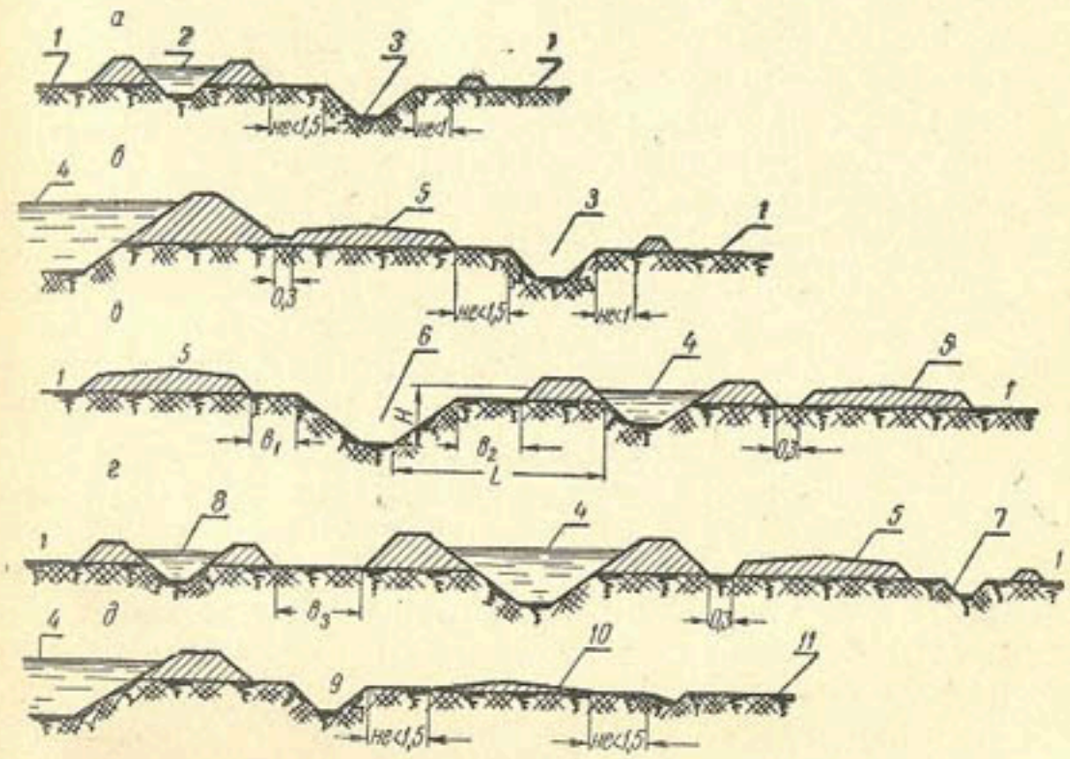


Рис. 62. Типовые сочетания элементов оросительной и сбросной сети

1—чек; *2*—ороситель; *3*—картовый сброс; *4*—распределитель; *5*—дорога; *6*—хозяйственный сброс; *7*—кювет; *8* — ороситель или распределитель; *9* — осушитель; *10*—профилированная дорога; *11*—неорошаемая территория.

Типовые сочетания элементов оросительной и сбросной сети приведены на рисунке 62. Значения ширины берм в случаях *а* и *б* берут по таблице 64. В случае *г*, когда ороситель и распределительный канал идут параллельно между подошвами их внутренних валов оставляют берму шириной не менее 3 *м*. При этом обязательно должна быть обеспечена возможность заезда на нее автотранспорта и землеройных машин на случай аварии или ремонта этих валов. Если на этой берме предполагается складирование наносов при очистке сочетаемых каналов, то ширину бермы в этом случае назначают исходя из количества наносов, которое может быть вынуто из каналов за 10 лет, но не менее 3 *м*.

Армирование

Гидротехнические сооружения, которыми армируется рисовая оросительная система, ничем принципиально не отличаются от аналогичных сооружений на других системах. Водовыпускные и регулирующие сооружения на рисовой карте имеют целый ряд особенностей.

В старых районах рисосеяния для выпуска воды из канала в чек, перепуска из чека в чек, а затем в сброс делают прокопы в валу оросителя и в валиках. Иногда для предохранения от размыва валы и валики покрывают хворостом и иным подручным материалом. В большинстве же случаев вода просто переливается тонким слоем. Такое положение возможно потому, что размеры чеков здесь весьма малы, а переливающаяся струя измеряется десятыми долями литра.

На современной инженерной системе при средней площади чека 2 *га* в период первоначального затопления на каждый чек должна быть дана струя воды примерно 15 *л/сек*. Выпуск таких струй через прокопы в валу оросителя означал бы создание серии очагов размыва по всей его длине. Поэтому непременное условие для карты инженерного типа — армирование постоянными сооружениями всех точек водоподачи.

На всех 50 тыс. *га* рисовых оросительных систем Краснодарского края оросители и чеки полностью армированы постоянными водовыпускными и регулирующими сооружениями. Здесь с первых лет их строительства и до настоящего времени сохранилась одна и та же принципиальная схема этих сооружений. Они представляют вариант «монаха», принятого в рыбоводных прудах. В первые годы эти водовыпуски были деревянными, кирпичными и из монолитного железобетона. В настоящее время оголовок делают из сборного железобетона (рис. 63, *а*). Входной оголовок делается в виде прямоугольного колодца. В стенке, обращенной к верхнему бьефу, имеется проем, заполняемый деревянными шандорами, вставляемыми в специально устроенные для этой цели пазы. Глубину приемного колодца, в зависимости от разности бьефов, принимают до 1,5 *м*. Сопряжение бьефов достигается укладкой трубчатой части водовыпуска горизонтально или с необходимым уклоном. Эту часть водовыпуска собирают из стандартных звеньев раструбных железобетонных труб или делают из асбестоцементных водопроводных труб диаметром 200 *мм*. В месте выхода в чек трубу заглубляют на столько, чтобы ее верхняя точка совпадала с поверхностью чека. На глубину, равную диаметру трубы, в чеке делают небольшой приямок, ограждаемый со стороны чека верти-

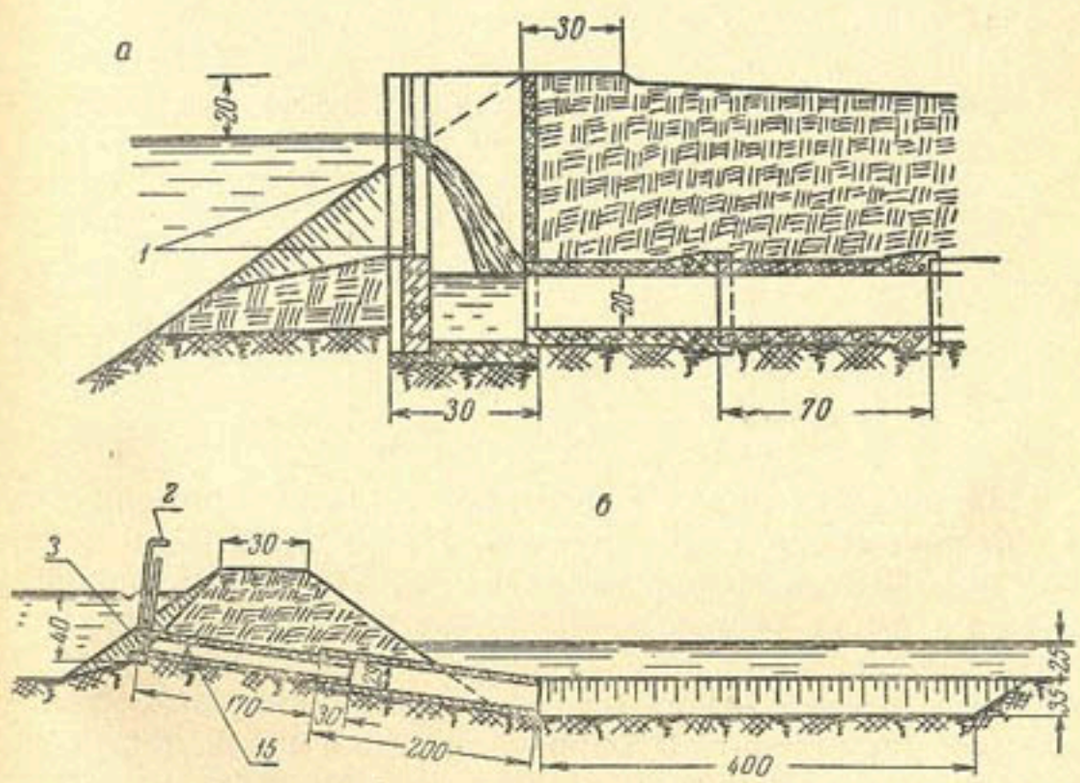


Рис. 63. Типовые водовыпуски из оросителя в чек:
а — конструкции Краснодарского филиала Росгипросельхозстроя; *б* — конструкции „Южгипроводхоза". *1* — шандоры, *2* — рычаг „хлопуши", *3* — затвор „хлопуши".

кальной стенкой, составленной из плит толщиной 50 *мм*. Если нет такого ограждения и труба выходит прямо на поверхность чека, то из нее бьет сильная струя воды, вызывающая размыв поверхности чека и причиняющая вред молодым растениям риса. Пропускную способность такого типового сооружения при длине трубы 2,8 *м* принимают по следующей таблице.

Перепад горизонта воды *z*, *см*	5	15	50	100
Максимальный расход *Q*, *л/сек*	18	36	60	90

В связи с тем, что максимальные расчетные расходы воды из оросителя в чек, из чека в чек и из чека в сброс одного и того же порядка, то конструкция водовыпуска во всех этих случаях остается постоянной. Только в зависимости от ширины вала или наличия дороги изменяется длина его трубчатой части (табл. 65). На очень больших чеках делают по два подающих и водоспускных сооружения.

Таблица 65

Пропускная способность типовых водовыпусков при длине трубы от 5,7 до 10 *м*

Длина трубчатой части, *м*	Перепад горизонта воды от—до, *м*	Максимальный расход, *л/сек*
5,7	5— 45	16—48
6,5	45— 75	45—67
10,0	75—100	58—65

На рисовых полях Ростовской области применяются водовыпуски иной конструкции. На рисунке 64, *б* показан водовыпуск из оросителя в чек. Трубчатый водовыпуск не имеет оголовка. Входное отверстие перекрыто металлическим диском *1*, закрепленным шарнирно в верхней точке. Рычаг *2* может приводить диск в наклонное положение. В образовавшуюся щель поступает вода в трубу. В эксплуатации такой тип затвора менее удобен, чем шандорный. Трубчатая часть здесь набирается из звеньев разного диаметра, телескопически расширяясь. В приямке на чеке ограждающая стенка не устраивается. Поэтому его величина намного больше, чем в водовыпуске Краснодарского типа.

Конструкция сооружений на карте требует дальнейшей разработки и рационализации. Каждое из этих сооружений небольшое по объему, но число их на системе очень велико.

Автоматизация водораспределения

Водораспределение на рисовой оросительной системе должно обеспечить не отдельные поливы со значительными перерывами между ними как при орошении

хлопчатника и других культур, а поддержание требуемых слоев затопления на рисовых чеках.

Поэтому регулировать следует не расходы воды, а горизонты воды в чеках и каналах, что существенно упрощает задачу и дает возможность полностью автоматизировать водораспределение на всей системе или той ее части, где рис является единственной орошаемой культурой.

Расход воды с рисового поля — величина сильно изменяющаяся (табл. 66).

Таблица 66

Водопотребление затопленного рисового поля (в *мм*) (КубРОС, 1959 г.)

Дни июля	15	16	17	18	19	20	20
Испарение + транспирация, *мм* . . .	12,7	5,8	5,7	2,4	4,9	9,0	14,1

В течение четырех дней — с 18 по 21 июля — суточное водопотребление с изменением погодных условий увеличилось более чем в 5 раз. Величины испарения и транспирации изменяются и в течение одних и тех же суток: днем они достигают наибольших величин, а ночью сходят к минимуму. Непрерывная подача воды на рисовые чеки по самой сути этого приема должна устанавливаться с запасом. Вся излишне поданная вода поступает в сбросную сеть. В результате в холодные дни сбросные каналы несут больше воды, чем в жаркие, а ночью больше, чем днем. При непрерывной подаче неизбежно происходят значительные перерасходы оросительной воды.

Поддержание заданных слоев затопления на рисовых чеках наиболее рационально можно осуществить автоматами поплавкового типа. Принципиальная схема автомата чрезвычайно проста (рис. 64). В дамбе оросителя закладывают асбестоцементную трубу, на которую со стороны чека прикрепляют автомат с дроссельным затвором. Ось затвора *1* жестко соединена с рычагом *3*, к которому с помощью шарнира *4* прикреплена вертикальная тяга *5*. Вверх и вниз по тяге может сво-

бодно перемещаться пустотелый поплавок *6*, положение которого на тяге фиксируется винтом с длинной ручкой *7*.

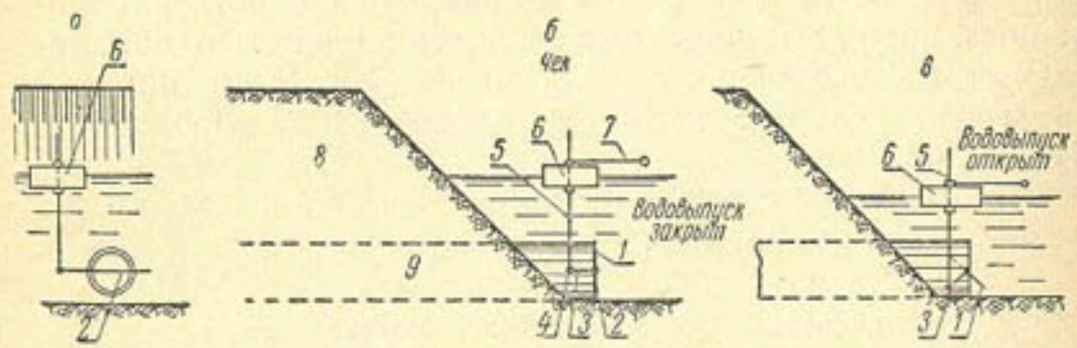


Рис. 64. Схема поплавкового водовыпуска-автомата системы Разоренова:

а—вид спереди; *б* и *в*—вид сбоку; *1*—дроссельный затвор; *2*—ось; *3*—рычаг; *4*—шарнир; *5*—тяга; *6*—поплавок; *7*—закрепляющий винт; *8*—ламба оросителя; *9*—асбестоцементная труба.

По мере подъема уровня воды на чеке поплавок поднимается, а заслонка, приходя в наклонное положение, уменьшает живое сечение. Когда уровень воды на чеке достигает заданной величины, заслонка перекрывает отверстие и подача воды на чек полностью прекращается. При уменьшении уровня воды поплавок опускается и заслонка открывается. Если необходимо изменить глубину слоя воды на чеке, поплавок при помощи винта *7* освобождают и закрепляют в новом положении. В отличие от большинства автоматизированных гидравлических затворов поплавковые автоматы этого типа поддерживают постоянный горизонт не в верхнем, а в нижнем бьефе.

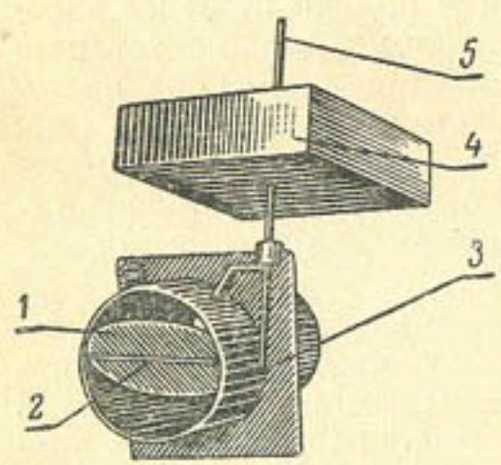


Рис. 65. Автомат-водовыпуск в сборе:

1—дроссельный затвор; *2*—ось затвора; *3*—шарнир, к которому прикреплена вертикальная тяга *5*; *4*—пустотелый поплавок.

В течение 1958 и 1959 гг. несколько автоматов этого типа было испытано нами на рисовом поле Кубанской рисовой опытной станции. Испытанию подверглись водовыпуски-автоматы из оросителя на чек и из чека в

чек. Один из них изображен на рисунке 65. Испытания показали хорошую работу автоматов, что ясно видно на графике (рис. 66). В оросителе горизонты воды за время наблюдений колебались от 70 до 48 см, т. е. в пределах 22 *см*. За то же время при заданном горизонте

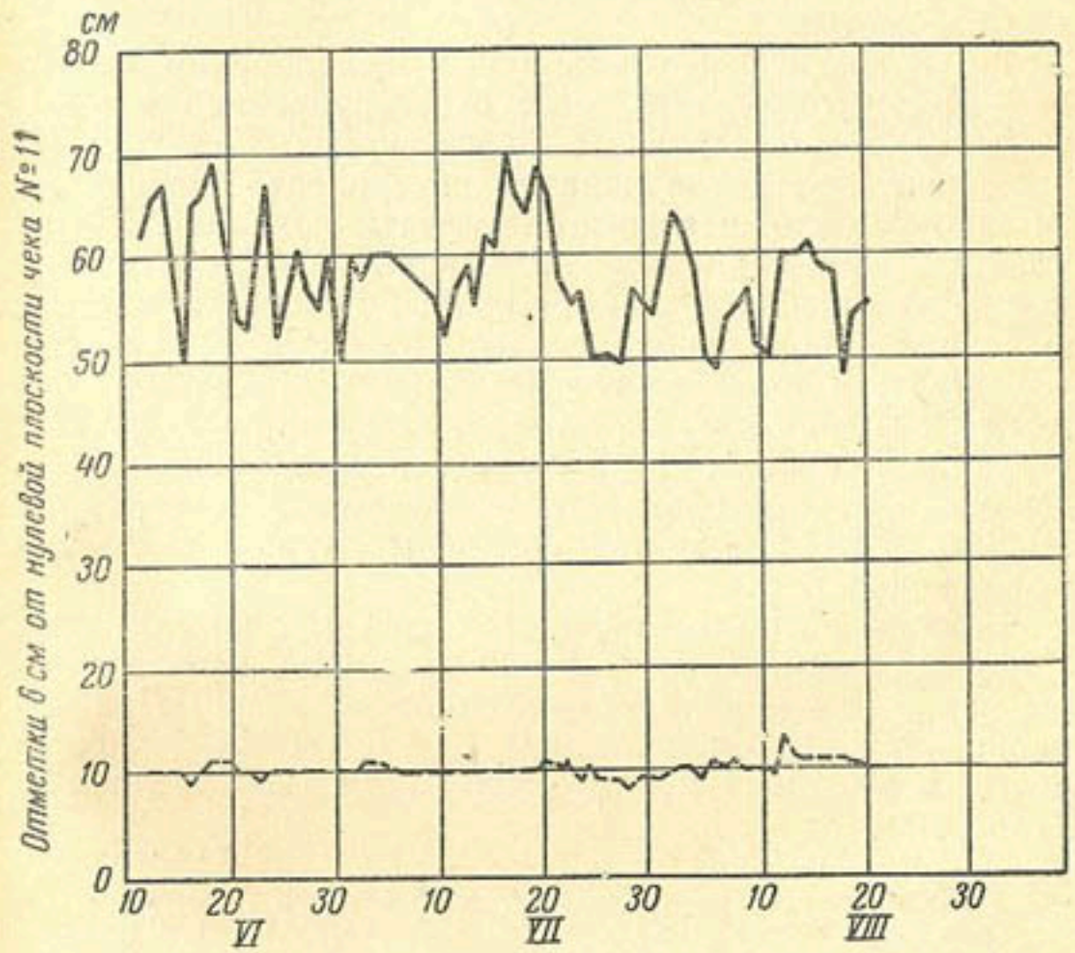


Рис. 66. График горизонтов воды в оросителе и на чеке, оборудованном водовыпуском-автоматом (КубРОС, 1959 г.).

10 *см* автомат поддерживал постоянный слой затопления с колебаниями от 9 до 11 *см*, т. е. в пределах ± 1 *см*. Повышение горизонта воды на 3 *см* наблюдалось один раз вследствие защемления затвором пучка выполотых сорняков. По мере повышения горизонта воды в чеке подъемная сила поплавка возрастала и трава еще плотнее зажималась в затворе, а вода через него продолжала поступать. Для устранения неисправности оказалось достаточным нажать на поплавок.

Затвор открылся, и током воды трава была вынесена.

Следует отметить, что даже в условиях опытной станции квалифицированные поливальщики никогда не обеспечивали такого точного и устойчивого водного режима на чеках, какой был создан в результате применения автоматов.

По аналогичному принципу Краснодарским филиалом Гидросельхозстроя было сконструировано и испытано несколько вариантов более крупных автоматов, предназначенных для каналов внутрихозяйственной сети. Однако положительные результаты пока получить не удалось. При наклонном положении затвора в суженной части сечения создаются большие скорости, которые вызывают понижение гидродинамических давлений. В результате происходит самозахлопывание затвора, ведущее к гидравлическому удару, деформирующему конструкции автомата. В результате исследований, проведенных в лаборатории Новочеркасского инженерно-мелиоративного института, намечены пути преодоления этих трудностей.

Каналы автоматизированных систем должны иметь горизонтальные валы, чтобы не допустить перелива воды через них при прекращении водоразбора. При рациональном проектировании с учетом особенностей рельефа объемы работы при этом не увеличатся (табл. 67).

Таблица 67

Показатели по внутрихозяйственной сети на Афипской оросительной системе Краснодарского края (по В. П. Баских)

Элементы внутрихозяйственной сети	Единица измерения	Неавтоматизированные участки				Автоматизированный участок Рх-5-3
		Рх-1-2	Рх-3-1	Рх-5-1	в среднем	
Площадь	*га*	733	655	637	—	717
Распределитель . . .	*пог. м/га*	10	12	19	13,7	12
Ороситель	»	35	43	37	38,3	37
Объем работ по сети	*м³/га*	405	515	480	466,7	450

В то же время на межхозяйственной сети, где на более крупных каналах подпорные сооружения расположены намного дальше одного от другого, возникает необходимость значительного повышения валов каналов и увеличения высоты всех гидротехнических сооружений. Поэтому для старших звеньев оросительной сети более рациональной оказывается телеавтоматизация, которая надлежащим маневрированием затворами обеспечивает постоянство уровней в верхних бьефах подпорных сооружений (табл. 68).

Таблица 68

Стоимость строительных работ (в тыс. руб.) **в связи с автоматизацией водораспределения на межхозяйственной сети Афипской рисовой оросительной системы** (по данным Росгипроводхоза)

Варианты	Виды работ			Сумма, тыс. руб.
	земляные	по сооружениям	устройство средств автоматики	
Поддержание постоянных уровней в нижних бьефах средствами гидроавтоматики	100	35	15	150
То же, в верхних бьефах средствами телеавтоматизации	—	—	30	30

Таким образом, наиболее рациональным оказывается комплексное решение задачи об автоматизации рисовой системы, при котором внутрихозяйственную сеть оборудуют поплавками-гидроавтоматами, а межхозяйственную — дистанционным телеуправлением.

В связи с оснащением рисовых оросительных систем поплавковыми автоматами возникают некоторые вопросы общего характера. Расход воды в систему в этом случае определяется поливальщиком и в конечном счете целиком зависит от уровня, на котором он установит поплавки в чековых водовыпусках. Каждой перестановке поплавка, т. е. каждому увеличению или уменьшению забора воды на чек, автоматически отвечает соответствующее изменение открытия всех сооружений вышележащего каскада. Это будет водопользование по требованию, доведенное от чека до головного сооружения и управляемое снизу вверх. Система начинает работать как водопровод, который обеспечивает в любое время забор воды любым потребителем в нужном для него количестве. Вследствие этого поплавковые автоматы от

чека до головного сооружения могут успешно работать лишь на системах со 100%-ным обеспечением в любой момент оросительного периода. Систему, не обеспеченную водой, нельзя оборудовать поплавковыми автоматами полностью, так как во время маловодья необходимо вести водопользование по жесткому графику. На таких рисовых системах следует, очевидно, сочетать плановое водопользование до голов хозяйственных распределителей с автоматизированным водораспределением в пределах хозяйства. Необходимо подчеркнуть, что введение такой автоматизации предполагает достаточно высокий уровень технической грамотности и сознательного отношения к делу всех водопользователей, так как от каждого из них зависит целесообразное или бесполезное расходование оросительной воды.

Применение поплавковых автоматов для поддержания уровня воды в чеках исключает потери воды, вызываемые изменением величины испарения и транспирации в разные дни и в течение суток, как это имеет место при орошении риса с непрерывной проточностью. Проточность воды, если в ней возникает необходимость, соответствующим понижением гребня шандоры на водовыпуске в сброс будет создаваться автоматически в строго заданном размере, независимо от изменения внешних условий. Это даст существенную экономию поливной воды.

Важное преимущество поплавковых автоматов состоит в том, что они работают с использованием колебания горизонтов воды и не нуждаются в источнике энергии, в подводке линий связи и электропередачи. Их можно установить в каждом чеке и оросителе, в то время как дистанционное телеуправление в его современном состоянии может быть доведено только до сравнительно небольшого числа основных водораспределительных узлов.

По мере дальнейшей разработки и практического внедрения конструкция автоматов будет изменяться и совершенствоваться. Общим принципом автоматизации водораспределения на рисовых оросительных системах должно быть поддержание заданных глубин затопления на рисовых чеках путем сочетания гидроавтоматизации на низших и телеуправления на старших звеньях оросительной сети.

Размеры оросительной системы и общая компоновка

Размеры вновь устраиваемой рисовой оросительной системы определяют плановым заданием и имеющимися водоземельными ресурсами. Кроме того, существуют некоторые общие принципы, которые необходимо иметь в виду при установлении площади и выборе конкретной территории для размещения на ней посевов риса.

Рисовые поля, длительное время покрытые слоем воды, создают серьезную угрозу подтопления и заболачивания прилегающих территорий. Как было сказано ранее (см. главу IV), после заполнения влагоемкости почвогрунта, при надлежащим образом устроенном подпоре горизонтов воды в сбросной сети, отток фильтрационных вод с затопленного рисового массива возможен только по его периметру. При этом с каждого гектара рисового поля после создания слоя затопления в среднем расходуется на фальтрацию бокового отока:

$$q_ф = \frac{P \cdot q_{фу}}{\Omega} = \frac{0.02}{\sqrt{\Omega}} \cdot \frac{1+\lambda}{\sqrt{\lambda}} \cdot q_{фу} \; л/сек \cdot га, \qquad (99)$$

где $q_ф$ — средний фильтрационный отток, *л/сек · га;*
P — периметр системы, *м*;
Ω — площадь системы, *га:*
λ — коэффициент формы — отношение сторон, предполагая систему в виде прямоугольника;
$q_{фу}$ — удельный фильтрационный расход на единицу длины периметра, *л/сек* на 1 *м*.

Несмотря на схематичность формулы (99), ею можно воспользоваться для выяснения некоторых зависимостей. Полагая $q_{фу} = 1$, определяем величину удельного периметра:

$$\frac{P}{\Omega} = \frac{0{,}02}{\sqrt{\omega}} \cdot \frac{1+\lambda}{\sqrt{\lambda}}.$$

На рисунке 67 дан ее график, который показывает, что при увеличении площади системы величина удельной фильтрации сначала быстро уменьшается, а затем этот процесс замедляется. Перелом кривой возникает при площади системы 200—250 *га*. Если площадь системы остается постоянной, а форма ее изменяется от квадра-

та до вытянутого прямоугольника с отношением сторон $\lambda = 1:10$, то удельный периметр, а значит, и фильтрационный боковой отток увеличиваются вдвое.

Если вместо одной большой оросительной системы устраивается много равновеликих ей по суммарной пло-

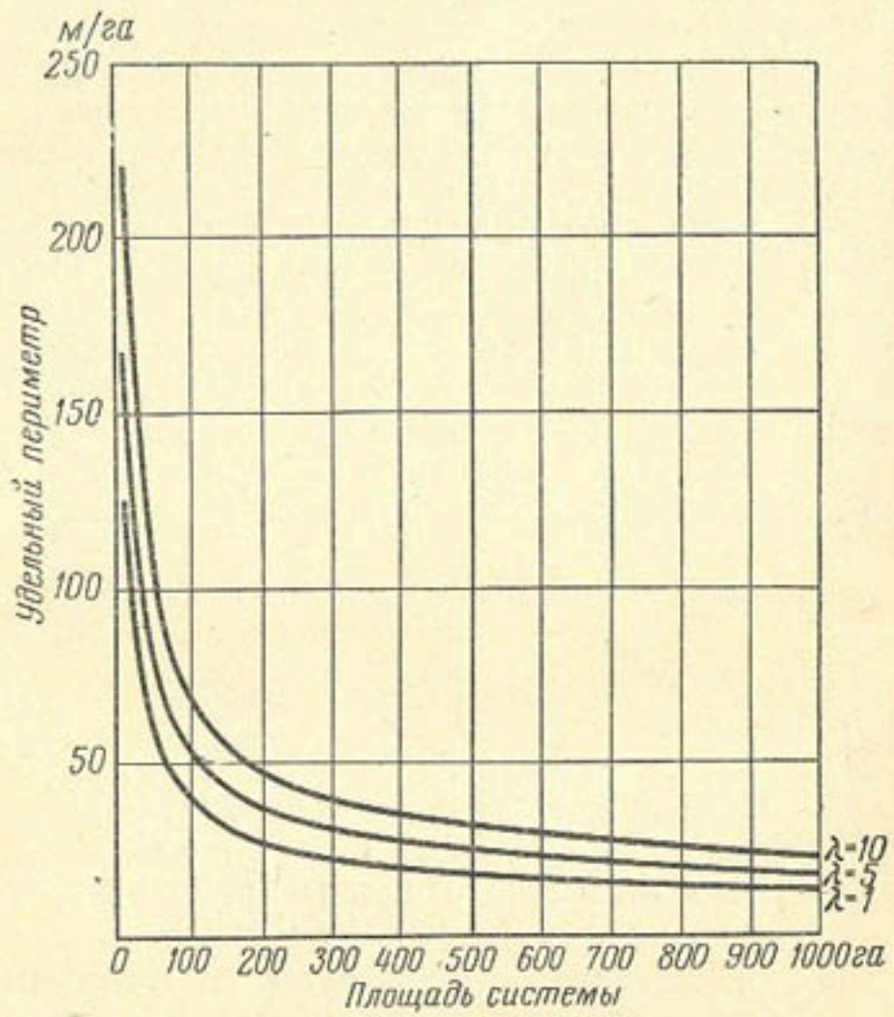


Рис. 67. График удельного периметра.

щади небольших рисовых участков, то вследствие большого удельного периметра $\left(\frac{P}{\Omega}\right)$ возрастает объем фильтрующейся с них воды и происходит подъем грунтовых вод, которые подпирают фильтрацию с рисовых полей и несколько ее уменьшают.

Как показали исследования, выполненные аспирантом Лю Чжен-да на кафедре мелиорации Московского гидромелиоративного института, это уменьшение фильт-

рации не может компенсировать того увеличения бокового оттока, которое вызывается возрастанием суммарной длины периметров всех участков. Следовательно, чем меньше площадь рисового участка, тем удельно больше будет боковой отток, тем больше будет оросительная норма. Поэтому нельзя устанавливать оросительные нормы путем замеров фактических расходов воды на небольших рисовых участках, особенно в случае проницаемых грунтов, так как этот метод дает заведомо преувеличенные результаты.

Длина оградительных каналов пропорциональна длине периметра системы. Устройство глубоких оградительных каналов вокруг небольших рисовых участков экономически совершенно нецелесообразно и обычно их не делают, что и приводит к заболачиванию соседних территорий. Изложенные соображения говорят о недопустимости устройства отдельных мелких рисовых участков.

Подтверждением сказанному может служить пример развития рисосеяния в Ростовской области. Первый посев затопляемого риса в послевоенные годы был проведен здесь выездной бригадой Кубанской рисовой опытной станции в 1952 г. [78]. Было засеяно 26 *га* в одном из колхозов области. Урожай оказался равным 55,4 *ц/га* в среднем. Началось энергичное строительство новых рисовых участков и вскоре общая площадь посевов риса по области достигла нескольких тысяч гектаров. Но хотя образование к этому времени крупных водохранилищ и строительство Донского, Азовского и Веселовского оросительных каналов создавало реальную возможность для широкого развития рисосеяния, возможность эта не была использована. Вместо крупных рисовых оросительных систем, подобных Кубанским, силами самих колхозов строились мелкие системки. Технические требования, особенно в части устройства сбросной и оградительной сети, во многих случаях не соблюдались. В результате, через несколько лет эксплуатации резко ухудшалось мелиоративное состояние не только территории орошаемого участка, но и значительно больших площадей вокруг него. Возделывание риса прекращалось, а системы забрасывались. К 1961 г. в Ростовской области снова было менее одной тысячи гектаров посевов риса.

Только в последние годы здесь начато строительство современных инженерных рисовых оросительных систем. Строящаяся Пролетарская система состоит из 11 самостоятельных участков, отделенных один от другого понижениями и оврагами. Такая компоновка обусловлена общим характером расчлененного рельефа. Но наличие, наряду с участками площадью в 1—3 тыс. *га*, отдельных участков вроде № 4, с площадью 165 *га* рисового севооборота, вряд ли может быть оправдано, особенно в Ростовской области, имеющей в этом отношении неудачный опыт. Пригодных для рисосеяния земель, расположенных крупными массивами, у нас вполне достаточно. Подобные мелкие участки ни с гидрологической, ни с организационно-хозяйственной точек зрения не могут быть оправданы.

Под рис обычно отводят пониженные площади с плоским, мульдообразным рельефом. В этих случаях типичной является «охватывающая» схема ирригационной сети, характеризуемая двумя ветвями магистрального канала, идущими по периметру, по наиболее высоким точкам орошаемого массива. В центральной части такого массива по наиболее низким отметкам трассируют главный сбросной канал. По такой «охватывающей» схеме запроектированы все три рисовые оросительные системы Краснодарского края. Если система располагается на территории равнинного характера, имеющей более-менее постоянный уклон в одну сторону, оросительная система получит «террасообразное» строение. В этом случае главный коллектор ограничивает систему по ее самым низким отметкам.

Наконец, при наличии водораздельного повышения внутри массива, магистральный канал трассируется по этому повышению, а водоотводные каналы охватывают массив с обеих его сторон. По такой схеме запроектирован наиболее крупный участок № 3 из Пролетарской системы в Ростовской области.

Рыборазведение

В древних районах рисосеяния, а также в Италии, рисовые поля широко используют для рыборазведения. Наиболее успешным оказывается разведение культурного карпа. На рисовых оросительных системах, предназначенных также и для выращивания рыбы, должны быть предусмотрены некоторые дополнительные устройства.

Так, в соответствии с намечаемым объемом рыборазведения одновременно с проектированием рисовой оросительной системы должно быть предусмотрено устройство специального прудового хозяйства. В его состав входят согревательные пруды, маточные, нерестовые, мальковые, карантинные, выростные и они же — зимовальные пруды. Если поблизости имеется специальное рыбоводческое хозяйство, то молодняк для зарыбления можно получать от этого хозяйства. В этом случае обязательно будет устройство только выростно-зимовальных и карантинных прудов [52, 70].

Все пруды должны иметь независимую подачу и сброс воды. Они должны быть полностью спускными. На дне пруда предусматривается устройство специальной осушительной сети. Основные данные по прудам приведены в таблице 69.

Таблица 69

Технические нормативы по устройству прудов рыбоводных питомников (по Ф. М. Суховерову)

Показатели	Единица измерения	Вид прудов				
		маточные	нерестовые	мальковые	выростно-зимовальные	карантинные
Глубина прудов у дамб . . .	*м*	1,0	0,5	0,6	1,0	0,8
Глубина осушительных канав на ложе пруда	»	0,4	0,4	0,4	0,5	0,4
Срок наполнения пруда, не более	сутки	1,0	0,3	2,0	20,0	0,5
Срок спуска пруда, не более	»	0,5	0,2	0,8	10,0	0,3
Проточность	*л/сек* на 1 *га*	1,0	3,0	1,0	1,0	20,0

В качестве выростных и зимовальных прудов могут быть использованы крупные водоотводные каналы достаточной глубины, на которых за счет притока грунтовых вод и в зимний период имеется сток.

На чеках, заселяемых рыбой, вдоль валиков следует устроить канавки глубиной 20—30 *см* и шириной 30—

50 *см*. В этих канавках рыба находит себе убежище при временных спусках воды на период кущения риса и в других случаях. Они же служат для сбора рыбы при осеннем осушении полей. На картах Краснодарского типа такие канавки целесообразно делать у валиков, идущих вдоль картового сброса.

Водовыпускные сооружения должны быть оборудованы решетками соответствующей густоты. На оросительных каналах и главном сбросном канале решетки ставят, чтобы не допустить заход на систему дикой хищной рыбы. На чеках и в сбросной сети решетки исключают возможность самовольного перемещения рыбы по нагульной площади и создают условия для обеспечения ее отлова.

При намечаемом широком развитии рисосеяния использованию рисовых полей для разведения ценных пород рыб должно быть уделено соответствующее внимание.

Глава XII

Хозяйственное оборудование и устройства

Дороги

Автодороги на рисовой оросительной системе различают по их назначению: межхозяйственные, внутрихозяйственные, полевые и эксплуатационные. Межхозяйственные дороги связывают центральную усадьбу данного хозяйства с административным центром, с железнодорожной станцией или пристанью, с центрами соседних хозяйств. В большинстве случаев нет необходимости строить дороги этой категории. Достаточно соорудить за счет сметы ирригационной системы участок дороги, связывающий центральную усадьбу хозяйства с проходящей поблизости дорогой общего пользования. Внутрихозяйственные дороги идут от центральной усадьбы к усадьбам отделений или бригад. Полевые дороги предназначены для перевозок, связанных с выполнением сельскохозяйственных работ.

Эксплуатационные дороги идут от усадьбы системного управления к эксплуатационным участкам, водораспределительным узлам и отдельным ответственным сооружениям, а также вдоль наиболее крупных каналов. Они предназначены для проведения систематического надзора за работой и состоянием системы, а также для перевозок, связанных с выполнением ремонтных и аварийных работ. Внутри системы эксплуатационные дороги совмещают с внутрихозяйственными и полевыми дорогами. Вне контура орошаемой территории их приходится трассировать специально. В большинстве случаев эта дорога проходит вдоль магистрального канала до головного сооружения и вдоль главного сбросного канала до водоприемника.

Дороги обычно устраивают трех типов: профилированные, насыпные без покрытия и насыпные с покрытием.

Профилированные дороги прокладывают только вне контуров рисовой оросительной системы. Все дороги, проходящие по орошаемой территории, как правило, делают насыпными. Исключение может быть допущено для районов с сухим и жарким климатом, где в период весеннепосевных и уборочных работ осадки почти не выпадают. Полотно дорог отсыпают одновременно с постройкой оросительных и сбросных каналов и планировочными работами. Объем грунта, потребного для отсыпки дороги, вводят в общий баланс земляных работ по чекам, вдоль которых она проходит. Лишь в исключительных случаях требуется подвозка грунта из резервов, расположенных вне контура системы.

Дороги с земляным полотном при большом грузонапряжении быстро выходят из строя в районах, где весной и особенно осенью во время уборки выпадают дожди. Здесь необходимо основные трассы, по которым будут вывозить урожаи, делать с покрытием. Простейший вид покрытия — гравийное.

Внутрихозяйственные и эксплуатационные дороги, а также участки межхозяйственных дорог, проходящие по территории системы, следует располагать вдоль крупных оросительных или сбросных каналов. Этим достигается экономия в полосах отчуждения и совмещение функций хозяйственных и эксплуатационных дорог.

Полевые дороги, как правило, располагают с двух торцов карты, т. е. вдоль распределителя последнего порядка и вдоль группового сброса. Этим обеспечивается возможность заезда на карту с двух сторон, что особенно важно в районах, где карты просыхают медленно и неравномерно. В местах съезда на карту отсыпают специальные пологие спуски. В пределах площади, обслуживаемой каждым распределителем младшего порядка, полевые дороги замыкаются в кольцо. Для этого вдоль картовых сбросов устраивают одну или две дополнительные дороги, обеспечивающие кратчайшую связь между полевыми дорогами. В районах с тяжелыми почвами и высоким стоянием уровня грунтовых вод, где период уборки риса совпадает с ненастной погодой, полевые дороги устраивают вдоль каждой карты, со стороны картового сброса. В этом случае пологие съезды отсыпают на каждый из чеков, прилегающих к дороге.

Ширину и высоту земляного полотна дорог принимают в зависимости от их назначения (табл. 70).

Таблица 70

Ширина и высота земляного полотна автодорог на рисовых оросительных системах

Наименование дорог	Ширина, *м*	Высота насыпного полотна, *м*
Межхозяйственные	6,5	0,6—0,8
Полевые и внутрихозяйственные	6,0	0,5—0,6
Полевые вдоль карт	4,5	0,5
Эксплуатационные	4,5	0,5

Дорогам, идущим вдоль оросительных каналов, придают двухскатный поперечный профиль. Между валом канала и дорогой обязательно должен быть устроен кювет или дренажный канал. Дороги, пролегающие вдоль сбросных каналов, как правило, также делают двухстороннего профиля. Если между дорогой и сбросным каналом при постройке или при последующей очистке канала отсыпают кавальер, то дороге придают односторонний скат в сторону поля.

Кюветы устраивают глубиной не менее 0,3 *м* и продольным уклоном не менее 0,0005. Проектную бровку насыпной дороги, идущей вдоль рисового поля, делают

параллельной поверхности соседнего чека. Сопряжение участков дороги, проходящей вдоль чеков с разными отметками, делают с уклоном не более 0,05. Высота насыпного полотна, указанная в таблице 70, может быть изменена в зависимости от свойств грунта и местных климатических условий. Поперечный уклон полотна принимают равным 0,05.

Мосты, трубы и иные водопропускные сооружения, дорожные знаки и пр. делают по общепринятым нормам.

Лесополосы

Особенности культуры риса и создаваемого ею гидрологического режима территории обусловливают некоторые специальные требования к лесопосадкам вдоль оросительной системы.

В условиях рисовой оросительной системы хорошие результаты дают все влаголюбивые древесные породы (ива, тополь и др.). Особенно успешно на Кубанской системе развивается тополь канадский (Populys deltoides March). Здесь также хорошо растут косточковые деревья (вишня, абрикос), давая низкорослую лесополосу. Дуб и грецкий орех в лесополосах росли очень медленно и в дальнейшем распространения не получили [53]. На дальневосточных рисовых оросительных системах лесополосы имеют следующий состав древесных пород (в процентах): ивы — 22,5; тополи — 19; клены — 15,1; ясень маньчжурский — 12,3; осина — 9; ильмы — 6,7; прочие породы — 15,4 [57].

Каналы Кубанской рисовой оросительной системы начали обсаживать деревьями с 1933 г., т. е. на третий год ее строительства. Особенно много лесонасаждений было сделано с 1935 по 1937 г. Посадки эти сохранились до настоящего времени. Результаты таксации типичных лесополос представлены в таблице 71. На каждой из полос было измерено от 75 до 250 деревьев.

В двухрядной полосе расстояние между рядами составляет 6 *м*.

Средний ежегодный прирост тополя канадского за 22 года по высоте составил 1,45 *м*, а по диаметру ствола 2—3 *см*. За тот же период на каждом километре полосы образовался запас стволовой древесины более

1500 $м^3$, а средний годовой прирост достиг 70 $м^3$ на 1 *км*. Таким образом, наряду с выполнением лесозащитных функций лесополосы на рисовых системах могут служить для производства древесины. Это особенно важно для южных, безлесных районов, где и располагаются главным образом рисовые оросительные системы.

Таблица 71

Таксационная характеристика лесополос на Кубанской рисовой оросительной системе, состоящих из тополя канадского
(по М. С. Родионову)

№ лесополосы	Возраст лесополосы, лет	Высота, *м*	Диаметр ствола, *см*		Диаметр проекции кроны, *м*		Количество рядов	Расстояние в ряду, *м*
			у основания	на высоте груди человека	вдоль ряда	поперек ряда		
1	5	8,4	21,3	15,2	2,6	3,5	1	2,7
2	6	11,0	27,3	20,1	3,6	4,0	1	4,3
3	11	13,2	27,0	22,5	3,8	4,8	1	3,4
4	12	22,5	49,5	41,1	7,3	8,6	1	4,0
5	22	31,8	58,0	50,0	5,5	12,2	2	4,0

Лесополосы уменьшают силу ветра и снижают волнобой на затопленных чеках, что очень важно для растений риса в период от затопления всходов до начала кущения.

Корневая система риса в это время развита еще слабо, и при волнобое рис легко выдергивается из почвы. Выдернутые и всплывшие растения ветер сгоняет к валику. По учету в Красноармейском рисосовхозе Краснодарского края, при скорости ветра 9 *м/сек* с чека площадью 0,56 *га* было вынесено на валик 123 256 растений риса, что на 1 $м^2$ рисового поля составляет от 22 до 31 растения риса. Это равно потере урожая по меньшей мере 4—5 *ц/га* [58].

Практически скорость ветра уменьшается на расстоянии, равном 10—15 высотам лесополосы, т. е. от 200 до 450 *м*.

На Кубанской рисовой опытной станции М. С. Родионовым и А. П. Джулай были проведены исследования по влиянию расстояния от рисового поля до лесополосы на урожай. Они говорят о существенном сни-

жении урожая вблизи лесополосы (рис. 68). В 50 *м* от лесополосы урожай повышается на 15—20%. Гораздо больший эффект для условий Приморского края отмечает Г. И. Подойницын.

Исследования А. П. Сметанина на Кубанской рисовой станции показали, что затенение посевов риса вблизи лесополос вызывает образование пустозерных колосков, что и является причиной резкого снижения урожая (табл. 72).

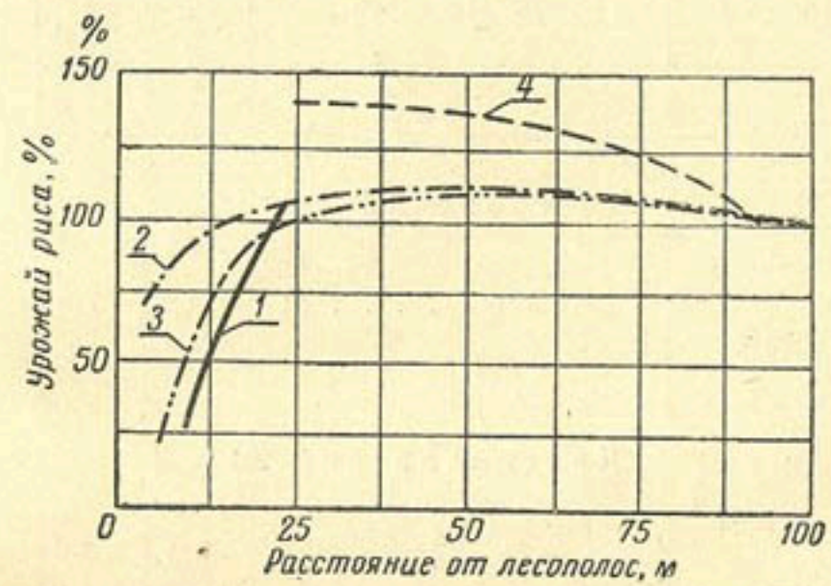


Рис. 68. Влияние лесополос на урожай риса:
1—Кубанская система (А. П. Джулай); *2*—Красноармейский рисосовхоз (М. С. Родионов); *3*—колхоз им. Ленина (М. С. Родионов); *4*—Приморский край (Г. И. Подойницын).

Лесополосы, расположенные с различной ориентацией относительно стран света, оказывают на урожай различное воздействие. Лесополосы, имеющие меридиальное направление, создают затенение в утренние и вечерние часы, и их отрицательное влияние сравнительно невелико. При широтном направлении лесополосы затеняют рисовое поле с 10—11 часов утра до 15—16 часов дня. Затенение в это время привело к резкому снижению урожая: по сорту Дубовский 129 — на 30% и по сорту Краснодарский 424 — на 64%. В связи с этим интересно отметить, что в Японии считается общепризнанной совершенная неспособность риса выносить затенение не только от лесов, расположенных вблизи полей, но и от дальних гор.

Высокорастущие лесополосы не должны располагаться ближе 25 *м* от посевов риса. Низкорастущие породы могут быть посажены ближе, но ветрозащитное воздействие их будет незначительным.

Таблица 72

Влияние на озерненность риса затенения посевов лесополосами

Вид лесополосы	Место отбора пробы	Число колосков на метелке		
		всего, шт.	в том числе пустозерных, %	продуктивность, процент от средней по чеку
	Дубовский 129			
Без лесополосы	В среднем по чеку без затенения	66,9	7,6	100,0
Меридиальная	С западной стороны . .	85,2	9,6	124,6
Широтная	С северной стороны . .	70,9	38,6	70,4
	Краснодарский 424			
Без лесополосы	В среднем по чеку без затенения	114,7	7,7	100,0
Меридиальная	С западной стороны . .	113,4	11,3	96,3
Широтная	С северной стороны . .	86,3	55,2	36,4

Затенение, создаваемое лесополосами, отрицательно сказывается на развитии риса, но оно угнетает и сорняки (табл. 73).

В каналах, обсаженных деревьями, сорняков развивается на 40% меньше, чем в открытых, и растения

Таблица 73

Влияние лесополос на развитие сорняков на дамбах каналов Кубанской рисовой оросительной системы
(по М. С. Роднонову)

Место наблюдений	Число растений на 1 $м^2$	Вес растений на 1 $м^2$, *г*
Без лесополосы	143	352
Под лесополосой	82	148
То же, %	61,1	42,3

сорняков значительно слабее. В результате общая масса сорной растительности, нарастающей на затененных каналах, оказывается почти на 60% меньше, чем на необсаженных. Это дает возможность поддерживать пропускную способность каналов при намного меньших затратах на скашивание и уборку сорняков.

Неудачное расположение лесополос ухудшает условия борьбы с клубнекамышом на рисовых полях с применением гербицидов, путем опрыскивания с самолета.

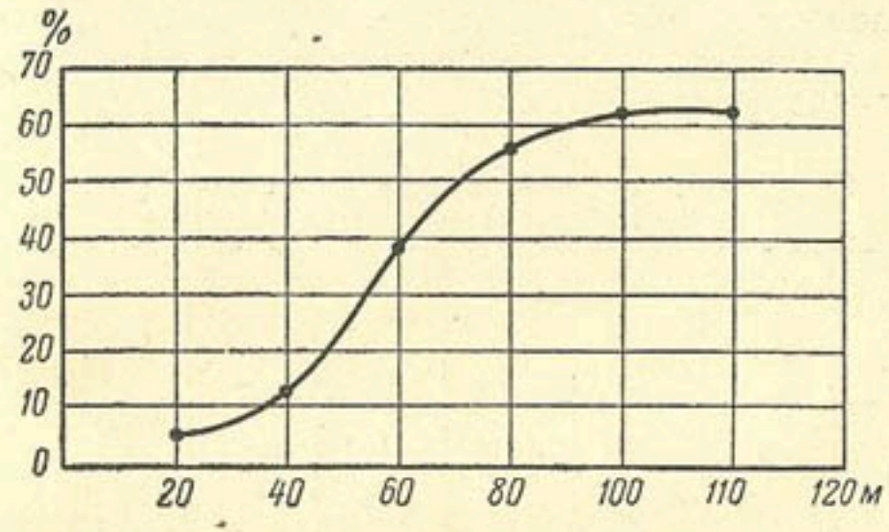


Рис. 69. Зависимость между расстоянием от поперечной лесополосы и процентом гибели клубнекамыша при авиаобработке (по данным В. К. Сапелкина).

Самолет в это время идет на высоте примерно 5 *м*, обрабатывая за один проход полосу шириной 30—35 *м*. Лесополосы на пути движения самолета сильно затрудняют его работу. После перехода через лесополосу высотой 20—30 *м* самолет снижается до нормальной рабочей высоты только в 100—150 *м* от нее. В результате эта полоса (100—150 *м*) остается без опрыскивания и сорняки не уничтожаются (рис. 69).

Лесополосы оказывают отрицательное влияние и при производстве широко применяемых на Кубани подкормок риса в период вегетации, выполняемых также средствами авиации.

На рисовых оросительных системах корневая система лесополосы всегда достаточно обеспечена влагой. Это создает условия для устойчивой транспирации и хорошей корреляции ее значений с температурами

воздуха. По исследованиям М. С. Родионова на Кубанской системе [58] выяснено, что в среднем

$$\text{транспирация тополя} - T_т = \frac{t^{2,735}}{11,53}\ мг/г \cdot час; \qquad (100)$$

$$\text{транспирация ивы} \quad - T_и = \frac{t^{2,442}}{3,284}\ мг/г \cdot час, \qquad (101)$$

где t — среднемесячная температура воздуха.

На основании определенного прироста сырой массы лесополосы и данных о температурах М. С. Родионовым сделан подсчет расхода воды на транспирацию для лесополос (табл. 74).

Таблица 74

Расход воды на транспирацию тополевых лесополос на Кубанской системе (в $м^3/км$)

№ лесополосы	Месяцы						В сумме за вегетационный период
	май	июнь	июль	август	сентябрь	октябрь	
1	469	1092	1319	1100	778	59	4 817
2	437	1019	1231	1026	728	55	4 494
3	646	1506	1830	1517	1074	82	6 646
4	1283	2988	3125	3611	2131	163	13 185
5	3381	7877	9518	7935	5617	429	34 757

Умеряя действие ветра, лесополосы снижают интенсивность испарения воды в чеке и с поверхности почвы. За вычетом испарения лесополосой на 1 *км* лесополосы № 5 получается экономия в расходе воды 76 тыс. $м^3$, или на гектар подзащитной площади около 340 $м^3$. При оросительной норме риса 17 тыс. $м^3$ брутто это составит всего 2%.

Более существенное значение могут иметь лесонасаждения как биологический дренаж вдоль границ рисовых оросительных систем и оросительных сбросных каналов. Исходя из степенной зависимости между расходом воды в канале и потерями воды из него на фильтрацию, число рядов в лесополосе, необходимое для перехвата потока фильтрационных вод, можно определить по формуле:

$$n = 0,005\,\frac{A\sqrt{Q}}{T}, \qquad (102)$$

n — число рядов в полосе с одной стороны канала;
Q — расход воды в канале, $м^3/сек$;
T — транспирация одного ряда полосы, $м^3/сек$;
A — коэффициент, зависящий от водопроницаемости грунта.

По данным САНИИРИ, для тяжелых почв $A = 1,15$, а для средних — 2,1. Двухрядная полоса № 5 из канадского тополя в возрасте 22 лет в летние месяцы в кубанских условиях транспирирует по 8 тыс. $м^3/км$. Для одного ряда это составит 4 тыс. $м^3$ за месяц, или 0,0015 $м^3/сек$. Подсчитанное по этим данным число рядов деревьев в полосе, необходимое для биологического дренажа, у различных каналов дано в таблице 75.

Таблица 75

Число рядов в лесополосе на одну сторону канала в зависимости от расхода воды в нем

Расход воды в канале, $м^3/сек$		0,1	0,5	1,0	5,0	10,0
Грунт	маловодопроницаемый, $A = 1,15$	1	3	4	9	12
	средневодопроницаемый, $A = 2,1$	2	5	7	16	22

Многорядная полоса, достигшая 10—15-летнего возраста, может перехватить значительную часть или даже весь поток фильтрационных вод, идущих как от канала, проложенного по неорошаемой территории, так и от самих рисовых полей. В последнем случае целесообразно по границам системы провести неглубокий оградительный канал, а за ним расположить многорядную лесополосу. Оградительный канал примет в себя поверхностный сброс и верхнюю часть грунтового потока, а нижняя часть фильтрационных вод будет перехвачена корневой системой древонасаждений. Со временем, по мере развития лесополос, их дренирующая роль будет неуклонно возрастать.

На основании изложенного можно сделать вывод, что роль лесополос на рисовой оросительной системе противоречива. Неудачно расположенные полосы

могут не только не дать ожидаемого от них эффекта, но и принести существенный ущерб. Поэтому лесополосы, как составная часть рисовой оросительной системы, должны быть запроектированы одновременно с нею.

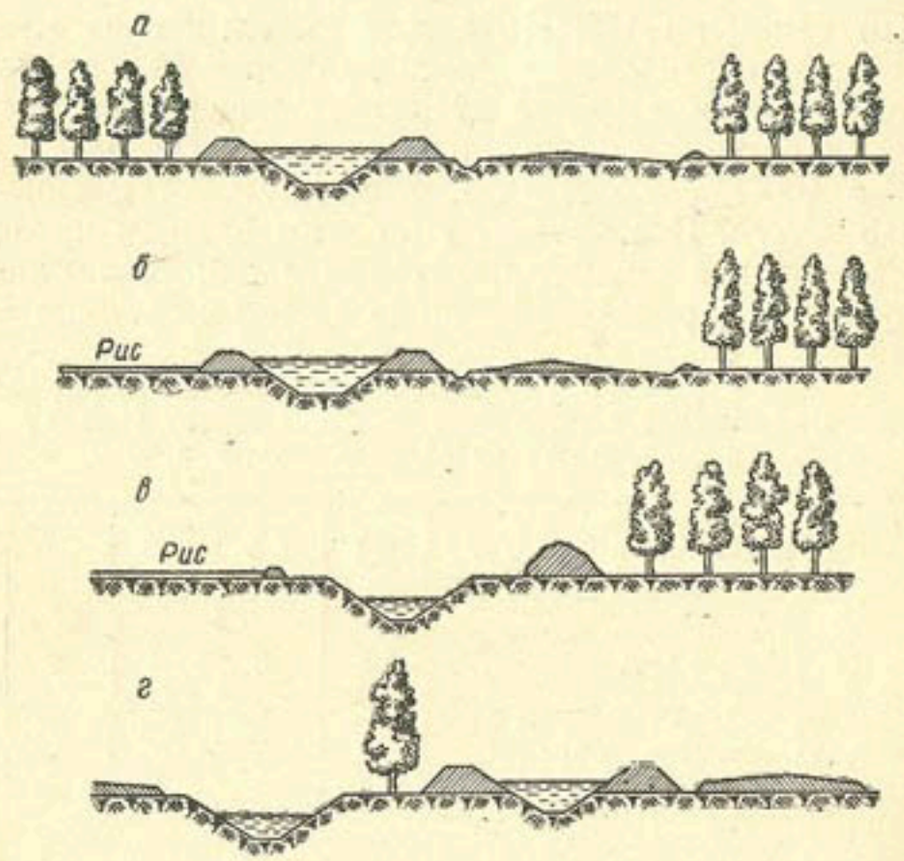


Рис. 70. Сочетание лесополос с элементами оросительной и сбросной сети:

а — многорядные лесополосы вдоль магистрального канала; *б* — многорядная лесополоса вдоль распределителя, идущего по границе рисового массива; *в* — многорядная лесополоса вдоль внешнего оградительного канала; *г* — однорядная лесополоса вдоль группового сброса и распределителя.

Вдоль холостой части магистрального канала, идущего по неорошаемой территории, многорядные лесополосы следует располагать с обеих его сторон (рис. 70, *а*). В районах с сухим климатом, где естественной влажности недостаточно для успешного развития лесопосадок, число рядов в лесополосах должно быть согласовано с размером фильтрационного потока, идущего от канала. Лесополосы этого типа выполняют роль биологического дренажа и, одновременно затеняя русло канала, уменьшают его зарастание и испарение

с водной поверхности. При устройстве лесополосы вдоль канала, идущего по границе системы, лесопосадки следует размещать только с одной стороны, внешней по отношению к системе (рис. 70, *б*). Многорядные лесополосы в целях биологического дренажа целесообразно также делать и по границам рисовых полей за бровкой ограждающего водоотводного канала (рис. 70, *в*). Подобным же образом можно оградить территорию усадеб, расположенных внутри или на границе рисового массива.

На территории самой рисовой оросительной системы лесополосы следует располагать по возможности в меридиальном или близком к нему направлении. Такие полосы мало затеняют рисовые поля. Во всех условиях высокоствольные лесопосадки должны располагаться от посевов риса на расстоянии не менее чем 25—30 *м*. Вдоль каналов, идущих в широтном направлении, лесопосадки желательно размещать только с их южной стороны. Каналы, идущие в меридиальном направлении, можно обсаживать с обеих сторон.

Недопустимо устройство лесопосадок «в клетку», так как в этом случае будет затруднена или вообще невозможна работа авиации по подкормке и опрыскиванию гербицидами.

Обсадку деревьями целесообразно начинать с распределителей последнего порядка, а также вдоль обслуживающих ту же территорию групповых сбросных каналов, а затем делать одно-двухрядные полосы вдоль всех каналов старших порядков. Оросители можно обсаживать деревьями только в том случае, если они идут в меридиальном направлении и размеры одной карты обеспечивают достаточный фронт работы для самолетов. Расположение однорядной лесополосы вдоль группового сброса и группового распределителя показано на рисунке 70, *г*. Посадки, устраиваемые по берегам каналов, не должны препятствовать передвижению и работе механизмов при ремонте и очистке каналов.

Наряду с созданием новых насаждений при проектировании и строительстве рисовой оросительной системы следует всемерно стремиться к сохранению существующих на ирригируемой территории лесополос и древонасаждений.

Хозяйственные усадьбы и эксплуатационные поселки

На рисовой оросительной системе в виде отдельного участка площадью от 200 до 1000 *га* обычно не требуется иметь какие-либо населенные пункты среди рисовых полей. Исключение могут составить бригадные станы, на которых живут только в период весеннепосевных и уборочных работ. При более крупных размерах рисовой системы может оказаться необходимым разместить в ее контурах усадьбы отделений и центральные усадьбы хозяйств.

Вопрос о рациональных размерах и организационной структуре рисосеющего хозяйства требует дальнейшего разрешения. Для примера рассмотрим размещение хозяйств на Кубанской рисовой системе. Вначале там было организовано три рисосовхоза: «Тиховский», «Ивановский» и «Красноармейский». Орошаемая площадь каждого из них была от 1900 до 2300 *га*. Кроме того, они имели по 1700—1800 *га* неорошаемых земель. Однако практика показала, что такие малые размеры хозяйства не вызываются технической необходимостью, а сами хозяйства нерентабельны. Три совхоза были объединены в один. В настоящее время созданный в результате этого объединения рисосовхоз «Красноармейский» обладает 6900 *га* орошаемых площадей и 8000 *га* неорошаемых. Центральная усадьба и усадьба отделений расположены на возвышенных участках (выключках), а также вблизи от внешних контуров системы на неорошаемых площадях.

Второй рисосовхоз в Краснодарском крае —«Славянский» организован на Петровско-Анастасиевской системе. Совхоз располагает 4388 *га* орошаемых земель и только 300 га суходольной пашни. При ежегодном посеве 2800—3000 *га* риса такого количества суходолов недостаточно для получения нормального соотношения отраслей хозяйства. Рисосовхоз работает по организованной схеме: центральная усадьба — бригада, т. е. без отделений. Центральная усадьба и суходольный клин расположены внутри основного массива Петровско-Анастасиевской системы. В центре ее сделана выключка размером 2×1,5 *км*. Здесь размещены жилые и производственные постройки, сад и небольшая площадь посевов суходольных культур. Эта площадь со всех четырех сторон окружена дренажными оградительными каналами.

Участки под полевые бригадные станы и усадьбы отделений, где они требуются, желательно располагать в центре обслуживаемых массивов, используя под них в первую очередь неподкомандные выключки.

Центральные усадьбы системных управлений, если поблизости имеются населенные пункты или центральная усадьба совхоза, следует располагать в общем комплексе застройки. Эксплуатационные жилые постройки на сети размещают у головных сооружений и крупных водораспределительных узлов. Кроме того, на сети строят помещения для дежурных. Эти постройки используют только в оросительный период.

Водоснабжение усадеб не должно быть связано с работой оросительных каналов, так как в этом случае придется пускать воду по сети круглый год. Непрекращающаяся фильтрация из каналов повлечет за собой подъем грунтовых вод и ухудшение общего мелиоративного состояния земельного фонда системы. Во избежание этого следует устраивать буровые скважины, колодцы или непересыхающие пруды.

Водомерные посты, линии связи и пр. на рисовых системах устраивают так же, как на оросительных системах, предназначенных для других культур. Поэтому эти вопросы здесь специально не рассматриваются.

Глава XIII

Укрупненные измерители

Стоимость

Данные полной средней стоимости сооружения рисовых оросительных систем приведены в таблице 76.

Кубанская система строилась в течение длительного времени, и сметные цены за это время изменялись. Поэтому показателями стоимости по Кубанской системе нельзя воспользоваться.

Таблица 76

Полная стоимость сооружения рисовых оросительных систем

Системы*	Полная стоимость, тыс. руб.	Площадь системы, *га*	Стоимость строительства 1 *га*, руб.
ПАОС	19920,0	23 012	868
АфОС	5677,4	7 500	756
Расширение ПАОС	12261,4	10 000	1226

* Здесь и всюду далее в таблицах введены сокращенные обозначения наименования систем: КубОС — Кубанская (Краснодарский край), ПАОС — Петровско-Анастасиевская (Краснодарский край), АфОС — Афипская (Краснодарский край), ПрОС — Пролетарская (Ростовская область) и СкОС — Скадовская (Херсонская область) — рисовые оросительные системы.

В таблице 77 приведены данные по стоимости отдельных элементов оросительной сети.

Таблица 77

Стоимость отдельных элементов рисовых оросительных систем (в руб. на 1 *га*)

Наименование	Системы	
	ПАОС	АфОС
Межхозяйственная сеть		
Межхозяйственная оросительная	46,6	20,2
» сбросная	46,8	24,0
Сооружения на межхозяйственной сети	41,2	22,7
	134,6	66,9
Внутрихозяйственная сеть		
Внутрихозяйственная оросительная	63,1	83,8
» сбросная	86,0	62,9
Сооружения на внутрихозяйственной сети	117,0	133,5
	266,1	280,2
Планировочные работы		
Вертикальная планировка и валики	187,0	131,8
Всего по внутрихозяйственной сети и планировке	453,1	412,0

Продолжение

Наименование	Системы	
	ПАОС	АфОС
Автодороги		
Межхозяйственные	45,7	40,4
Внутрихозяйственные	10,2	21,4
Мосты	21,9	7,4
	77,8	69,2
Эксплуатация усадьбы		
Здания и благоустройство эксплуатационных усадеб	63,5	79,5
Прочие затраты		
Содержание административного аппарата, III часть генеральной сметы и пр.	139,0	129,2
Общая стоимость всех работ	868,0	756,8

При сравнении стоимости отдельных элементов рисовых оросительных систем Петровско-Анастасиевской и Афипской по обеим системам получены довольно близкие между собой цифры, за исключением межхозяйственной сети (табл. 77). Эта часть оросительной сети в наименьшей степени связана со спецификой орошения риса. Ее размеры и конструкцию почти целиком определяют местные орографические и гидрологические условия.

Сеть

Показатели по длине и объемам работ оросительной и сбросной сети даны в таблице 78 по разным системам.

Системы с односторонним и двухсторонним командованием резко отличаются по своим показателям. Кубанская система была первой из построенных чисто рисовых оросительных систем. Но схему с двухсторонним командованием тогда не применяли. Односторонняя

схема на Пролетарской системе была принята из-за стремления иметь более густую водоотводно-дренажную сеть. (Здесь значительная часть орошаемых земель засолена). Схема с двухсторонним командованием экономически более выгодна, чем с односторонним.

Таблица 78

Пример системы с односторонним и двухсторонним командованием, *пог. м/га*

Элементы сети	Системы с преобладанием одностороннего командования оросителей		Система со смешанным командованием	Системы с преобладанием двухстороннего командования оросителей	
	КубОС	ПрОС	СкОС	ПАОС	АфОС
Картовые оросители	40,7	46,0	33,3	26,9	24,7
Распределители	11,4	16,0	10,2	9,2	11,4
Всего по оросительной сети	52,1	62,0	43,5	36,1	36,1
Картовые сбросы	55,8	57,0	32,4	27,0	27,6
Сборные и оградительные каналы	11,0	24,0	18,8	8,7	9,9
Всего по водоотводной сети	66,8	81,0	51,2	35,7	37,5
Общая длина всех видов сети	118,9	143,0	94,7	71,8	73,6

Удельная длина сбросных и оградительных каналов по Пролетарской системе более чем вдвое превышает их длину по Кубанской. Объясняется это тем, что система состоит из большого числа отдельных сравнительно небольших участков. Поэтому оказалось необходимым развить большую длину оросительной и особенно сбросной сети. Каждый из сбросных каналов в отдельности пришлось доводить до Манычей. По картовой сети показатели разбиты на две группы. На Кубанской и Пролетарской системах преобладает схема с односторонним командованием картовых оросителей, а на Петровско-Анастасиевской и Афипской — с двухсторонним. Поэтому показатели по картовой сети по ним отличаются почти в 2 раза.

Современные инженерные рисовые оросительные системы имеют характерную особенность: сбросная сеть развита на них так же густо, как и оросительная и требует не меньших объемов работ (табл. 79).

Таблица 79

Объем работ по ирригационной сети
(в $м^3$ на 1 *км* длины канала)

Виды каналов	Системы	
	ПАОС	АфОС
Оросительная сеть		
Распределители I и II порядка	17 560	13 218
Распределители III порядка	9 560	5 626
Оросители	3 288	1 418
Сбросная сеть		
Сбросные каналы самотечные	8 815	2 826
Сбросные каналы машинные	12 615	—
Картовые сбросы	3 825	1 380

Вертикальная планировка

При устройстве рисовой оросительной системы наиболее специфическим видом работ является придание рисовым чекам горизонтальной поверхности и устройство валиков для удержания слоя затопления. Из сводки по рабочим проектам Кубанской и Петровско-Анастасиевской систем для общей площади 11 455 *га* следует, что на долю каждого чека приходится в среднем более 1 га. На 15% площади объем работ по планировке чеков меньше 200 $м^3/га$, на 70% он составляет от 200 до 350 $м^3$ и на остальных 15% — более 350 $м^3$. Всего на 90% площади объем работ по сооружению валиков не превышает 125 $м^3/га$. При таких объемах работ дальность скреперной возки грунта в зависимости от объема планировочных работ распределяется следующим образом (табл. 80).

С увеличением объемов работ дальность возки грунта уменьшается, т. е. большие объемы соответствуют чекам малых размеров, расположенных в трудных рельефных условиях, и, наоборот, наибольшая дальность возки связана с большими чеками, расположенными на

Таблица 80

Дальность возки в зависимости от объема планировочных работ

Объем планировочных работ, $м^3/га$	Доля площади, %	Процент объема планировочных работ, перемещаемых на расстояние от — до, *м*		
		до 50	50—100	100—200
0—300	55,1	10	69	21
300—400	38,4	18	65	17
400—500	2,7	45	51	4
500	3,8	52	43	5

благоприятных участках и дающими наименьший объем работ.

В условиях Пролетарской оросительной системы, рисовые участки которой размещены на надпойменной террасе с почти безуклонным рельефом, средний размер чека принят 4 *га*. При этом для площади 5295 *га* объем планировочных работ составил 245 $м^3$ и 33 $м^3$ на устройство валиков, а всего 278 $м^3/га$. Дальность возки грунта в этом случае характеризуется данными таблицы 81.

Таблица 81

Объем работ и дальность возки грунта при планировочных работах на Пролетарской системе

Виды работ	Объем работ, $м^3/га$	Процент объема, перемещенного на расстояние от — до, *м*		
		до 100	100—150	150—200
Планировка	245	29,2	70,6	0,2
Насыпка валиков	33	32,0	67,9	0,1
Всего . . .	278	29,6	70,2	0,2

Сопоставление дальности возки по краснодарским системам с Пролетарской системой (табл. 82) показало, что большая площадь чеков на Пролетарской системе вызвала значительное увеличение дальности возки. Единичная стоимость перемещения кубометра грунта скрепером с емкостью ковша 2,25 *м* возрастает в 1,75 раза при увеличении дальности возки на расстояние от 100 до 200 *м*.

Таблица 82

Дальность возки при объеме планировочных работ до 300 $м^3/га$

Системы	Процент объема, перемещенного на расстояние от — до, *м*	
	до 100	100—200
Кубанская	79,0	21,0
Пролетарская	29,6	70,4

Тиховская рисовая оросительная система, выстроенная первой в Краснодарском крае, была затем включена в состав Кубанской рисовой системы и подвергнута реконструкции. Полный объем работ по реконструкции 3732 *га* оказался равным в среднем 305,7 $м^3/га$. В том числе планировка чеков и разравнивание ликвидируемых оросителей составили 242,5 $м^3$ и засыпка резервов 63,2 $м^3/га$. В результате реконструкции площадь чеков была увеличена в среднем до 1,4 *га* по сравнению с 0,17 га, бывшей до реконструкции. Эти объемы до некоторой степени могут характеризовать те работы, которые предстоит выполнить на существующих старых рисовых оросительных системах, чтобы сделать их пригодными для работы современной сельскохозяйственной техники.

Сооружения

Удельные объемы работ по сооружениям на разных системах имеют разные величины (табл. 83).

Таблица 83

Объем работ по сооружениям на оросительной и сбросной сети на 1 *га* орошаемой площади

Виды работ	Единица измерения	ПАОС	АфОС	В среднем
Бетонные	$м^3$	0,73	0,99	0,86
Железобетонные	»	0,41	0,65	0,53
Деревянные сооружения	»	0,11	0,13	0,12
Металлические конструкции	*т*	0,029	0,03	0,03
Крепление откосов (мостовая, каменная наброска и т. п.)	$м^3$	3,41	4,59	4,00

Наибольшее количество сооружений на инженерной рисовой системе составляют мелкие сооружения на карте: водовыпуски из оросителя в чек, из чека в чек и из чека в сброс. Их количество на системах Краснодарского края сравнительно мало различается (табл. 84).

Таблица 84

Количество мелких сооружений на 100 га

Системы	Количество сооружений
ПАОС	112
Расширение ПАОС	116
АфОС	103
Пролетарская	75

Применительно к типам внутрикартовых сооружений, применяемых на системах Краснодарского края, кроме того, требуется в среднем 560 пог. *м* асбестоцементных труб на каждые 100 *га*.

Дороги

Удельная длина автодорог (в пог. *м* на 1 *га*) на существующих рисовых оросительных системах Краснодарского края равна:

Кубанская система	14,02
Петровско-Анастасиевская	11,52
Афипская	18,15
В среднем	14,56

Однако в процессе эксплуатации такое количество дорог оказалось недостаточным, особенно на участках, расположенных на пониженных элементах рельефа. В проектном задании расширения Петровско-Анастасиевской системы, составленном в 1962 г., запроектировано по 31,3 пог. *м/га* автодорог при ширине их 6 *м*. Кроме обычных внутрихозяйственных дорог, намечено значительное количество дорог, идущих вдоль карты. Это дает дополнительно на каждый гектар в среднем

по 29 пог. *м* автодорог шириной 4,5 *м*. Значительная часть земель, освоение которых под культуру риса предусматривается этим проектом, расположена на весьма низких отметках. Самотечный сброс здесь невозможен. Сбросные воды отводят с помощью специальных насосных станций. Усиленное развитие сети насыпных автодорог в целях обеспечения возможности своевременной уборки и транспортировки урожая в этих условиях вполне оправдано.

Объемы работ по автодорогам на различных системах даны в таблице 85.

Таблица 85

Объем работ по автодорогам

Автодороги	Системы	Кюветы	Насыпь, $м^3$/пог. *м*		Всего земляных работ, $м^3$/пог. *м*
			всего	в том числе за счет автодорог	
Вдоль оросительных каналов	ПАОС	363	3690	3327	4053
	АфОС	360	4821	4461	5181
Вдоль сбросных каналов	ПАОС	—	5275	3915	5275
	АфОС	—	5326	4510	5326

Объем работ по автодорогам, идущим вдоль сбросных каналов, больше, чем по дорогам, пролегающим вдоль оросительных каналов, так как в последнем случае под дорогу уходит часть вала оросительного канала, а сама дорога идет по более высоким отметкам. Для насыпи полотна дорог, идущих вдоль сброса, используют грунт, вынимаемый при рытье сброса. В итоге разница в объемах, относимых за счет собственно автодорог, по этим двум видам их оказывается не столь большой.

По межхозяйственным автодорогам показатели не приведены. Их длина и тип поперечного сечения варьируют в широких пределах в зависимости от взаиморасположения проектируемой системы и существующих хозяйственных центров, а также от почвенных и гидрогеологических особенностей района. А сами эти дороги пролегают вне пределов рисовой оросительной системы.

Приведенные укрупненные показатели дают общий порядок величин по некоторым видам работ, выполняе-

мых при сооружении рисовых оросительных систем. Предстоящее проектирование и строительство новых рисовых оросительных систем на значительных площадях позволят со временем разработать более совершенные показатели этого рода.

Глава XIV

Экономическая эффективность орошения риса

Экономическая эффективность возделывания риса очень велика. При устройстве примитивной оросительной системы ее стоимость окупается в один год. Но возможность целесообразной эксплуатации такой системы оказывается очень непродолжительной. В связи с тем что такая система не имеет надежно работающей оградительной и водоотводной сети, прилегающие земли быстро подтопляются и заболачиваются. Мелиоративное состояние территории самой системой ухудшается. Затрудняется своевременная и качественная обработка почвы. На такой системе нет условий для должного маневрирования слоями затопления, что приводит к зарастанию рисовых полей сорняками и быстрому падению урожая. Уборка из-за плохой работы водоотводной сети очень трудоемка и сопровождается большими потерями. Возделывание риса становится убыточным. Площади посевов риса так же, как они быстро увеличивались, начинают стремительно сокращаться (табл. 86). Отсюда видно, что устройство мелких участков нецелесообразно.

Таблица 86

Посевные площади и урожаи риса в Ростовской области по годам

Показатели	1952	1953	1954	1955	1956	1957	1958	1959	1960	1961
Посевные площади, *га*	26	165	820	1910	4867	2860	2700	1680	1390	919
Урожай, *ц/га*	55,4	51,5	51,3	40,6	42,0	38,0	36,0	34,0	31,0	38,4

В 1961 г. начали включать под посев риса вновь орошаемые площади на строящихся инженерных системах.

В Краснодарском крае сразу было начато строительство крупных рисовых систем. Их освоение велось в плановом порядке. Сортовой состав риса и методы его возделывания непрерывно совершенствовались. Положительное значение имела организация здесь Всесоюзной рисовой опытной станции.

Повышение экономической эффективности сельскохозяйственного использования территории в результате ее орошения и возделывания риса отражено в таблице 87, взятой из проекта расширения Петровско-Анастасиевской рисовой оросительной системы.

Таблица 87

Доходность от сельскохозяйственного использования участка до орошения и после него (Петровско-Анастасиевская система, Краснодарский край)

Культуры	Площадь, *га*	Урожайность, *ц/га*	Цена, *руб./ц*	Стоимость урожая, тыс. руб.	Производственные затраты: на 1 *га*, руб.	Производственные затраты: на всю площадь, тыс. руб.	Чистый доход, тыс. руб.
До орошения							
Пшеница озимая	2 265	24	65	353,4	32,6	73,8	279,6
Кукуруза	1 791	50	55	492,5	62,7	112,3	380,2
Прочие зерновые	554	25	48	66,5	32,8	18,2	48,3
Подсолнечник	385	22	165	139,8	35,8	13,8	126,0
Кормовые корнеплоды	140	280	11	43,1	65,9	9,2	33,9
Силосные культуры	472	380	5	89,7	43,1	20,3	69,4
Кукуруза не зеленый корм	140	350	2	9,8	15,7	2,2	7,6
Зернобобовые	82	30	30	7,4	34,6	2,8	4,6
Естественные угодья	5 412	90	5	243,5	4,6	24,9	218,6
Другие угодья (болота и пр.)	2 705	—	—	—	—	—	—
Всего до орошения	13 946	—	—	1445,7	—	277,5	1168,2
После орошения							
Рис	6 660	40	215	5727,6	100,2	667,3	5060,3
Зернобобовые	1 670	50	30	250,5	45,6	76,2	174,3

Культура	Площадь, *га*	Урожайность, *ц/га*	Цена, *руб./ц*	Стоимость урожая, тыс. руб.	Производственные затраты		Чистый доход, тыс. руб.
					на 1 *га*, руб.	на всю площадь, тыс. руб.	
Занятый пар	1 670	25	30	125,2	34,6	57,8	67,4
Отчуждение под каналы, дороги, не сельхозугодья и пр. . . .	3 946	—	—	—	—	—	—
Всего после орошения	13 946	—	—	7103,3	—	801,3	5302,0
Разница в доходности на участке, тыс. руб.	—	—	—	5657,6	—	523,8	4133,8
Разница в доходности на 1 *га*, руб.	—	—	—	406	—	38,5	296,3

После орошения и перехода к возделыванию риса как ведущей культуры в несколько раз увеличивается стоимость сельскохозяйственной продукции, собираемой с той же площади. Возрастают и производственные затраты. Но чистая прибыль все же оказывается почти в 4 раза выше, чем при использовании этих земель без орошения.

Проектные расчеты (табл. 87) полностью подтверждаются практикой наших рисосовхозов. Сравнительные экономические показатели по трем рисосеющим совхозам — «Красноармейский» и «Славянский» Краснодарского края и «Цимлянский» Ростовской области — даны в таблице 88.

Таким образом, в результате возделывания риса с каждого гектара поступает от 400 до 600 руб. чистой прибыли в год.

Такая высокая доходность культуры риса позволяет быстро покрывать капиталовложения на строительство рисовых оросительных систем. В этом отношении показателен опыт по сооружению Петровско-Анастасиевской рисовой оросительной системы в Краснодарском крае. Ее строительство было начато в 1953 г., а в 1962 г. законченная система площадью 23 тыс. *га* при-

Сравнительные экономические показатели по фактическим данным за 1961 г.

Культуры	Показатели	Единица измерения	Совхозы		
			«Красноармейский»	«Славянский»	«Цимлянский»
Рис	Площадь посева . . .	*га*	3713	2712	574
	Урожай	*ц/га*	39,50	33,20	42,00
	Стоимость продукции с 1 *га*	руб.	849,25	713,80	903,00
	Себестоимость 1 *ц* . .	»	7,98	7,76	5,38
	Себестоимость продукции с 1 *га*	»	315,01	257,63	225,95
	Чистая прибыль с 1 *га*	»	534,24	456,17	677,05
Пшеница озимая	Площадь посева . . .	*га*	2125	205	5083
	Урожай	*ц/га*	25,90	32,70	13,00
	Стоимость продукции с 1 *га*	руб.	73,69	93,03	36,98
	Себестоимость 1 *ц* . .	»	1,62	1,15	1,95
	Себестоимость продукции с 1 *га* . . .	»	41,96	37,60	25,35
	Чистая прибыль с 1 *га*	»	31,73	55,43	11,63
Кукуруза	Площадь посева . . .	*га*	1234	293	—
	Урожай	*ц/га*	49,40	17,70	—
	Стоимость продукции с 1 *га*	руб.	172,90	61,95	—
	Себестоимость 1 *ц* . .	»	2,58	2,75	—
	Себестоимость продукции с 1 *га*	»	127,45	48,67	—
	Чистая прибыль с 1 *га*	»	45,45	13,28	—

нята Государственной комиссией и с 1963 г. вошла в постоянную эксплуатацию.

По данным Управления временной эксплуатации, за все годы строительства на системе было использовано под посевы риса в общей сложности 74,3 тыс. *га*. Валовой сбор зерна с них за тот же период достиг 219 тыс. *т*, или 29,5 *ц/га* в среднем. Стоимость этого урожая в закупочных ценах равна 47,1 млн. руб.

Капиталовложения на строительство системы составили 19,9 млн. руб. При средней себестоимости 6 руб. 85 коп. за 1 *ц* риса-сырца производственные расходы

в сумме за все годы равны 15 млн. руб. В результате уже за время строительства затраты по сооружению системы не только полностью окупились, но и была получена прибыль в размере

$$47{,}1-(19{,}9+15)=12{,}2 \text{ млн. руб.}$$

При этом в приведенном схематическом подсчете не учтена продукция от прочих культур, входящих в севооборот с рисом.

Глава XV

Эксплуатация рисовых оросительных систем

Освоение вновь построенной рисовой системы

Строительство крупной оросительной системы не заканчивается в течение одного года. Площади под рис осваивают по мере их подготовки строительной организацией.

По мере подготовки площади под посевы в предстоящем сельскохозяйственном году строительная организация передает их системному управлению во временную эксплуатацию. В районах, где в агрономический комплекс по возделыванию риса обязательным элементом входит зяблевая вспашка, системное управление принимает площадь осенью предыдущего года. Приемке должна предшествовать «замочка» всех каналов. Таким путем проверяют, нет ли в каналах обратных уклонов, недоборов грунта и перемычек. Проверяют также должное командование горизонтов воды в старших каналах над горизонтами в младших, исправность и удобство маневрирования затворами на всех сооружениях. Замочку надо начинать малыми расходами, постепенно доводя тело дамбы каналов до капиллярного увлажнения, чтобы стимулировать их осадку и уплотнение.

Во время замочки каналов, идущих в насыпях, нередко прорываются дамбы. Поэтому в распоряжении

лица, руководящего замочкой, должно быть аварийное звено, обеспеченное автотранспортом для переброски рабочих и грунта. Должны также быть в рабочем состоянии средства для погрузки грунта на самосвалы.

Одновременно со всеми этими проверочными работами выборочно нивелируют часть спланированных чеков. Если в результате контрольной нивелировки окажется, что на предъявленных к сдаче чеках имеются точки с отметками, выходящими за пределы установленных допусков, принимающая организация может потребовать сплошной поверочной нивелировки всей предъявляемой к сдаче площади.

В акт промежуточной приемки включают пункт о том, что все неисправности, дефекты и отступления от проекта, которые будут обнаружены в течение первого оросительного сезона, должна устранить строительная организация без дополнительной оплаты.

Эксплуатирующая организация, приступающая к освоению вновь построенной рисовой оросительной системы, должна своевременно подготовить кадры массовых квалификаций не только для управления системой, но и принять участие в их подготовке для проведения полива и ухода за рисом в рисосеющих хозяйствах. Особого внимания эта работа требует в районах, где другие культуры возделывают без орошения и население не имеет навыков ведения поливного хозяйства.

На вновь построенной рисовой оросительной системе период первоначального затопления наиболее ответственный. Несмотря на то, что дамбы каналов прошли замочку и несколько осели и уплотнились, максимальные горизонты воды могут вызвать размыв или сильную просадку. Особенно опасны в этом отношении насыпи, простоявшие без использования в течение предыдущего лета. Они становятся местом обитания грызунов и насекомых-землероек. Сделанные ими ходы при наполнении каналов водой являются причиной многих размывов.

Не меньшего внимания в этот период потребуют и валики. Напоры воды здесь меньше, но общая протяженность огромна. Вследствие этого вероятность размывов велика. На впервые затопляемых чеках не следует сразу создавать глубокий слой. В первые 2—3 дня

надо держать слой не больше 5—10 *см* в самом низком месте чека, чтобы путем капиллярного поднятия все тело валиков намокло и дало осадку. Лишь после прохода поливальщика по всем замоченным валикам и осмотра их можно устанавливать более глубокие слои затопления.

Если рисовая система построена на засоленных землях, то в теле валика оказывается более сильно засоленный поверхностный слой. После затопления легкоподвижные соли быстро растворяются и вымываются. Земляная масса приходит в неустойчивое состояние. Здесь следует ожидать многих прорывов. Поливальщики и эксплуатационный персонал системы должны быть заранее подготовлены к их ликвидации.

Если осваиваемая территория не является угрожаемой по засолению, то сбросную сеть на системе нужно держать в подпоре. Это позволит уменьшить фильтрационный отток с затопленных рисовых полей. На ограждающих водоотводных каналах, идущих по границе рисовой системы, подпоры делать нельзя. Они должны полностью отводить всю поступающую поверхностную и фильтрационную воду.

Осеннее осушение рисовых полей в первый год освоения служит проверкой принятой в проекте пропускной способности водоотводной сети и условий сопряжения ее горизонтов с горизонтами в водоприемнике. Со всей площади рисовых полей ни в коем случае нельзя сбрасывать воду одновременно. Следует составить график очередности и обеспечить его выполнение. Только если каналы не переполнены водой и нет подтопления соседних площадей, можно делать формированный сброс воды с системы.

В течение всего первого оросительного сезона в системном управлении должны тщательно фиксироваться все обстоятельства, связанные с эксплуатацией системы: сроки и количество поданной воды, ход затопления и осушения рисовых полей, аварии на сети и сооружениях, замеченные неисправности и отступления от проекта и т. д. На основании этих наблюдений после окончания оросительного периода составляется отчет по первому году эксплуатации. Он будет служить основанием для предъявления требований к проектной

и строительной организациям об устранении недоделок и неисправностей, а в случае необходимости — и для изменения отдельных частей или конструкций.

Годичный цикл эксплуатационных работ на рисовой системе

Эксплуатация ирригационной системы — это сложный комплекс организационно-хозяйственных и технических действий, которые призваны обеспечить своевременную подачу системой предусмотренных планом объемов воды на заданные по размеру и местоположению площади сельскохозяйственных культур. Годичный цикл эксплуатационных работ на рисовой системе протекает в следующем порядке. После окончания уборочных работ систему подготавливают к зиме. Прежде всего следует провести консервацию всех гидротехнических сооружений. Особое внимание при этом должно быть обращено на щитоподъемные механизмы. Съемные щиты и шандоры увозят и складируют. По всей сбросной сети обеспечивается беспрепятственный сток поверхностных и фильтрационных вод. Временные водоспусковые канавки и прокопы, устроенные перед уборкой, очищают и поддерживают в действующем состоянии. В это же время проводят зяблевую вспашку рисовых полей.

В зимний период составляют планы водопользования, сметы на ремонты и иные технические и плановые документы. Ведутся работы по повышению квалификации эксплуатационных кадров и подготовке новых. Особо следует обратить внимание на подготовку отлично знающих свое дело поливальщиков. Они являются теми кадрами, которые определяют и качество водопользования и величину урожая риса.

С началом теплых сухих дней приступают к очистке каналов от наносов и растительности, ремонтируют гидротехнические сооружения и дороги. Развозят по системе и ставят на место щиты и шандоры. Устанавливают водомеры и водомерные рейки. Ремонтируют помещения эксплуатационного персонала на сети. Восстанавливают телефонную связь.

Период первоначального затопления наиболее напряженный в работе эксплуатационного персонала. Заблаговременно совместно с рисосеющими хозяйствами должен быть составлен календарный план посева и первоначального затопления. В этот период на распределителях последнего порядка устанавливается водооборот. Методика определения размера ежедневно включаемых площадей и в зависимости от этого размера расчетной ординаты гидромодуля дана в главе VII. Величины ежедневно включаемых площадей, полученные по расчету, округляют до фактических размеров реальных карт. При составлении календарного плана следует предусматривать одновременное начало сева всеми хозяйствами, расположенными на системе. Всякая задержка с началом посевных работ вызовет затем необходимость в форсированной подаче воды.

При незасоленных почвах после окончания сева до пуска воды на поля сбросную сеть перекрывают, чтобы уменьшить боковой отток. Это облегчит и ускорит создание слоя. В период первоначального затопления воду на рисовые поля подают круглосуточно.

В связи с первоначальным затоплением возникает вопрос о наилучшем порядке включения площадей. С точки зрения работы системы более рационально начинать затопление с хвостовой части группового распределителя. По мере включения в затопление карт в нем будут увеличиваться расход воды и горизонты. Такой порядок удобен и в том отношении, что в этом случае не подтопляются вышележащие карты, на которых нет еще посева.

В то же время более быстрое затопление может быть достигнуто, если его начать с верхних карт. В результате затопления каналов и полей создается напор в грунтовых водах на нижних частях системы. Нередко на них даже поверхность чеков получает капиллярное смачивание. Этим значительно облегчается первоначальное затопление. Но создавать такой напор на нижних частях системы можно только в том случае, если все нижележащие площади уже засеяны. Вопрос о порядке включения площадей должен решаться с учетом всех конкретных условий: гидрогеологических, технических и организационных.

Первоначальное затопление по групповому распределителю обычно проводят за 15 суток. Фактические сроки первоначального затопления по Кубанской системе по 53 распределителям последнего порядка с 1950 по 1960 г. приведены в следующей таблице.

Продолжительность первоначального затопления, сутки	<10	11—15	16—20	21—22
Процент от общего числа распределителей	13,2	47,3	30,1	9,4

На 60,5% площади затопление проведено в сроки до 15 суток, причем один распределитель обслуживает от 100 до 500 *га*. Распределители, орошающие бо́льшую площадь, требуют бо́льших сроков затопления.

В процессе первоначального затопления должны быть выставлены водомерные рейки. Нуль рейки должен совпадать с таким горизонтом на чеке, при котором половина его площади покрыта водой, а вторая половина возвышается над зеркалом воды. Такое положение нуля рейки соответствует средней плоскости чека. Установка реек на каждом чеке совершенно необходима. Без рейки невозможно следить за действительной глубиной водного слоя на полностью затопленном чеке. Практически совершенно достаточно иметь на рейках деления по 5 *см*.

Восстановление слоя, пониженного на время кущения или для внесения удобрений, борьбы с вредителями и пр., с точки зрения работы оросительной сети представляет собой задачу, аналогичную периоду первоначального затопления. Только при восстановлении слоя на единицу площади требуется меньшее количество воды и операции эти проходят более спокойно, без особой форсировки системы. Очередность включения площадей сохраняется та же, что и при первоначальном затоплении. Восстановить слой затопления можно за более короткий срок, чем провести первоначальное затопление.

Во время поддержания слоя затопления не требуется такого напряжения, как в период первоначального затопления. Но обеспечение нужного слоя на рисовых полях не менее важно. От правильного водного режима в значительной степени зависит величина

получаемого урожая. Серьезное значение он имеет и в борьбе с сорняками риса — просянками.

В большинстве случаев воду на рисовые поля подают непрерывно в течение всего оросительного периода. Вода идет по оросительной сети, и значительная часть ее сбрасывается в водоотводную сеть.

При недостаточной водообеспеченности на рисовых полях нередко проводят те или иные формы планового водораспределения. Например, во Вьетнаме в период недостачи воды часто применяется водооборот. В ОАР посевы риса сосредоточены на двух специальных каналах. Между ними устанавливается водооборот, отличный от других культур. По одному каналу воду подают 4 дня подряд. Создается ее запас на чеках. Затем, также 4 дня, длится перерыв, а вода идет по другому рисовому каналу. На незасоленных землях слой затопления следует поддерживать без проточности, периодически пополняя запас воды на чеках. Время между отдельными подачами воды определяют по формуле:

$$t = \frac{10\,\Delta h}{\varepsilon + \tau + \varphi} \text{ суток,} \qquad (103)$$

а число таких подач за оросительный период:

$$n = \frac{T_{\text{п}}(\varepsilon + \tau + \varphi)}{10\,\Delta h}, \qquad (104)$$

где $T_{\text{п}}$ — поливной период (без периода первоначального затопления), сутки;

n — число подач;

Δh — допустимая разность горизонтов на чеке, *см*;

$\varepsilon, \tau, \varphi$ — среднесуточное испарение, транспирация и фильтрация, *мм/сут*.

На системах Краснодарского края сложилась практика подачи воды на рисовые поля в период поддержания слоя только в дневное время, когда поливальщики выходят на карты. Оросительная сеть, рассчитанная на пропуск повышенных расходов в период первоначального затопления, в остальное время имеет достаточный запас пропускной способности для подачи нужных количеств воды лишь за часть суток.

Во время дождя подачу воды на систему следует уменьшать или совершенно прекращать в зависимости

от его интенсивности. В пасмурную и холодную погоду, когда интенсивность испарения и транспирации падает, подача воды также должна быть снижена. Если орошение ведется круглосуточно и с проточностью, то на ночь ток воды на систему должен быть уменьшен. Все эти мероприятия дадут значительную экономию поливной воды.

В течение периода поддержания слоя, так же как и при первоначальном затоплении, сбросная сеть должна быть в подпоре.

Во время затопления рисовых полей, когда оросительная сеть работает с максимальными расходами, должен быть обеспечен ежедневный и многократный осмотр всех ее звеньев, особенно на вновь построенных или реконструированных участках. К периоду поддержания слоя интенсивность наблюдения обычно может быть снижена.

В течение оросительного периода неглубокие оросительные и сбросные каналы сильно зарастают сорной растительностью. На больших каналах зарастают лишь береговые участки поперечного сечения канала. Сорняки необходимо скашивать, не допуская их до осеменения. В результате этого степень зарастания оросительной системы может быть постепенно снижена. В настоящее время имеется ряд гербицидов, которые могут быть с успехом применены для уничтожения сорной растительности на ирригационной сети. В США пастьба скота, в частности овец, считается наиболее простым и дешевым способом борьбы с сорняками на дамбах, каналах и валиках рисовых полей [98].

Сброс или понижение слоя воды на рисовых полях может потребоваться несколько раз за оросительный период. Наибольшее количество воды сбрасывают при кущении. Перед этим ведут борьбу с сорняками — просянками — и слой воды нередко доводят до 25 *см*. При этом с каждого гектара необходимо сбросить до 2000 *м*³. Такой сброс воды со всей системы в течение нескольких дней сделать нельзя. Это вызовет переполнение водоотводной сети и затопление нижележащих участков системы и соседних неорошаемых площадей. На время кущения вода должна быть сброшена за такой же срок, как первоначальное затопление, и в той же последовательности. Это хорошо согласуется с тре-

бованиями агротехники, так как на ранее затопленных площадях кущение наступает раньше.

Осеннее осушение полей не менее важно, чем орошение риса, так как оно создает условия для механизированной уборки урожая с наименьшими потерями. До наступления срока осушения целесообразно заблаговременно прекратить подачу воды, чтобы к концу восковой спелости риса она осталась на полях лишь в незначительном количестве. В то же время на сбросной сети снимают подпоры и очищают ее от ила и растительности. Одновременно ремонтируют дороги, по которым будут вывозить урожай.

Воду, оставшуюся на чеках, отводят в сбросную сеть. На спланированных чеках нередко имеются блюдцеобразные понижения. Для спуска воды из них следует делать временные водоотводные канавки и прокопы в периферических валиках. Водопроницаемость рисовых почв к концу оросительного периода резко снижается. В условиях Кубанской системы прибор Нестерова, установленный на поверхности чека после спуска воды, в течение нескольких суток не показывает расхода воды на фильтрацию. Испарение и транспирация в это время также протекают слабо. Даже после небольшого дождя пониженные места вновь затопляются водой. Она не только попадает непосредственно в них, но и стекает с соседних, более высоких участков чека. Поэтому спуску поверхностных вод должно быть уделено самое серьезное внимание.

По окончании всех полевых работ составляют годовой отчет. При этом следует обратить особое внимание на все факты и соображения, которые могут улучшить работу системы в будущем году.

Наблюдения и исследования

Для успешного проведения работ по водораспределению и поддержанию ирригационной системы в исправном состоянии эксплуатационный персонал выполняет некоторые наблюдения и исследования.

Помимо стандартных метеорологических наблюдений на стационарной площадке желательно дополнительно установить несколько дождемеров в различных

частях системы. Необходимо также в течение оросительного периода измерять температуру воды в источнике орошения, в каналах и на чеках.

В обязательный минимум гидрометрических работ входит систематическое наблюдение за горизонтами воды и получение тарировочных кривых русел и сооружений для ежесуточного определения количества воды, прошедшего в голове системы и в головах всех хозяйственных водовыделов. Без этого надлежащая организация водораспределения невозможна. Кроме того, ведутся наблюдения за горизонтами и расходами воды в основных каналах коллекторно-сбросной сети, а также за горизонтами в водоприемнике. Если в главном сбросном канале фильтрационный расход идет и в межполивной период, то на нем следует организовать круглогодовые наблюдения, хотя бы и в разреженные сроки. Эти данные потребуются для исключения бытовых расходов воды при составлении водного баланса системы.

С использованием основных гидрометрических постов и в случае надобности с заложением специальных следует систематически определять потери и вычислять к. п. д. отдельных каналов и всей системы в целом. Эти наблюдения следует организовать с первого же года работы системы; так как коэффициент полезного действия сети заметно изменяется. Интересные данные дают отчетные материалы Кубанской рисовой оросительной системы Так, к. п. д. магистрального канала в 1932 г. был равен 0,75, в 1938 г. — 0,86, в 1956 г. — 0,96 и в 1962 г. — 0,95. Это дает возможность увеличить поливную площадь, не меняя пропускной способности канала, а проектировщиков новых систем обязывает предусматривать резервные подкомандные площади.

Несколько раз за оросительный период следует брать пробы на мутность в источнике орошения и во всех звеньях оросительной и сбросной сети, устанавливая количество и гранулометрический состав наносов в каждом звене. Кроме того, следует обработать технические материалы, получаемые при очистках отстойника, оросительных и сбросных каналов.

В процессе эксплуатации системы должны проводиться наблюдения за режимом грунтовых вод как на территории самой рисовой системы, так и за ее преде-

лами. Наблюдения желательно начать за год до первого затопления рисовых полей, т. е. еще в процессе строительства. Устройство створов наблюдательных скважин должно быть предусмотрено в проекте системы и включено в смету. Следует сделать по крайней мере два створа — один в направлении главного уклона местности, другой — перпендикулярный к нему. Эти створы должны выходить за пределы системы в обе стороны. Наблюдательные колодцы обычно делают в виде буровых скважин, обсаживаемых стальными или асбестоцементными трубами. Скважины бурят до вскрытия грунтовых вод. Наблюдения за уровнем грунтовых вод в скважинах следует вести в течение всего года. В межполивной период наблюдать достаточно один раз в месяц, а в поливной ежедекадно. Во время первоначального затопления и осеннего сброса желательно вести ежесуточные наблюдения. Все скважины должны быть связаны нивелировкой и результаты пересчитаны в отметки. Система отметок может быть условной, но единой для всех створов. Выражение результатов наблюдений в глубинах грунтовых вод от поверхности почвы, как это нередко делается, совершенно их обесценивает, так как не дает возможности судить о положении грунтовых вод на всей системе в целом.

Данные о величине испарения, транспирации и вертикальной фильтрации получают в результате наблюдений по вегетационным сосудам-испарителям, как это описано в главе V. За испарением и транспирацией можно вести наблюдения в одной точке, достаточно удаленной от древесных насаждений, строений и пр. Если в пределах системы имеются почвенные разности, отличные по водопроницаемости, то наблюдения за вертикальной фильтрацией должны быть организованы по каждой из них. Все остальные величины, необходимые для составления фактического водного баланса системы, получают в результате обработки данных эксплуатационной гидрометрии. Методика составления водного баланса изложена в главе VI.

Материалы эксплуатационных наблюдений по инженерным рисовым системам имеют большое значение для правильного решения ряда вопросов при проектировании и эксплуатации новых рисовых систем. Этому разделу работы системного управления следует уделить должное внимание и обеспечить его квалифицированными кадрами.

Заключение

На основании рассмотренных выше вопросов, связанных с проектированием и эксплуатацией рисовых оросительных систем, можно сделать вывод, что основной тип культуры риса, отвечающий условиям рисосеяния в СССР,— это культура затопляемого риса. Для ее возделывания следует строить специальные рисовые оросительные системы, располагая их крупными, компактными массивами на площадях со спокойным рельефом и маловодопроницаемыми почвами.

Проектирование рисовых систем должно вестись с учетом особенностей, обусловливаемых спецификой затопляемого риса. К основным из них относятся следующие.

1. Удельно большие массы воды на единицу площади, что влечет за собой большие размеры магистрали и ее ветвей.

2. Непрерывность подачи воды в течение оросительного периода. Вследствие этого распределительная и регулирующая сеть может иметь относительно небольшие пропускные способности по сравнению с культурами, при орошении которых имеются значительные перерывы от полива к поливу.

3. Большое командование регулирующей сети, так как в период борьбы с сорняками надо создавать слой затопления глубиной до 25 *см*.

4. Необходимость планировки поверхности поливных площадок (чеков) под горизонтальную плоскость.

5. Необходимость глубокой дренажно-оградительной сети как для полей севооборота внутри хозяйства, так и вокруг всей системы — для предупреждения заболачивания соседних, не занятых рисом территорий.

6. Необходимость густо развитой на территории системы автодорожной сети для обеспечения вывозки урожая. В районах с сухой и жаркой осенью это требование необязательно.

При проектировании новых рисовых оросительных систем за основу должен быть взят тип системы, разработанный в Краснодарском крае и апробированный многолетней практикой рисосеяния. Он наиболее отвечает в настоящее время условиям ведения крупного механизированного рисового хозяйства. Местные природные условия и дальнейшее развитие и совершенствование сельскохозяйственной техники внесут в него соответствующие коррективы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Аблаков Э. Б. Некоторые особенности агротехники риса в связи с заболачиванием почв рисовых полей. «Труды научной конференции по итогам почвенно-мелиоративных исследований АН Казахской ССР в низовьях р. Сыр-Дарьи за период с 1946 по 1956 г.», Кзыл-Орда, 1956.
2. Аверьянов С. Ф. О водопроницаемости почвогрунтов при неполном их насыщении. Инж. сб. АН СССР, т. VII. М., 1950.
3. Аверьянов С. Ф. Фильтрация из каналов и ее влияние на режим грунтовых вод. Сб. 1. АН СССР, М., 1956.
4. Алешин Е. П. Водный режим рисового поля на период прорастания риса. «Физиология растений», т. 8, вып. 6, 1959.
5. Андронников И. З. Культура риса на Кавказе. «Сборник сведений по культуре ценных растений на Кавказе», ч. I. Тифлис, 1900.
6. Аскоченский А. Н. Орошение и обводнение земель в СССР. М., 1961.
7. Бородин М. В. Водный режим культуры риса применительно к задачам проектирования оросительной сети в крупном механизированном хозяйстве. «Труды института гидротехники и мелиорации» т. XI. М., 1935.
8. Бородин М. В., Данов Г. А. Влияние планированного и непланированного рельефа на развитие и урожай риса. «Труды рисовой станции», вып. XII. М., 1937.
9. Витте П. А. Материалы к вопросу рисосеяния на Северном Кавказе. СКОМС. Вып. 31. Новочеркасск. 1930.
10. Воеводин А. В. Новые гербициды для борьбы с сорняками риса. «Земледелие» № 4, 1963 г.
11. Воейков А. И. Климаты земного шара, в особенности России. «Избранные сочинения», т. I. М.—Л., 1948.
12. Воронин В. В. Орошение в Китайской Народной Республике. «Гидротехника и мелиорация» № 10, 1955.
13. Временные технические указания по проектированию рисовых оросительных систем. МСХ СССР, М., 1962.

14. Гаража М. С. Режим орошения сельскохозяйственных культур. «Материалы к техническим условиям и нормам проектирования оросительных систем». М., 1958. Глава XI «Режим орошения риса при затоплении».
15. Гаричкин А. И. Культура риса на засоленных землях Южной Мугани. Баку, 1953.
16. Горшенин А. И. Производство риса в Маньчжурии и Японии. «Вестник Маньчжурии» № 8, 1934.
17. Грист Д. Рис. М.—Л., 1959.
18. Гущин Г. Г. Рис. М., 1938.
19. Джулай А. П. Возделывание риса без затопления. М., 1953.
20. Дунин-Барковский Л. В. Физико-географические основы проектирования оросительных систем. М., 1960.
21. Ерыгин П. С. Физиологические основы орошения риса. М.—Л., 1950.
22. Есипов А. Т. Водный режим культуры риса. Хабаровск, 1936.
23. Железнов М. М. Культура риса в Северо-Американских Соединенных Штатах и других странах. Хабаровск, 1927.
24. Загребельный В. Ф. Солевой режим грунтовых вод и почвы при культуре риса в Ростовской области. «Краткие итоги научно-исследовательских работ за 1958 г.», Кубанская рисовая опытная станция, Краснодар, 1961.
25. Зайцев В. Б. Материалы по изучению орошения риса в Приморье. «Материалы по опытно-мелиоративному делу», т. IV. М., 1930.
26. Зайцев В. Б. К методике изучения водного баланса рисовой делянки. «Опытный мелиоративный вестник», т. II, вып. 4. М., 1930.
27. Зайцев В. Б. Годичный цикл эксплуатационных работ на оросительной системе. Сборник «Агротехника культуры риса». М., 1934.
28. Зайцев В. Б. Планировка орошаемых площадей как один из приемов борьбы с засолением. Бюллетень ВНИИГиМ № 3 «Борьба с засолением». М., 1934.
29. Зайцев В. Б. О двух типах водного режима риса. «Гидротехника и мелиорация» № 2, 1956.
30. Зайцев В. Б. Структура оросительной нормы риса. «Краткие итоги научно-исследовательских работ за 1957 г.», КубРОС. Краснодар, 1958.
31. Зайцев В. Б. Автоматизация водораспределения на рисовых оросительных системах. «Гидротехника и мелиорация» № 12, 1959.

32. Зайцев В. Б. Некоторые вопросы проектирования рисовых оросительных систем. «Гидротехника и мелиорация» № 9, 1961.
33. Зайцев В. Б., Семененко А. Н. Особенности режима грунтовых вод под затопленным рисовым полем. «Краткие итоги научно-исследовательских работ за 1959—1960 гг.», КубРОС. Краснодар, 1962.
34. Зайцев В. Б. Некоторые вопросы развития орошения риса на Северном Кавказе. «Гидротехника и мелиорация» № 12, 1963.
35. Иконников С. И. Нормы засоления для разных культур. Бюллетень ВНИИГиМ № 3 «Борьба с засолением». М., 1934.
36. Кайгородов Г. П. Сорная растительность рисовых полей Северного Кавказа. «Труды Всесоюзной центральной станции рисового хозяйства», вып. 5, 1934.
37. Калашников А. И. К использованию культуры риса при освоении засоленных земель. «Труды Института почвоведения АН Узбекской ССР», вып. 2. Ташкент, 1956.
38. Кириченко К. С. Влияние засоления почвы на рис. «Труды ВРОС», вып. VII. М., 1937.
39. Косенко И. С. Сорняки риса и борьба с ними. «Труды рисовой опытной станции НКЗ СССР», вып. IX. Ростов н/Д, 1938.
40. Костяков А. Н. Обзор оросительных норм в разных странах. Материалы по изучению гидромодуля», т. I. М., 1914.
41. Костяков А. Н. Основы мелиорации. Сельхозгиз, М., 1961.
42. Крюгер Т. П. Промывка засоленных земель Центральной Ферганы через посев риса. «Сельское хозяйство Узбекистана», 1961.
43. Лактионов Б. И. Рисосеяние на солонцовых почвах. «Земледелие» № 5, 1962.
44. Легостаев В. М. Экономия воды при орошении риса. «Социалистическое сельское хозяйство Узбекистана» № 5, Ташкент, 1939.
45. Литвинцев А. Ф., Шумаков Б. А. Направление научно-исследовательской работы ЮжНИИГиМ и итоги его работы. «Сборник трудов ЮжНИИГиМ», вып. V. Новочеркасск, 1958.
46. Малиновский П. И. Ирригация в бассейне р. Янцзы в Китайской Народной Республике. «Гидротехника и мелиорация» № 12, 1956.
47. Малахов В. А., Баденко И. И. Влияние рисового поля на водный и солевой режим грунтовых вод прилегающих полей. «Труды института водного и лесного хозяйства Казахского филиала ВАСХНИЛ», т. I. Алма-Ата, 1956.
48. Маслюков П. И. Рисовая ирригационная система, ее устройство и эксплуатация. Хабаровск, 1940.

49. Минкин Е. Л. Уровень грунтовых вод на орошаемых территориях и методика его определения. «Бюллетень научно-технической информации Министерства геологии и охраны недр», № 4, 1958.
50. Мировой агроклиматический справочник. М.—Л., 1937.
51. Мирославский И. Рис. «Сборник материалов, собранных Среднеазиатской ж.-д. экспедицией», вып. I. С.-Петербург, 1894.
52. Мухамеддиев А. М. Разведение рыбы на рисовых полях. Ташкент, 1961.
53. Натальин Н. Б. Подбор древесных пород для лесопосадок на ирригационных системах. Краткие итоги научно-исследовательской работы за 1950 г.», Всесоюзная рисовая опытная станция. Краснодар, 1951.
54. Натальин Н. Б. Культура риса в Бирме. «Краткие итоги научно-исследовательской работы за 1958 г.» Кубанская рисовая опытная станция. Краснодар, 1961.
55. Неунылов Б. А. Повышение плодородия рисовых полей Дальнего Востока. Владивосток, 1961.
56. Перехрест С. М. Водохозяйственное строительство в республике Куба. «Гидротехника и мелиорация» № 9, 1960.
57. Подойницын Г. И. Полезащитные лесные полосы на рисовых полях в Приморье. Владивосток, 1959.
58. Родионов М. С. О защитном лесоразведении на Кубанской рисовой оросительной системе. «Сельское хозяйство Северного Кавказа» № 12, 1961.
59. Родионов М. С. О производительности машин и орудий на рисовом поле. «Краткие итоги научно-исследовательской работы за 1958 г.», КубРОС. Краснодар, 1961.
60. Русначенко Н. Н. Некоторые метеорологические и биологические наблюдения на рисовой плантации Приморской областной сельскохозяйственной опытной станции в 1925 г. «Производительные силы Дальнего Востока», вып. III. «Растительный мир». Хабаровск—Владивосток, 1927.
61. Савич К. Н., Капрнелянц Г. Е. Рисовая проблема в долине р. Зеравшан и способы уменьшения оросительных норм риса. «Вестник ирригации» № 5, 1928.
62. Самсонова Н. П. Планировочные работы на орошаемых землях. М., 1955.
63. Сапелкин В. К. Действие гербицидов на корневую систему клубнекамыша. «Краткие итоги научно-исследовательских работ за 1959—1960 гг.», КубРОС. Краснодар, 1962.
64. Сборник «О культуре риса в Туркестане и влиянии ее на заболеваемость малярией». Ташкент, 1905.

65. Селькин А. М. Основные принципы проектирования рисовых ирригационных систем в крупном механизированном хозяйстве. «Труды Института гидротехники и мелиорации», т. X. М.—Л., 1933.
66. Семененко А. Н., Зайцев В. Б. Впитывание и вертикальная фильтрация поливной воды на рисовых полях. «Краткие итоги научно-исследовательской работы за 1959—1960 гг.», КубРОС. Краснодар, 1962.
67. Скворцов А. А. Агроклимат и тепловой баланс поливных полей. «Вестник ирригации», 1928.
68. Скрипчинская Л. В. Поймы Волги и рек Северного Кавказа — основной резерв для развития рисосеяния. Новочеркасск, 1960.
69. Сметанин А. П. О древесных насаждениях на рисовых полях. «Земледелие» № 2, 1957.
70. Суховеров Ф. М. Рыбоводство на рисовых полях. М., 1946.
71. Тер-Аванесян Д. В. Сельское хозяйство Индии. Сельхозгиз, М., 1961.
72. Трофимов И. И. Проблема увеличения производства риса на орошаемых землях в гидрогеологическом освещении. «Гидротехника и мелиорация» № 7, 1959.
73. Тулякова З. Ф. Рациональный режим орошения риса при культуре с затоплением. «Сельское хозяйство Северного Кавказа» № 4, 1960.
74. Тулякова З. Ф. Приемы возделывания затопляемого риса на солонцовых почвах. «Земледелие» № 4, 1963.
75. Фаворин Н. Н. Режим и баланс грунтовых вод на орошаемых территориях со слабым оттоком на примере Нижнедонской оросительной системы. «Влияние орошения на режим грунтовых вод», сб. II. М., 1959.
76. Хрущев Н. С. Повышение благосостояния народа и задачи дальнейшего увеличения производства сельскохозяйственных продуктов. Речь на январском Пленуме ЦК КПСС «Строительство коммунизма в СССР и развитие сельского хозяйства», том 4. М., 1963.
77. Шадрин А. Т. Работа машин через валики на планированном рисовом поле. «Научный отчет Всесоюзной рисовой опытной станции за 1941—1942 гг.». М., 1946.
78. Шадрин А. Т., Рухлядева Н. М. Рис в Ростовской области. Ростов н/Д, 1957.
79. Шелаев А. Ф., Крюгер Т. П. Культура риса как метод рассоления солончаков Центральной Ферганы. «Известия АН УзССР» № 6, 1956.

80. Шумаков Б. А., Скрипчинская Л. В. Особенности возделывания риса в условиях Волго-Ахтубинской поймы. «Сборник трудов Новочеркасского инженерно-мелиоративного института» т. 5. Ростов н/Д, 1955.
81. Шредер Г. Опыты с рисом. «Отчет Туркестанской сельскохозяйственной опытной станции». Ташкент, 1905.

82. Adams F. Rice Irrigation Measurements and Experiments in Sacramento Valley. «Agricultural Experiment Station Berkley.», California, Bul. N. 325, 1920.
83. Aglibut A. P. Use and Management of Irrigation Water for Rice Production in Foreign Countries. «The Phillippine Agriculturist.», N. 18c2, 1957.
84. Bassi J. K. Microbiological reactions in rice fields. «Landbow», Vol. 22, 1950.
85. Bhattacharya A. P. Behaviour of sub—soil water table in tracts of Western Uttar Pradesh (India) as affected by a system of tablwell irrigation. «International Commission on Irrigation and Drainage.» Q. 4. R. 7, Vol. II, 1954.
86. Blankenburg P. Der Reis. Berlin, 1933.
87. Blaney H. P. & Criddle W. D. Determining water requirements in irrigated areas from climatological and irrigation data. USDA. S. C. S. F. P. 96. Washington, D. C., 1950.
88. Botzan M. Culturi irigate. Bucuresti, 1959.
89. Busak M. N. Effect of rainfall on the field of rice and evaluation of water requirement. «Prac. Nat. Just. Sci.», N. 1—2, India, 1957.
90. Camus J. S. Rice in the Phillippines, Manila, 1921.
91. Camys A. & Vugwier P. Riz flottants du Soudan. «Revue du botanique appliquée et d'agriculture tropicale», Vol. 17, N. 187, 1937.
92. Clayton B. S. The Duty of Water for Rice Irrigation on the Grand Prairie of Arkansas. «The Rice Journal», Vol. 33, N. 2, 1930.
93. Copeland E. B. Rice, London, 1924.
94. Criddle W. P. & Haise H. P. Irrigation in Adid Regions. «The Year book of Agriculture.», 1957.
95. Dennett J. H. The Effect of Irrigation of Paddy with Salt Water. «The Malayen Agricultural», Vol. XXIV, N. 6, 1936.
96. Douglas C. E. Report on the Cultivation and Preparation of Rice in Egypt., 1929.

97. Farn Land Section, Toyama Prefecture (Japan). Control of percolation through Paddy Fields by using Colmataje. «Third Congress on Irrigation and Drainage. San Francisco.» New Delhi, Q 8, R. 17, 1957.
98. Finfrock D. C., Viste K. L., Harvey W. A., Muller M. D. Weed control in rice. University of California et California agricultural experiment Station., 1958.
99. Chose R. L. M., Ghatge M. B., Subrahmanyan V. Rice in India. New Delhi, 1956.
100. Green V. E. Rice—soil conserving of Soil depleting? «Soil Science», U. S. S., Vol. 17, N. 3, 1953.
101. Gustapon E. Irrigation of rice in the United States. «Civilengineering», Vol. 7, N. 7, 1937.
102. Horrell A. T. & Faulkner M. D. Rice Irrigatio in Lousiana. «The Rice Journal», N. 5, 1960.
103. International Rice Year book, p. 57, 1957.
104. Jones J. W. Experiments in Rice Cultureat the Biggs Field Station in California. «Bull. U. S. Department of Agriculture», N. 1387, 1926.
105. Jones J. Progress in Experiments in Water—Grass Control at the Biggs Rice Field Station. «Bull. Agr. Exp. Sta. Berceley, California», N. 375, 1932.
106. Kazushi Oshima, Massahiro Baba, Eisaburo Naito. Control of percolation through Paddy Fields by using Bentonite. «Third Congress on Irrigation and Drainage. San Francisco», Q. 8, R. 16, New Delhi, 1957.
107. Kondo M. & Okamura T. Beziechung zwischen Wassertemperatur und dem Wachstum der Reispflanzen. «Berichte Ohara Instituts landw. Forsch. Kurashiki., Band V, Heft I, 1930.
108. Kongaté S. B. Le delta ressuseité. Republique du Mali. Segou, 1961.
109. Lowry R. L. & Consumptive use of water for agriculture. «Civil Engineers», N. 67, 1941.
110. Johnson A. E., Maianu N. A. Studiul proceselor de solinizare secundara a unor soluri lunka Dunari. «Autoreferat al lukrorii de disertatie pentri obtinerea titlului de candidat in stinte agrikole. Bukuresti, 1962.
111. Marr J. C. Le nivellement du sol en vue de l'irrigation. «Publication du centre de recherches et d'experimentation du genie rural de Rabat». Brochur. N. 4, 1955.
112. Meikle W. L. Land lovelling procedure utilizes heavy equipment. «Civil Engineering», Vol. 20, N. II, 1950.
113. Nogai I. Japonica rice. Tokyo, 1959.

114. Obrejanu J., Aldescu I., Iancovici B., Mainu A., Pasa V., Renea S., Unceanschi L. Consideratii privind pracesul de Salinizare Secundara qi de ameliorare a unor terenuri Salinizare sub orezarie in lunca Dunarii. «Probleme de pedalogie». Bucurechti, 1958.
115. Paul A. K., Mukherjee D. K. Evolving flood resistant varieties in Bengal. «Rice News Teller», N. 3, 1958.
116. Sen P. K. Studies in the Water relations of rice. 1. Effect of Watering on the race of Growth and Yield of four varieties of Rice. «The Indian Journal of Agricultural Scienee», N. 1, 1937.
117. Skvortzow B. W. The Mountain Rice of North Manchuria. «The Journal of the North China», Vol. LII, 1921.
118. Smith H. L. Underground Irrigation. «The Rice Journal», Vol. 65, N. 9, 1962.
119. Smith R. G. Ground water. Its uses for Irrigation, depletion of the Water table and artificial Recharding. «International Commission on Irrigation and Drainage», Second Congress, Q 6, R. 2, Vol. 111, 1954.
120. Spitz G. Les Irrigations du Niger. Paris, 1949.
121. Thornton D. Land—use adjustment for Soil conservation in Tanganyika Territory. «Bulletin agricole du Conge Belge», Vol. 40, 1949.

Оглавление

Предисловие 3
Введение 5

1. Водохозяйственные расчеты

Глава I. Возделывание риса 9
Климат 9
Почвы 13
Способы возделывания 16

Глава II. Водный режим 17
Терминология 17
О культуре увлажняемого риса 17
Типы культуры риса 22
Водный режим и микроклимат рисового поля 25
Водный режим затопляемого риса 31

Глава III. Рис на засоленных землях 44
Солевыносливость риса 44
Возделывание риса на засоленных почвах 45
Рис как мелиорирующая культура 47
Техника производства промывных поливов 52

Глава IV. Грунтовые воды 55
Режим грунтовых вод под затопленным рисовым полем . 55
Боковой отток 62
Режим грунтовых вод под рисовой оросительной системой 67
Режим грунтовых вод на прилегающих территориях . . 71
О действительном уровне грунтовых вод 77

Глава V. Оросительная норма 87
Фактические оросительные нормы 87
Структура оросительной нормы риса 92
Методы определения величин, входящих в формулу оросительной нормы риса 95
Рациональная величина оросительной нормы 107

Глава VI. Водный баланс 111
Водный баланс чека 111
Водный баланс карты 113

Водный баланс рисовой оросительной системы 119
Повторное использование сбросных вод 126

Глава VII. Гидромодуль 129

Первоначальное затопление 129
Укомплектование графика гидромодуля для периода первоначального затопления 136
Поддержание слоя затопления 145
Формулы для определения ординат графика гидромодуля 151
Фактические графики гидромодуля 153

2. Рисовая оросительная система

Глава VIII. Способы водообеспечения культуры риса . . 158

Культура риса без ирригации 158
Краткосрочное регулирование дождевого стока 162
Самотечное орошение живым током 164
Самотечное орошение с годовым и многолетним регулированием 166
Машинное орошение 167
Осушение и орошение затопляемых территорий 168
Орошение грунтовыми водами 170
Типы рисовых оросительных систем в СССР 172

Глава IX. Чек 173

Агротехнические соображения 174
Подсчет объемов земляных работ при проектировании планировки рисовых полей 177
О рельефе и микрорельефе 181
Объем планировочных работ в зависимости от формы, положения и размеров чека 188
Точность планировочных работ 199
Производство планировочных работ 202
Эффективность планировки рисовых полей 205

Глава X. Карта 206

Размеры карты 206
Расположение карты относительно уклона местности . . 209
Валики 211
Картовый оситель 221
Картовый сброс 223
Карта Краснодарского типа 226

Глава XI. Оросительная и водоотводная сеть 230

Оросительная сеть 230
Водоотводная сеть 233
Конструктивные вопросы 237
Армирование 240
Автоматизация водораспределения 242
Размеры оросительной системы и общая компоновка . . 249
Рыборазведение 252

Глава XII. Хозяйственное оборудование и устройства . . . 254

Дороги 254
Лесополосы 257
Хозяйственные усадьбы и эксплуатационные поселки . . 266

Глава XIII. Укрупненные измерители 267

Стоимость 267
Сеть 269
Вертикальная планировка 271
Сооружения 273
Дороги 274

Глава XIV. Экономическая эффективность орошения риса 276

Глава XV. Эксплуатация рисовых оросительных систем . 280

Освоение вновь построенной рисовой системы 280
Годичный цикл эксплуатационных работ на рисовой системе 283
Наблюдения и исследования 288
Заключение 291
Литература 293

Зайцев Виталий Борисович
РИСОВАЯ ОРОСИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА

Редактор *В. П. Орлова*
Художник *С. А. Бочаров*
Художественный редактор *Н. М. Коровина*
Технический редактор *Н. Н. Копнина*
Корректор *В. М. Русинова*

Сдано в набор 13/II 1964 г. Подписано к печати 13/V 1964 г.
Т 06861. Формат 84×108 1/32. Печ. л. 9,5 (15,58)
Уч.-изд. л. 15,86. Изд. № 2613. Т. п. 1964 г. № 265. Тираж 3000 экз.
Заказ № 5347. Цена 89 коп.

Издательство „Колос", Москва, К-31, ул. Дзержинского, 1/19.
Типография им. Смирнова. Смоленск, пр. Ю. Гагарина, 2.