

ПОВЫШЕНИЕ

КАЧЕСТВА

ОРОСИТЕЛЬНОЙ

ВОДЫ

ВСЕСОЮЗНАЯ ОРДЕНА ЛЕНИНА
И ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
АКАДЕМИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ НАУК
имени В. И. ЛЕНИНА

ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА ОРОСИТЕЛЬНОЙ ВОДЫ

СБОРНИК НАУЧНЫХ ТРУДОВ



МОСКВА
ВО „АГРОПРОМИЗДАТ“
1990

Повышение качества оросительной воды. — М.: Агропромиздат, 1990. — 179 с.: ил. ISBN 5-10-001383-4.

Изложены результаты научно-исследовательских работ по повышению качества оросительной воды (активация водных систем физическими полями, внесение химических мелиорантов, макро- и микроэлементов и др.).

Показано, что эффективность использования орошаемых земель в значительной степени зависит от качества воды источников орошения. Дана оценка пригодности для орошения природных и сточных вод, рассмотрены возможности использования минерализованных вод и способы улучшения их оросительных свойств. Приведено описание некоторых технологий и сооружений для регулирования качества коллекторно-дренажных и сбросных вод сельскохозяйственных угодий.

Таблиц 49, иллюстраций 18.

Редактор *Э. И. Забазлаева*

Редакционная коллегия: член-корреспондент ВАСХНИЛ *Б. Г. Штепа* (ответственный редактор), доктор сельскохозяйственных наук *Б. А. Зимовец*, кандидат технических наук *С. Я. Безднина*, кандидат технических наук *Г. С. Нестерова*, кандидат географических наук *Т. Н. Аткарская*.

П 3804000000-076 113-89
035 (01) -90

ПРЕДИСЛОВИЕ

В стране предусмотрено дальнейшее развитие орошения, поэтому проблема качества оросительной воды с каждым годом приобретает все большее значение.

До недавнего времени считалось, что для поливов пригодна вода минерализацией менее 1,0 г/л, которая была характерна для основных крупных рек страны. Однако под влиянием антропогенного воздействия качество воды источников орошения имеет тенденцию к ухудшению, особенно в низовьях рек Средней Азии, Украины, Казахстана, Северного Кавказа, — увеличивается ее минерализация, агрессивность по отношению к бетону и металлам, способность вызывать засоление, осолонцевание почв.

Ограниченность водных ресурсов в большинстве районов орошения требует поиска дополнительных водоисточников, в том числе и с водами некондиционного качества (сточные, коллекторно-дренажные и др.), а также путей повышения эффективности оросительной воды. В связи с этим последние 15...20 лет в стране ведутся научные исследования по обоснованию методов улучшения качества воды, ее химической мелиорации, а также активации различными физическими воздействиями, что способствует более продуктивному ее использованию.

Современные исследования показывают, что допустимое содержание солей в воде для орошения определяется гранулометрическим составом почвы, ее водно-физическими и физико-химическими свойствами, а также солеустойчивостью растений, дренированностью территории и другими условиями.

В сборнике рассматриваются вопросы оценки качества оросительной воды, влияния минерализованных вод на почву и растения, возможности использования для орошения сточных вод; дается описание некоторых технологий и сооружений для регулирования качества коллекторно-дренажных и сбросных вод.

РЕГЛАМЕНТИРОВАНИЕ И УЛУЧШЕНИЕ КАЧЕСТВА ОРОСИТЕЛЬНОЙ ВОДЫ

БЕЗДНИНА С. Я., кандидат технических наук

*Всесоюзный научно-исследовательский институт
гидротехники и мелиорации*

Необходимость интенсификации сельскохозяйственного производства, обострение проблемы охраны окружающей среды в связи с ростом дефицита воды как по количественным, так и по качественным показателям выдвигают в ряд важнейших исследования по разработке научно-методических основ регламентирования качества воды для орошения, способов и технологии улучшения состава минерализованных, в том числе коллекторно-дренажных, вод. Решение этой сложной и многоаспектной проблемы позволит создать единую систему оценки качества оросительной воды, внедрение которой будет способствовать сохранению и повышению плодородия почв, охране и рациональному использованию водных ресурсов, получению запланированного урожая сельскохозяйственных культур высокого качества. Вместе с тем система оценки качества воды для орошения должна содержать рекомендации по использованию минерализованных вод для орошения солеустойчивых культур в соответствующих природно-хозяйственных условиях с оценкой степени риска.

Для минерализованных вод, в том числе коллекторно-дренажных с содержанием солей, биогенов и пестицидов выше допустимого уровня, необходимы разработка и реализация методов и технологии улучшения их состава. Это позволит, с одной стороны, использовать их для орошения и получать дополнительную сельскохозяйственную продукцию, с другой — снизить или прекратить сброс загрязненных дренажных вод в реки, моря и озера.

Вода — особо ценный ресурс прежде всего потому, что при ее дефиците невозможно развитие не только какой-либо отрасли производства, но и затруднено само существование человека. При ухудшении качественного состава воды снижается устойчивость экологической системы, нарушается ее нормальное функционирование. Источником загрязнения воды является практически любая деятельность человека в пределах водосборного бассейна. Коммунально-бытовые, производственные, сельскохозяйственные сточные воды (в том числе коллекторно-дренажные воды и стоки крупных животноводческих комплексов и ферм), поверхностный сток, водный транспорт — это основные источники поступления в водные объекты тяжелых металлов, биогенов, пестици-

дов, нефтепродуктов, фенолов, поверхностно-активных и других веществ. В результате изменяются физические и органолептические свойства воды, ее химический состав, а также биохимический режим водоемов и содержание в них микроорганизмов. Это нарушает экологию водоемов, снижает их биопродуктивность. Кроме того, водоем становится источником поступления различных токсических веществ по водно-трофическим цепям: водоем — человек; водоем — животные — человек; водоем — почва — растение — человек; водоем — почва — корма — животные — человек.

Токсические вещества вызывают структурные изменения в экологических системах, так как постепенно выводят из структуры сообщества, наиболее чувствительные к загрязнению воды. В результате во многих странах сложилась острая ситуация, связанная с загрязнением водных ресурсов, и в 60-х годах проблема дефицита пресной воды была признана проблемой международного значения, затрагивающей все аспекты деятельности человеческого общества и оказывающей огромное влияние на социологию, здравоохранение и экономику.

На развитие орошаемого земледелия в крупных развитых странах расходуется около 60 % общего водопотребления.

В целом для нормального функционирования агроэкосистемы требуется вода, безвредная по содержанию химических веществ и болезнетворных микроорганизмов, биологически полноценная по составу макро- и микроэлементов. Качество воды — важнейший показатель стабильности агроэкосистем, он влияет на плодородие почв, нормы водопотребления, урожайность и качество сельскохозяйственной продукции. Вместе с тем качество воды оказывает влияние на сохранность материалов сооружений гидромелиоративных систем и в целом на их долговечность. В соответствии с изложенным для оценки качества оросительной воды могут быть использованы экологические, агрономические и технические критерии (С. Я. Безднина, 1986).

Экологические критерии служат для оценки качества воды с точки зрения охраны объектов окружающей среды от загрязнения и обеспечения безопасной санитарно-гигиенической и медико-биологической обстановки, а ввиду тесной взаимосвязи сельскохозяйственного производства с поверхностными и подземными водами — с точки зрения их влияния на поверхностные и подземные воды в системе сельскохозяйственного водоотведения.

Агрономические критерии служат для оценки качества воды с позиции сохранения и воспроизводства почвенного плодородия (предупреждение развития процессов засоления, осолонцевания почв, нарушения микробиологического режима), обеспечения необходимого объема (продуктивность, интенсивность развития) и качества сельскохозяйственной продукции (полноценность, доброкачественность, сохранность).

Технические критерии предназначены для оценки качества воды с учетом их влияния на сохранность и долговечность элементов гидромелиоративных систем с целью предотвращения развития процессов коррозии, зарастания.

Наряду с экологическими, агрономическими и техническими критериями могут быть использованы экономические — для оценки качества воды по рентабельности затрат на ее улучшение и по наносимому ущербу при использовании воды, не отвечающей необходимым требованиям. В основу оценки качества воды по экономическим критериям может быть положена концепция приемлемого риска. В настоящее время можно считать установленным, что качество воды, идущей на орошение, влияет на плодородие почв, урожайность и качество продукции. При увеличении минерализации воды возрастает потребность в промывном режиме орошения, увеличении мощности дренажа. Следовательно, при оценке возможности использования для орошения воды повышенной минерализации необходимо учитывать затраты на улучшение ее качества, с одной стороны, и ущерб от снижения плодородия почв, урожайности, качества продукции и увеличения затрат водных, материальных и трудовых ресурсов — с другой.

Если водоисточник содержит токсические вещества и их метаболиты, способные мигрировать по звеньям трофической цепи, то при оценке возможности использования его для орошения в первую очередь следует применять экологические и агрономические критерии.

В соответствии с экологическими, агрономическими и техническими критериями нормированию подлежит система показателей качества воды, построение которой учитывает различную степень влияния отдельных ее составляющих на функционирование и взаимосвязь компонентов агроэкосистемы. В связи с этим представляется важным ранжировать систему показателей с выделением трех групп.

В первую группу включены показатели, характеризующие свойства воды и содержащихся в ней веществ, необходимых для нормального функционирования компонентов агроэкосистемы. Качество воды по этим показателям должно регламентироваться по верхнему и нижнему пределам их значений. Ко второй группе относятся показатели, характеризующие наличие веществ в воде, оказывающих при определенных их количествах отрицательное воздействие на отдельные компоненты агроэкосистемы и нормируемых по предельно допустимому содержанию. Третья группа — это показатели, характеризующие вещества, содержание которых в воде недопустимо или допустимо в микроколичествах.

Необходимо отметить, что показатели, относящиеся к первой группе, зависят от особенностей природно-хозяйственных условий региона; большая же часть показателей второй и особенно третьей группы, по-видимому, может иметь одинаковое значение для всех природных зон.

Качество оросительных вод, прежде всего рН, солевой состав и токсиканты влияют на фракционный состав гумуса, микробиологические и физико-химические процессы, определяющие плодородие почв. Орошение водой с высоким содержанием кальция способствует усилению микробиологических и биохимических процессов, накоплению гуматного гумуса, снижению его подвижности. Преобладание натрия и

магния в оросительной воде вызывает противоположный эффект, способствует распаду специфических гумусовых веществ, повышает содержание обменного натрия и магния в почвенно-поглощающем комплексе, что влечет за собой изменение водно-физических, физико-химических и фильтрационных свойств почв. Интенсивность этих процессов в различных природных зонах зависит от типа почв, величины и состава почвенно-поглощающего комплекса, технологии орошения. Важные показатели качества оросительной воды — pH и температура. Вода, имеющая pH 6,5...8,0 и температуру 15...30°C, пригодна для орошения сельскохозяйственных культур на почвах всех типов.

Оценка качества оросительной воды

Класс воды	Минерализация воды для орошения почв		
	с тяжелым механическим составом и почв, имеющих ППК > 30	со средним механическим составом и почв, имеющих ППК 15...30	с легким механическим составом и почв, имеющих ППК < 15
I	0,2...0,5	0,2...0,6	0,2...0,7
II	0,5...0,8	0,6...1,0	0,7...1,2
III	0,8...1,2	1,0...1,5	1,2...2,0
IV	> 1,2	> 1,5	> 2,0

Продолжение табл.

Класс воды	Группы воды по степени опасности развития процессов			
	хлоридного засоления	натриевого осолонцевания	магниевое осолонцевания	содообразования
	Cl ⁻	Ca ²⁺ /Na ⁺	Ca ²⁺ /Mg ²⁺	(CO ₃ ²⁻ + HCO ₃ ⁻) — (Ca ²⁺ + Mg ²⁺)
I	< 2,0	> 2,0	> 1,0	< 1,0
II	2,0...4,0	2,0...1,0	1,0...0,7	1,0...1,25
III	4,0...10,0	1,0...0,5	0,7...0,4	1,25...2,5
IV	> 10,0	< 0,5	< 0,4	> 2,5

Примечания: 1. Концентрация ионов, мг·экв/л. 2. ППК — емкость поглощения почв, мг·экв/100 г почвы.

Классы оросительной воды

Характеристика классов оросительной воды

- Класс I Вода не оказывает неблагоприятного влияния на плодородие почв, урожайность и качество сельскохозяйственной продукции, на поверхностные и подземные воды. Ограничения состава сельскохозяйственных культур не требуется
- Класс II Вода не оказывает неблагоприятного влияния на качество сельскохозяйственной продукции, поверхностные и подземные воды. При недостаточной дренированности возможно засоление почв, снижение урожайности культур слабой солеустойчивости до 5...10%. Для удаления солей сверх допустимого уровня их содержания в почве требуется умеренный промывной режим орошения при обеспеченной дренированности, а также специальный комплекс мелиоративных мероприятий

*Классы
ороси-
тельной
воды*

Характеристика классов оросительной воды

Класс III	Вода оказывает неблагоприятное влияние на плодородие почв и урожайность сельскохозяйственных культур; возможно снижение урожайности культур слабой и средней солеустойчивости до 10...25 %. Без предварительной мелиорации воды и почв неизбежно развитие процессов засоления, натриевого и магниевое осолонцевания и содообразования почв. Необходимо регулирование рН воды, обогащение ее кальцием. Требуется промывной режим орошения при обеспеченной дренированности, интенсивность которого должна быть увязана со свойствами и составом почв, а также ограничение состава сельскохозяйственных культур и специальный комплекс мелиоративных мероприятий
Класс IV	Вода оказывает неблагоприятное влияние на плодородие почв, урожайность и качество сельскохозяйственной продукции; снижение урожайности культур слабой и средней солеустойчивости может достигать 25...50 %. Требуется мелиорация почв и воды. Вода непригодна без предварительного изменения ее качественного состава или без проведения специальных исследований ее влияния на качество сельскохозяйственной продукции, на плодородие почв и другие природные факторы

• В таблице приведена классификация для оценки качества оросительной воды: классы воды — по общей минерализации (с учетом механического состава почв и емкости поглощения), группы воды — по соотношению катионов, содержанию хлора и значению остаточного карбоната натрия — ОКН (ОКН по И. Саболич и К. Дараб, 1982). Следует отметить, что классы и группы воды равнозначны; понижение качества воды по одному из показателей приводит к соответствующему понижению класса.

Применение воды I класса не имеет ограничений, II, III и IV классов — обусловлено ограничениями, число которых возрастает к IV классу.

При использовании воды III и IV классов (для орошения почв с высоким естественным плодородием) с целью причинения минимального ущерба им необходимы предварительная подготовка воды (деминерализация, детоксикация, химическая мелиорация и т. д.) и применение соответствующего комплекса агро-мелиоративных мероприятий.

Повышение качества минерализованных, в том числе коллекторно-дренажных, вод имеет двухцелевое назначение:

предотвращение загрязнения водоисточников (поверхностных и подземных вод), почв и сельскохозяйственных растений;

рациональное использование водных ресурсов с целью получения дополнительной сельскохозяйственной продукции (экономия водных ресурсов 10...15 %).

Достижение поставленных целей возможно при выполнении главного условия — выведение солей, биогенов, пестицидов и других ингредиентов химического состава коллекторно-дренажных вод из гидро-геохимического оборота за пределы рассматриваемой территории, т. е. технологические процессы должны завершаться конкретными решения-

ми по их утилизации. Качество вод следует регулировать для региона в целом, в масштабе бассейнов рек, отдельных массивов орошения и, наконец, в пределах мелиоративной системы. Принципиальные подходы к управлению качеством воды могут быть едиными, масштабы и мощности соответствующих сооружений и устройств различными. Выбор варианта и принятие решения должны быть обоснованы технико-экономическими расчетами.

В настоящее время воду деминерализуют преимущественно дистилляцией, электродиализом, обратным осмосом с использованием традиционных и естественно возобновляемых источников энергии. Стоимость деминерализации достаточно высока, особенно в южных маловодных районах. Однако, если учесть, что технология опреснения постоянно совершенствуется, то затраты могут оказаться оправданными, тем более, что важнейший экономический показатель деминерализации — тот природоохранный эффект и предотвращенный ущерб, который при этом достигается. Так, по данным Э. И. Чембарисова, Б. А. Бахритдинова (1984), ущерб от снижения урожайности при использовании минерализованных вод в некоторых хозяйствах Узбекистана составил, р. на 1 га:

40...100	при орошении хлопчатника
40...80	„ „ зерновых
200...400	„ „ овощей

Значительные трудности возникают при решении вопроса об утилизации отходов в стадии предподготовки воды, а также солей и рассолов после деминерализации. Так, в процессе предподготовки воды на заводе по опреснению дренажных вод в США производительностью 378 тыс. м³/сут (исходная минерализация 3100 мг/л) количество отходов составляет 45 т/сут. Выход опресненной воды — 70 % (при удалении солей в среднем на 94 %), следовательно, 30 % объема после деминерализации составляют рассолы.

В ПНР из рассолов после опреснения получают в едином технологическом процессе несколько видов товарной продукции: чистую поваренную соль с содержанием 99 % хлористого натрия, сульфат кальция, соли магния для производства огнеупоров и калийные соли для удобрений. Реализация полученных продуктов окупает расходы на деминерализацию.

Таким образом, деминерализация воды в больших масштабах с реализацией безотходной технологии может рассматриваться как один из перспективных методов регулирования качества минерализованных, в том числе коллекторно-дренажных, вод.

Вместе с тем важно учесть, что при использовании обратноосмотических установок из коллекторно-дренажных вод практически полностью удаляются хлорорганические ядохимикаты: на 98...99 % — фосфорорганические, нефтепродукты и другие загрязняющие вещества, т. е. достигается деминерализация и детоксикация дренажных вод.

Существуют различные методы детоксикации дренажных вод: биологические, биохимические, физико-химические и механические. Наиболее перспективно применение комплекса биологических и биохимических методов с другими, создание малоэнергоемких, безотходных технологий, относительно простых в эксплуатации сооружений и устройств. Этим требованиям в значительной мере отвечают разрабатываемые в СССР и за рубежом биоинженерные сооружения с использованием макро- и микрофитов. Принцип их действия заключается в том, что биоценозы высшей и низшей растительности определенных видов обладают способностью поглощать, включать в свой обмен веществ и в конечном итоге разрушать различные токсические вещества. Создание биопрудов, регулируемых и инфильтрационных биоплато, использующих разрушающую способность биоценозов высшей водной растительности и аналогичных свойств почв и грунтов, — также одно из важных направлений для решения поставленной проблемы.

Для детоксикации, денитрификации дренажных вод, биоассимиляции азота и фосфора можно применять микрофиты; сооружения с использованием микрофитов не требуют энергии и дорогостоящих материалов.

Для изменения неблагоприятного соотношения ионов в коллекторно-дренажных водах могут быть также использованы различные химические мелиоранты. Так, добавлением азотной кислоты можно полностью вывести из воды карбонат и гидрокарбонат (ионы), заменив их элементом питания растений (анион NO_3), и наряду со снижением общей минерализации добиться значительного снижения pH. Рациональная доза — 0,2 мл концентрированной азотной кислоты на 1 л дренажной воды.

Из испытанной серии химмелиорантов наиболее эффективной оказалась кальциевая селитра $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$. Химмелиорация дренажной воды $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ дает значительное снижение pH и отношения $\text{Na}^+/\text{Ca}^{++}$ (несмотря на то, что общая концентрация увеличивается, это происходит за счет нетоксичных солей). Следующим по эффективности идет гипс ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) и фосфогипс, которые также позволяют уменьшить относительное содержание в воде натрия. Суперфосфат не оказал на воду мелиорирующего действия.

Для улучшения качества воды, внесения химмелиорантов и удобрений в почву с поливной водой может быть использована специальная гидроциклонная установка — дозатор ГУД-3/250-30 „Геничанка”. Установлено, что внесение химмелиорантов и удобрений с поливной водой в 2...3 раза эффективнее, чем их внесение непосредственно в почву. К химмелиорантам, вносимым с оросительной водой с помощью гидроустановки, предъявляются определенные требования. Для фосфогипса важно соблюдение условий по гранулометрическому составу: согласно МРТУ-2—65 вся масса муки должна проходить через сито с отверстиями 1 мм и не менее 75...80% — через сито с отверстиями 0,25 мм. Железный купорос должен содержать не менее 80%

$\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ и 3...4% свободной серной кислоты (H_2SO_4), остальное – свободная вода, гидроксиды железа и другие, не вредные для культурных растений соединения. К известняку, мелу также предъявляются жесткие требования по гранулометрическому составу (согласно МРТУ-2—65 на сыромолотый гипс). Кроме того, мелиорант должен содержать не менее 80% CaCO_3 (отходы целлюлозно-бумажных комбинатов).

Минерализованные воды в зависимости от химического состава могут быть использованы для орошения солеустойчивых культур и промывок засоленных земель. В этом направлении необходимо дальнейшее развитие исследований по повышению солеустойчивости ведущих сельскохозяйственных культур, а также использование малоплодородных, песчаных и засоленных земель для выращивания кормовых и других солеустойчивых растений. При этом очень важен контроль формирования качества продукции для предотвращения накопления в растениях биогенов, пестицидов и других токсикантов, особенно в овощах и кормах, потребляемых в свежем виде.

Изложенные методы и технология повышения качества коллекторно-дренажных вод требуют дальнейшего совершенствования, создания малознергоемких, экономичных сооружений и устройств, внедрения их на реконструируемых и строящихся мелиоративных системах. Эти сооружения и устройства, являясь важной частью мелиоративной системы, должны обеспечивать охрану водных ресурсов, их рациональное использование, сохранение и повышение плодородия почв.

УДК 628.394:556, 388:634.67

НЕКОТОРЫЕ МЕТОДЫ И СООРУЖЕНИЯ ДЛЯ РЕГУЛИРОВАНИЯ КАЧЕСТВА КОЛЛЕКТОРНО-ДРЕНАЖНЫХ ВОД

В. Г. МАГМЕДОВ,

кандидат геолого-минералогических наук

М. А. ЗАХАРЧЕНКО

*Всесоюзный научно-исследовательский институт
по охране вод*

Прогрессирующая химизация сельскохозяйственного производства, дальнейшее расширение площадей орошаемых земель с применением дренажных устройств, значительное число неканализованных населенных пунктов в сельской местности зачастую приводят к загрязнению водных объектов содержащимися в поверхностном и дренажном стоках остатками удобрений, пестицидов, взвешенными веществами, ПАВ и нефтепродуктами. По имеющимся данным, только поверхностным стоком с сельскохозяйственных угодий вымывается 15...20% внесенного азота, 1...9% фосфора и других минеральных солей (В. Г. Минеев, 1984;

М. Н. Тарасов и др., 1985). При этом нарушаются установившиеся биологический и гидрохимический режимы водных объектов, ухудшается качество воды источников водоснабжения. Объемы и характер поступающих с сельской местности поверхностного и дренажного стоков делают невозможным или экономически труднореализуемым использование традиционных водоохраных мероприятий и сооружений, применяемых в промышленности и коммунальном хозяйстве.

Поскольку сбросные воды сельскохозяйственного производства в последние годы стали одним из основных источников загрязнения окружающей среды, во ВНИИВО в 1983...1986 гг. проведен комплекс гидрогеологических, гидрохимических, гидробиологических и биохимических исследований по разработке методов и сооружений регулирования качества коллекторно-дренажных вод массивов орошения.

В случаях, когда даже фоновые концентрации тех или иных химических соединений превышают нормативные для сброса в водный объект, а также при интенсивных методах сельскохозяйственного производства должны найти широкое применение биоинженерные сооружения регулирования качества воды (В. Г. Магмедов, 1983).

Биоинженерные сооружения как водоохраные сооружения многоцелевого назначения могут быть использованы: для обезвреживания соединений азота, фосфора, органических веществ, против бактериального загрязнения в коллекторно-дренажных водах осушительно-увлажнительных систем, поверхностном стоке с богарных земель, сточных водах животноводческих комплексов, хозяйственно-сточных водах небольших сельских населенных пунктов, моечных водах мест хранения сельхозтехники.

Объединяя в себе основные положительные свойства инфильтрационных сооружений открытого типа, сооружений для почвенной очистки (с посадками высших водных растений), а также различного рода сооружений, в которых в качестве биофильтров использованы биоценозы макрофитов, биоинженерные сооружения представляют собой качественно новое водоохраное решение, в значительной степени лишенное недостатков его прототипов — громоздкости, необходимости периодической рекультивации верхней части фильтрующей толщи, возможности отрицательного воздействия на окружающую среду, сезонности в работе.

Как показали наши исследования, трансформация качества воды, в частности по группе азота, в биоинженерных сооружениях начинается в первые сутки и протекает как бы в две стадии.

Первая стадия — очистка в водной массе на горизонтальном пути движения потока (рис. 1) за счет усвоения собственно макрофитами и составными компонентами их ценоза (бактерио- и фитопланктоном, перифитоном, фито- и зообентосом). Динамика поглощения соединений азота в водной массе сооружений коррелируется с данными (И. В. Морозов, 1984) о работе биопрудов. В условиях динамически неустановившегося режима эксплуатации (порциальная подача воды

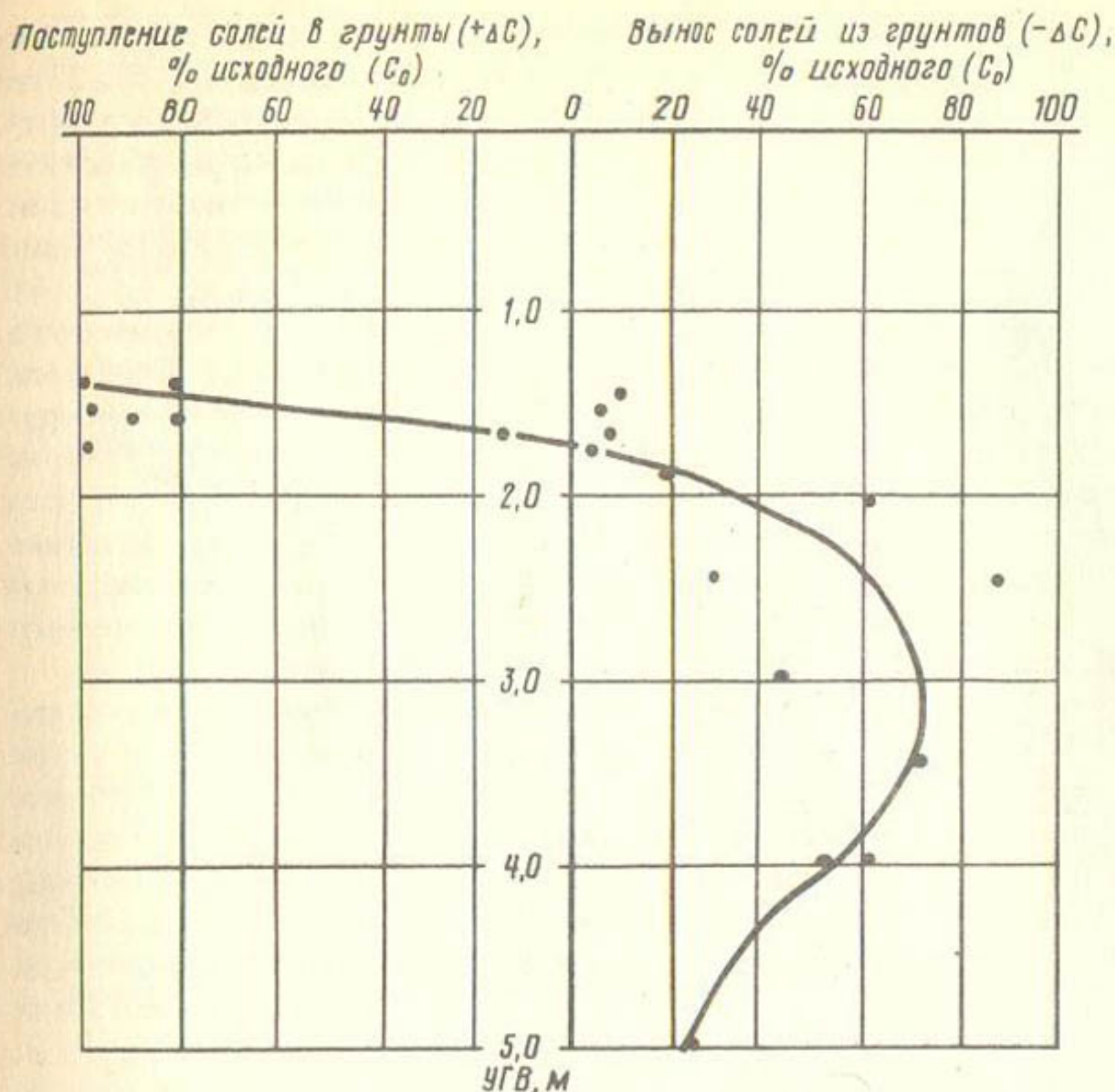


Рис. 1. Изменение содержания солей в грунтах зоны аэрации в зависимости от глубины залегания уровня грунтовых вод

в сооружения; уровень воды падает по мере инфильтрации с 0,6 до 0,1...0,2 м) за 3 сут отмечено снижение содержания иона аммония в среднем по всем сериям эксперимента на 75% по сравнению с исходными концентрациями, нитрата иона — на 65, нитрита иона — на 70%.

Вторая стадия — ее можно условно назвать доочисткой — наблюдается в фильтрующей толще грунтов сооружений. Изъятие соединений азота продолжается в ней за счет усвоения мощной корневой системой высших водных растений, жизнедеятельности различных таксономических групп бактерий (нитрификаторов, денитрификаторов, азотфиксаторов, аммонификаторов), а также за счет физико-химических процессов сорбции, комплексообразования и осаждения. На долю второй стадии приходится приблизительно две трети положительного эффекта работы сооружений в целом. Общая же эффективность работы таких сооружений по минеральным формам азота при различных режимах эксплуатации составила за 6 сут по аммонийному азоту минимум 65%, максимум 95%, по нитритному азоту — соответственно 95 и 99%, по азоту нитратов — 90 и 99% (рис. 2, 3).

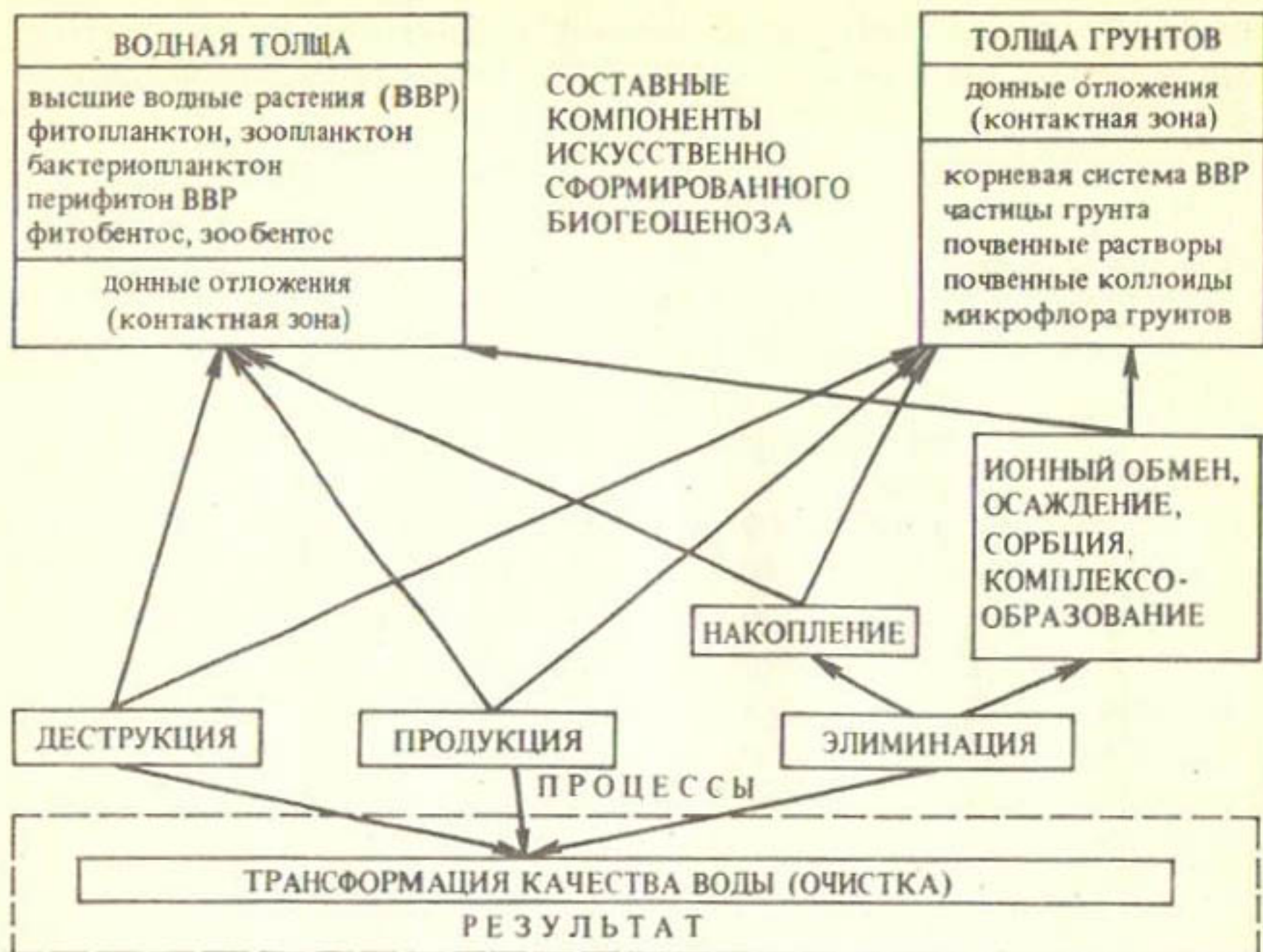


Рис. 2. Основные компоненты искусственно сформированного биогееоценоза биоинженерных сооружений регулирования качества воды и протекающие в них процессы

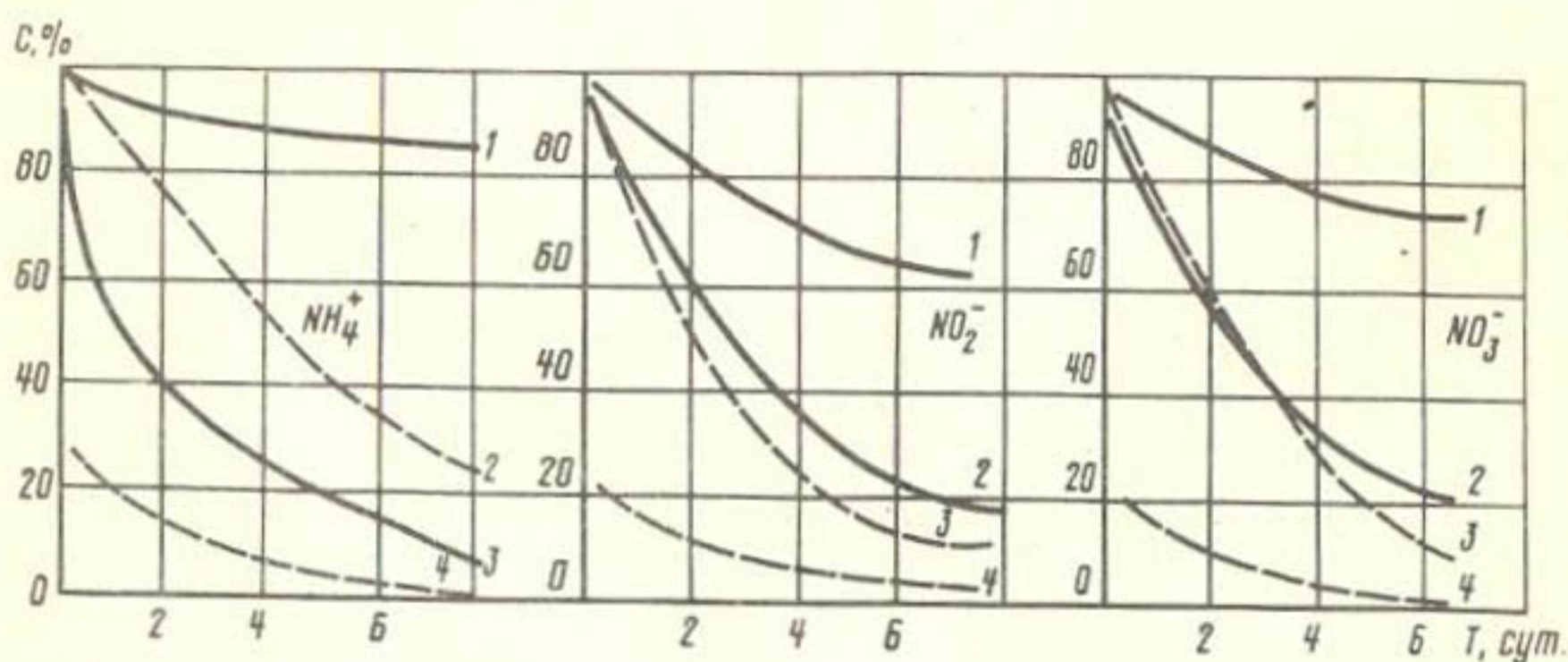


Рис. 3. Снижение концентраций (C, %) аммонийного, нитритного и нитратного азота в условиях динамически установившегося (1, 2) и динамически не установившегося (3, 4) режима эксплуатации биоинженерных сооружений (сплошная линия – в водной массе, пунктир – в инфильтрате)

Наиболее интенсивно процессы изъятия соединений азота протекали в начале вегетационного периода тростника обыкновенного – в мае – июне, несколько замедлились в период цветения (вторая половина июля), интенсифицировались в начале августа, оставаясь приблизительно на одном уровне вплоть до завершения

периода вегетации. Максимальный эффект изъятия нормированных ингредиентов и улучшения интегральных показателей качества воды отмечен в условиях неуставившегося режима инфильтрации, когда моделировались параметры зоны аэрации. Основные же изменения химического состава и физических свойств очищаемой воды происходили в верхнем 0,5...0,8-метровом биологически активном слое грунтов. Как показали экспериментальные исследования, именно в этом диапазоне глубин фильтрующей толщи искусственно созданного биогеоценоза протекают наиболее интенсивные процессы минерализации органического вещества, нитрификации, денитрификации, азотфиксации и сульфатредукции. Нами установлено, что минимально необходимое время контакта потока с биогеоценозом, при котором достигается максимальный эффект элиминации нормированных веществ и не отмечается вторичное загрязнение, для неуставившегося режима эксплуатации составляет 3 сут, для уставившегося — 6 сут.

Эффективность применения биоинженерных сооружений, в частности для обезвреживания соединений азота, особенно очевидна при сравнении их работы с работой контрольных сооружений (без посадок макрофитов). При пропускании через контрольные сооружения воды с концентрацией аммонийного азота 100...400 мг/л во всех сериях эксперимента отмечено интенсивное загрязнение нитритами и нитратами на протяжении 8...10 сут и более. При этом концентрация нитритов и нитратов на выходе сооружений была соответственно в 1,5...3 и 3...5 раз выше, чем на входе.

Установленные закономерности и зависимость направленности и интенсивности процессов улучшения качества воды в биоинженерных сооружениях от факторов внешнего воздействия — температуры воды и воздуха, инсоляции, pH среды, исходной концентрации нормированных ингредиентов и веществ — позволили составить уравнение баланса поступающих в систему и выходящих из нее веществ. На примере соединений минерального азота оно выглядит следующим образом:

$$C_{\text{атм}} + C_{\text{вх}} = C_{\text{вврф}} + C_{\text{вврк}} + C_{\text{мк}} + C_{\text{срб}} + C_{\text{вых}} + C_{\text{г}},$$

где $C_{\text{атм}}$ — количество минерального азота, фиксируемое экосистемой из атмосферы и попадающее в нее с атмосферными осадками; $C_{\text{вх}}$ — количество минерального азота, поступающее в систему с потоком очищаемой жидкости; $C_{\text{вврф}}$ — количество минерального азота, накапливаемое за вегетационный период в фитомассе высших водных растений (ввр); $C_{\text{вврк}}$ — количество минерального азота, накапливаемое за вегетационный период в корневой системе ввр и используемое для дальнейшего развития сообщества; $C_{\text{мк}}$ — количество минерального азота, использованное на наращивание биомассы микрофлоры грунтов; $C_{\text{срб}}$ — количество минерального азота, сорбируемое в грунтах фильтрующей толщи; $C_{\text{вых}}$ — количество минерального азота, выходящее из системы с потоком дренажных вод; $C_{\text{г}}$ — количество минерального азота, перешедшее в ходе биохимических процессов в инертный газ N_2 .

Результаты экспериментальных исследований свидетельствуют, что в расходной части уравнения главенствующее положение занимают

члены $C_{\text{вврф}}$, $C_{\text{вврк}}$, $C_{\text{г}}$ и $C_{\text{вых}}$, на долю которых приходится 80...90 % потока азота ($C_{\text{вврф}}$ — 10...20 %; $C_{\text{вврк}}$ — 30...40; $C_{\text{г}}$ — 20...40 %; $C_{\text{вых}}$ — 10...20 %).

В ходе опытной и опытно-промышленной эксплуатации биоинженерных сооружений определены особенности их создания, основные типы конструктивных решений и технико-экономические показатели применения при осуществлении различного рода природоохранных мероприятий (В. Г. Магмедов и др., 1986). Нами установлено, что высокие концентрации основных нормированных ингредиентов, характерных для поверхностного и дренажного стоков с сельскохозяйственных угодий, не оказали отрицательного воздействия на биоценоз сооружений и эффективность их работы.

Говоря об особенностях функционирования биоинженерных сооружений регулирования качества воды в комплексе природоохранных мероприятий при сельскохозяйственном производстве, следует подчеркнуть следующие основные моменты:

под воздействием сточных вод сельскохозяйственного производства (к которым авторы относят и поверхностный сток сельскохозяйственных угодий, и коллекторно-дренажные воды оросительных систем), богатых органическими веществами и биогенными элементами, в биоинженерных сооружениях формируется специфический биоценоз, обладающий высокой очищающей способностью. Максимальный эффект очистки достигнут в сооружениях такого типа по соединениям азота, фосфора, органическим веществам и сульфатам. Полученные данные об определенном снижении минерализации требуют дальнейшего уточнения и расшифровки механизма процессов деминерализации, выделения роли в этих процессах отдельных видов высших водных растений;

период наивысшей технической эффективности применения биоинженерных сооружений в годовом разрезе совпадает с периодом максимального выноса в водные объекты нормированных веществ (Mucha, Pauli Kova, 1987) и приходится на май — октябрь;

при использовании биоинженерных сооружений для очистки и доочистки сбросных вод, богатых азотсодержащими соединениями и метаболитами пестицидов, фитомасса высших водных растений после уборки может быть использована только в качестве органоминеральных удобрений;

особенно перспективно применение биоинженерных сооружений в системах искусственного пополнения подземных водоносных горизонтов при использовании для орошения подземных вод, когда в качестве источника пополнения задействованы поверхностные и дренажные стоки.

В настоящее время биоинженерные сооружения регулирования качества воды построены или включены в природоохранную часть проектов ряда оросительных систем Украинской ССР и Ставропольского края РСФСР.

В зависимости от конкретных условий каждое из рассмотренных природоохранных решений или их сочетание должно привести к эффективной защите водных объектов от загрязнения поверхностным и дренажным стоками при минимальных капитальных вложениях и энергетических затратах, к оптимальному использованию для орошения очищенных и дренажных вод, пополнению малых рек и к выполнению других народнохозяйственных задач.

УДК 626.810

ЗАДАЧИ И ВОЗМОЖНОСТИ АКТИВАЦИИ ВОДНЫХ СИСТЕМ В ИНТЕНСИВНЫХ СИСТЕМАХ МЕЛИОРАЦИИ

Д. Б. ЦИПРИС, кандидат технических наук

Ю. Д. ПОПОВ

Г. Г. КОЛОСЬКО

Северный научно-исследовательский институт

гидротехники и мелиорации

Все виды гидромелиораций одновременно (или одновременно-последовательно) воздействуют на водный, газовый, тепловой, пищевой и другие режимы почвы, приземного слоя воздуха, на сами растения. Однако комплексность воздействия в большинстве случаев учитывается только через такую интегральную характеристику, как урожай, без оценки вклада в него отдельных компонентов среды. До настоящего времени недостаточно разработаны критерии качества и надежности регулирования условий среды при таких „крайних” гидромелиорациях, как осушение и орошение. В то же время в условиях интенсификации сельскохозяйственного производства вводятся в практику более сложные системы мелиорации — двустороннего регулирования водного режима, многофункциональные.

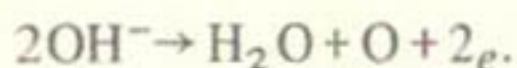
Сельское хозяйство становится энергонасыщенным не только в местах хранения и переработки продукции. В наиболее интенсивных системах мелиорации (оросительных с противосолевым дренажем в аридной зоне, осушительно-увлажнительных — в гумидной) для водоподачи и водоотведения чаще всего используется электрифицированное насосно-силовое оборудование. Вместе с тем прямое воздействие электрическими полями на оросительную или отводимую с полей воду (автономно или в комплексе с другими видами физических полей) практически не применяется вследствие недостаточной исследованности самого объекта воздействия — воды. Существующие методики оценки качества воды недостаточны для ее полной характеристики не только в целях прогноза последствий ее взаимодействия с почвой и растениями, но и тем более для проведения исследований по ее активации во время прохождения

через насосно-силовое оборудование. Кроме данных полного химического анализа воды и почвы (почвенного раствора), необходимы определения pH, Eh, показателя Кларка (Д. Б. Циприс, Ю. Д. Попов, 1984).

Наиболее общая гипотеза, предлагаемая для проверки эффекта активации воды в лабораторных и лабораторно-полевых исследованиях, состоит в следующем. Под воздействием физического поля (прямо или опосредственно) на ядра и электронные оболочки молекул происходят разрывы молекулярных связей (диссоциация), дегидратация ионов и пузырьков воздуха (дегазация), нарушаются водородные связи между молекулами воды.

Для большей активации (или повышения ее эффективности) необходимо предварительно увеличить константу диссоциации солей в воде и провести дегидратацию ионов для увеличения их подвижности. С этой целью применимы: магнитная обработка в ультразвуковом поле, переменное электрическое поле высокого напряжения и высокой частоты, электромагнитное облучение воды (ультрафиолетовое, лазерное). Нам, однако, кажется, что в лабораторных, комплексно контролируемых условиях целесообразно в первую очередь проверить самые простые гипотезы механизма активации воды.

Гипотеза 1. Отбираемая у катодного электрода „живая” вода имеет щелочную реакцию и, видимо, представляет собой нестабильный раствор гидроксильных ионов. Этот раствор может (при отводе от электрода-катода) постепенно превращаться в обычную воду в результате реакции



Можно предположить, что „живые” свойства такой воды объясняются активностью атомарного кислорода и слабого электрического заряда (тока), вызывающих раздражение тканей растений, а это приводит к усиленному росту культур. Возможно „гомеопатическое”, толчковое воздействие „живой” воды, сдвигающее в ту или иную сторону ход процессов в организме.

Следует рассчитать и проверить в опытах:

интенсивность хода подщелачивания воды в зависимости от параметров электротока и самой воды;

целесообразную (и необходимую в зависимости от задач) скорость отвода такой воды от электрода;

интенсивность превращения „живой” воды в обычную при разных условиях;

вычлененное воздействие атомарного кислорода и электронов (эффект их отдельного и совместного действия).

Необходима проверка предположения о возможных условиях поворота реакции и как предпосылки — анализа воздействия воды непосредственно из прикатодного пространства (насыщенного 2OH^-).

Отбираемая из анодного пространства „мертвая” вода представляет собой раствор водород-ионов (точнее, ионов оксония H_3O^+), хотя

считается, что кислая среда малопригодна для развития живых организмов и растений. Однако может оказаться эффективным попеременное применение „живой” и „мертвой” воды.

Гипотеза 2. Применительно к магнитному полю, например, можно предположить существование такого механизма воздействия поля на поток воды с заряженными частицами (Г. А. Зизман, О. М. Тодес, 1972).

В магнитном поле (H) на движущийся заряд (ez) со скоростью (v) действует сила (f), равная

$$f = \mu_0 ez [vH],$$

где μ_0 — магнитная проницаемость.

Соответственно на разноименные заряды силы будут действовать в противоположные стороны.

Таким образом, при пульсациях скоростей будут действовать пульсирующие силы (f), под воздействием которых вода активируется.

1. При воздействии на ядра и электронные оболочки молекул в целом возбуждаются молекулы, и при частоте пульсаций действующих сил, кратной резонансной частоте молекул, происходит диссоциация на ионы.

2. При воздействии силы (f) на ионы (поскольку ион совершает колебания вокруг положения „равновесия”) осуществляются трансляционные переходы со скоростью (Я. И. Френкель, 1959)

$$v_T = \sqrt{KT/m_i},$$

где K — постоянная Больцмана; T — температура среды (воды); m_i — масса иона.

Таким образом, на ион действует сила

$$f = \mu_0 ez [v_T H],$$

которая за время трансляционного перехода изменяет направление движения иона, взаимодействует с окружающими молекулами и активирует их.

Можно оценить силу (f) при скорости v_T . Приняв $K = 1,381 \times 10^{-23}$ Дж/К, $T = 300^\circ\text{К}$ и $m_i = 10^{-28}$ кг, получаем $v_T \approx 200$ м/с. При $H = 10^6$ А/м, $e = 1,602 \cdot 10^{-19}$ Кл, $z = 1$, $\mu_0 = 1,26 \cdot 10^{-6}$ Гн/м получаем $f \approx 4 \cdot 10^{-17}$ Н. С такой же силой на заряд действует электрическое поле напряженностью $E = 2,5 \cdot 10^2$ В/м ($f = ezE$) (Ю. Д. Попов, 1986). Поэтому представляется возможным воздействовать на воду переменным электрическим полем (практически можно получить поле напряженностью $10^6 + 10^7$ В/м). Учитывая далее, что продолжительность трансляционного перехода ионов и молекул воды составляет $10^{-5} + 10^{-6}$ (Н. Ф. Бондаренко, 1984) (что соответствует частоте $0,1 + 1$ МГц), можно соответственно подобрать частоту колебаний электрического поля для достижения максимальной эффективности активации воды.

Установка для активации воды переменным электрическим полем может представлять собой конденсатор с расстоянием между обкладками 2...5 мм. Длина пути воды между обкладками зависит от скорости потока и необходимого времени воздействия, которое определяется степенью активации. Высота и число обкладок зависят от расхода воды (Q) и определяют площадь сечения проточной камеры.

На втором этапе после активации потока воды переменным электрическим полем можно осуществить разделение в постоянном электрическом поле. На выходе предполагается два потока с разным содержанием отрицательных и положительных ионов.

„Совместимость” активированной воды с растениями можно определять по поглощению ее листьями при разных температурах и длительностях контакта (Ю. Д. Попов, А. Н. Сахаров, 1985). Листья срезают, взвешивают, погружают в воду (активированную и неактивированную), встряхивают, промокают, снова взвешивают. Так, при замачивании листьев малины в обычной и аналитной воде в течение 50 мин (моделирование времени полива дождеванием нормой 20...40 мм) поглощение различалось приблизительно в 3 раза (6,4...6,7 % от сырой массы листьев по сравнению с 1,7...2,0 %).

Стимулирующее действие аналитной воды при проращивании семян прослеживается в динамике в течение 7...10 дней как по доле проросших семян, так и по интенсивности отрастания. Именно таким способом было определено, что комбинация активаций (сочетание дегазации с электрическим воздействием) может обеспечить дополнительные результаты (А. Н. Сахаров, Ю. Д. Попов, 1985).

После таких оценочных биотестов семенами на качество активации воды можно приступать к лабораторным опытам с растениями на вегетационных сосудах и (или) на делянках в поле.

Параллельно были бы целесообразны опыты с почвенной микрофлорой.

Биотестирование при проращивании семян различных культур желательно проводить с последующей высадкой части проростков в вегетационные сосуды.

Для активации водных систем в высоковольтном электростатическом поле в лаборатории двустороннего регулирования СевНИИГиМа применяют биополярный источник (рис. 1), к которому подключают плоские боковые электроды-накладки проточной камеры (рис. 2). Напряжение на выходе источника регулируется резистором при $C1 = 1$ мкФ в пределах 27...44 ... 27...44 кВ. Максимальный ток короткого замыкания 6,56 мА.

Ставится задача опытным путем подобрать оптимальные соотношения расходов воды, характеристик электрического поля, поверхностей электродов и параметров камеры для получения сред с различными значениями pH и Eh (в первую очередь). При необходимости можно осуществить повторную обработку каждой части разделенного потока (или после смешения).

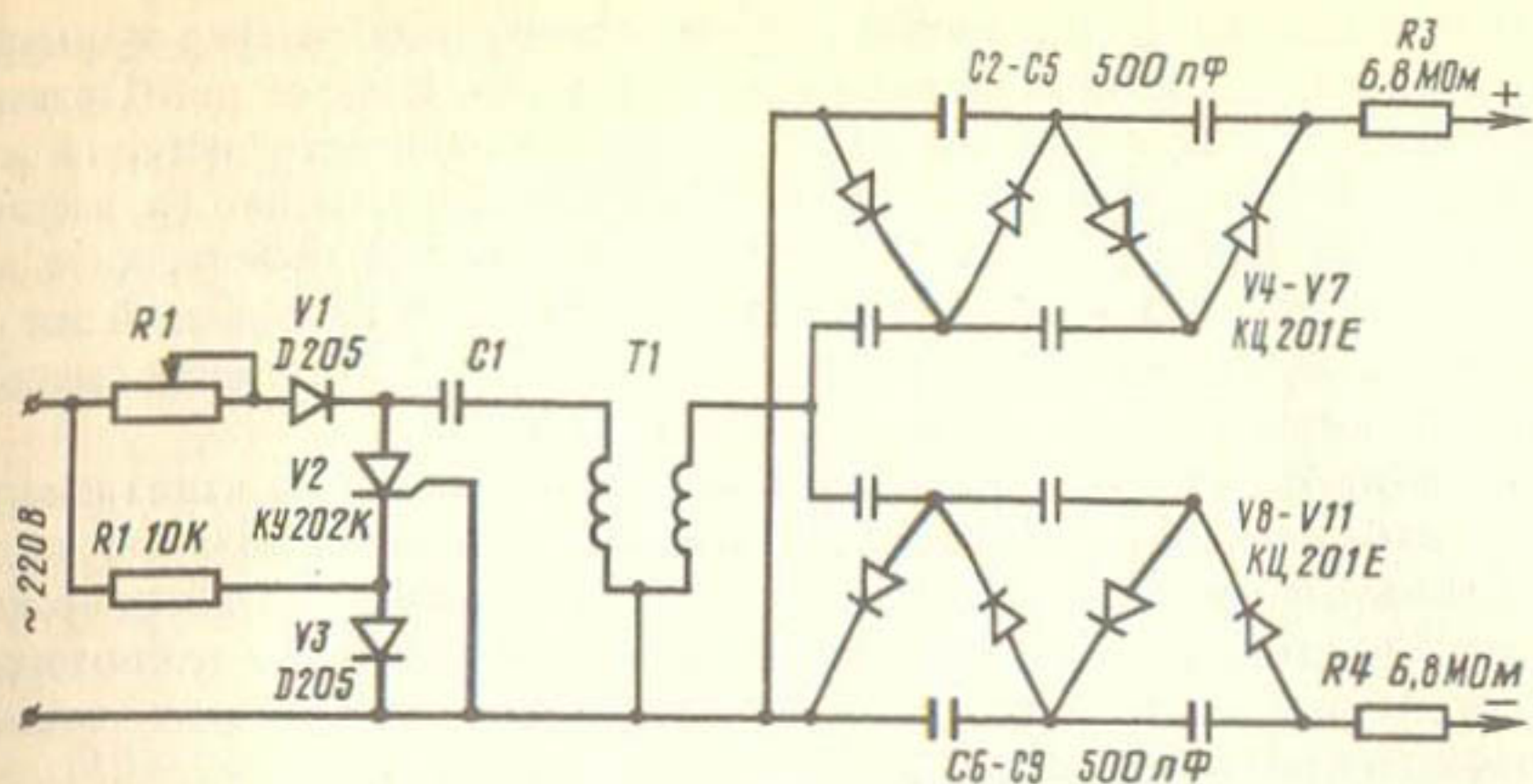


Рис. 1. Принципиальная схема биополярного высоковольтного источника питания

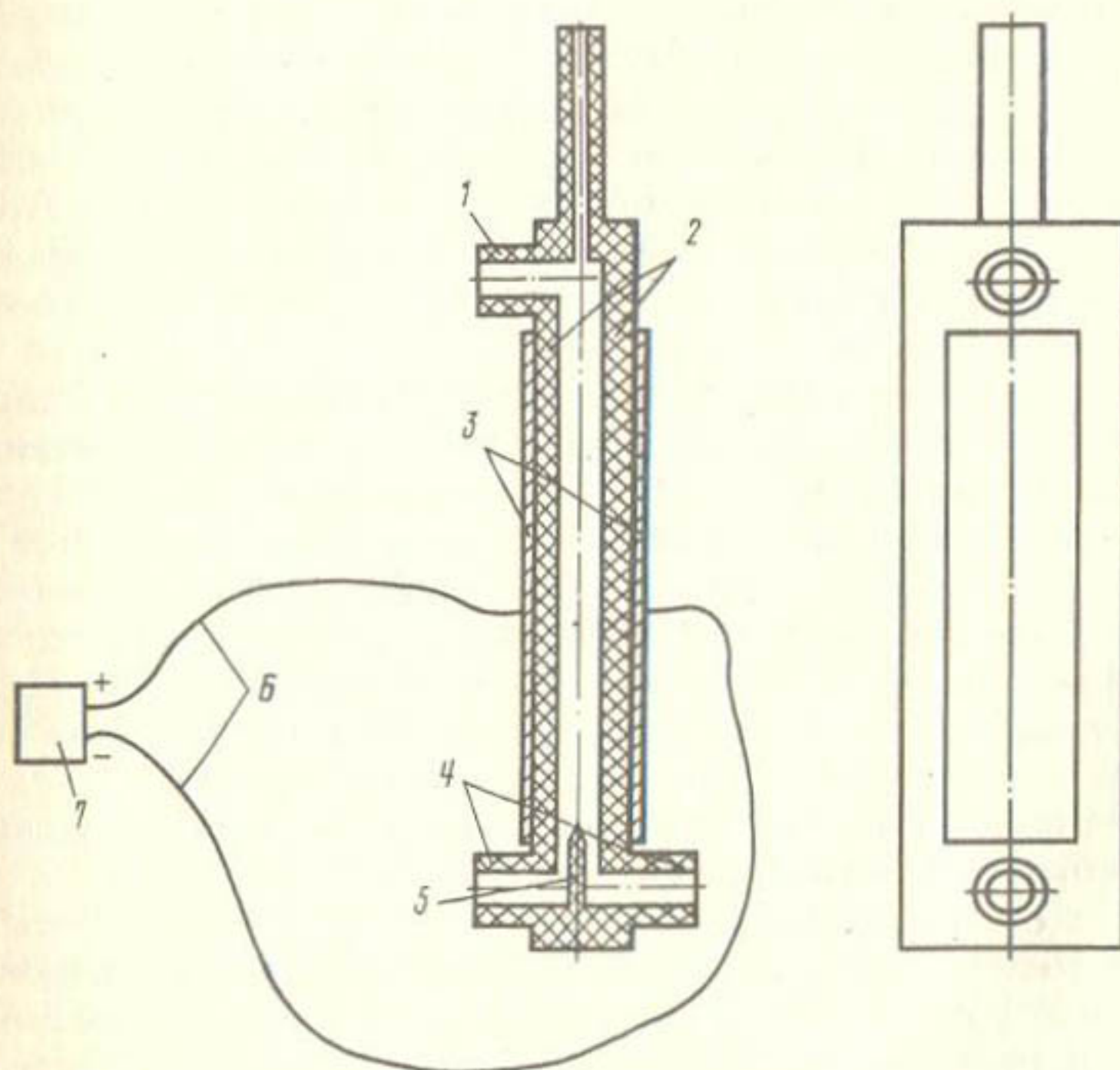


Рис. 2. Схема установки для активации воды в высоковольтном электростатическом поле:

1 — штуцер для подвода воды; 2 — боковые стенки проточной камеры; 3 — электроды; 4 — штуцер для отвода воды; 5 — рассекающий поток воды; 6 — соединительный высоковольтный кабель; 7 — высоковольтный биополярный источник питания

Перед постановкой широких лабораторных, лабораторно-полевых исследований с активированными водными системами необходима разработка их классификации не только по природно-генетической зональности, но и с учетом антропогенного воздействия на них (в настоящее время и на перспективу). Это позволит оценить возможности их взаимодействия с физическими или другими полями. Следующий шаг — моделирование состава вод, что является обязательной предпосылкой целенаправленных и интенсифицированных исследований.

Моделированию процессов взаимодействия воды и налагаемого поля в лабораторных и лабораторно-полевых условиях должны предшествовать оценки их возможной воспроизводимости в условиях производства с учетом существующей и перспективной техники и технологии регулирования водного и связанных с ним других режимов почвы, приземного слоя воздуха (т. е. агробиоценоза в целом).

Анализ технических решений по системам интенсивной водовоздушной мелиорации почв с целью выбора видов активации водных систем необходим в связи с появлением двух неравновесных систем с избытком соответственно катионов и анионов. При использовании на орошение „разделенных” вод возможно понадобится одновременное внутрипочвенное увлажнение и дождевание. Часть воды, прошедшей селекцию техническими средствами, очевидно, необходимо будет направлять „по малому кругу” водооборота, минуя почву и растения. Продолжительность релаксации водных систем при разных видах активации различна, что также следует учитывать в технических решениях будущих мелиоративных систем.

Результаты разведочных исследований СевНИИГиМа по активации водных систем с помощью униполярных электродов показывали определенные преимущества обработки в высоковольтном электростатическом поле (потенциал на клеммах источника изменяется от 500 до 2000 В). Вода электризуется в результате стекания зарядов с электрода, находящегося с ней в контакте (второй электрод электроизолирован от воды). Отмечена большая интенсивность прорастания семян злаков, роста и развития надземной массы и корней (на 10... 60 %).

Получены данные о перспективности применения электроактивации в процессе очистки сточных вод.

Исследования показывают, что для оценки эффекта активации водных систем разными способами и в разных условиях применения необходим набор биотестов. Только с их помощью можно достаточно быстро получить данные о целесообразности того или иного способа активации.

О РЕЗУЛЬТАТАХ ОРОШЕНИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР ВОДОЙ, АКТИВИРОВАННОЙ МАГНИТНЫМ ПОЛЕМ

Н. П. ЯКОВЛЕВ, кандидат технических наук

И. А. ШУШПАНОВ, кандидат технических наук

Г. И. ФОМИН, кандидат сельскохозяйственных наук

*Волжский научно-исследовательский институт
гидротехники и мелиорации*

Одна из важнейших проблем мелиорации в условиях нарастающего дефицита пресной воды для орошения — изыскание приемов и методов повышения эффективности ее использования. В последние 15... 20 лет в нашей стране проводятся глубокие исследования по практическому применению водных систем, активированных различными физическими воздействиями, способствующими решению задач интенсификации технологических процессов.

Широкое применение в сельском хозяйстве нашел метод магнитной активации водных систем, позволяющий при небольших капитальных затратах получать значительный агроэкономический эффект и добиваться более продуктивного использования оросительной воды. В статье приведены результаты исследований за 1971 — 1986 гг.

К настоящему времени накоплен обширный экспериментальный материал, свидетельствующий о положительном влиянии орошения сельскохозяйственных культур водой, активированной магнитным полем, на рост и развитие растений и их продуктивность. Следует отметить, что о механизме воздействия магнитных полей на водные системы существует много гипотез, однако ни одна из них не объясняет полностью свойств омагниченной воды и не дает способов направленного изменения свойств водных систем.

Авторы придерживаются рабочей гипотезы, на основании которой механизм изменения свойств водных систем объясняется электрическими процессами, возникающими в водной системе, протекающей через магнитное поле.

Поскольку природная вода по составу не является абсолютно чистой (дистиллированной), ее можно рассматривать как равновесную смесь диссоциированных частиц, обусловленную наличием ионов разнообразных растворенных солей. Практически такая вода — это электролит различной степени концентрации.

Если поток воды направить поперек силовых линий магнитного поля, то заряженные частицы (ионы) под действием сил Лоренца будут концентрироваться на противоположных сторонах потока в направлении, ортогональном движению потока и направлению магнитных сило-

вых линий, и образовывать объемные заряды противоположного знака. Наводимая ЭДС может быть определена соотношением

$$E = KrBv \sin(B, v),$$

где K — коэффициент пропорциональности; r — радиус потока; v — скорость потока; B — индукция магнитного поля.

Если в местах зарядов поставить электроды и соединить их проводником, то по нему пойдет электрический ток, а ионы на электродах будут рекомбинировать в нейтральные молекулы. Последние могут выделяться из раствора, например, в виде газов или твердых осадков, приводя к нарушению равновесного состояния водной системы с окружающей средой.

Перераспределение количества ионов в воде, происходящее при магнитной обработке, ведет к изменению рН и других свойств системы.

Эти теоретические предпосылки подтверждаются экспериментально.

Исследования Института физиологии растений АН УССР и Института коллоидной химии и химии воды АН УССР показали, что при движении водной системы через магнитное поле в ней изменяется концентрация ионов водорода (рН). При этом рН волжской и днепропетровской воды несколько увеличивается, рН тридистиллята остается неизменным, а тридистиллята, насыщенного кислородом, уменьшается. Установлено также, что развитие микроорганизмов в омагниченной культуральной жидкости на 50% интенсивнее, чем в неомагниченной. Продолжительность релаксации рН при температуре 20°C составила 6...7 ч. Эти результаты хорошо укладываются в рамки изложенной рабочей гипотезы.

Исследования процессов, происходящих в системе „почва — растение” при поливах водой, активированной магнитным полем, в результате которых наблюдается повышение продуктивности сельскохозяйственных культур, выполняли в ВолжНИИГиМе в несколько этапов.

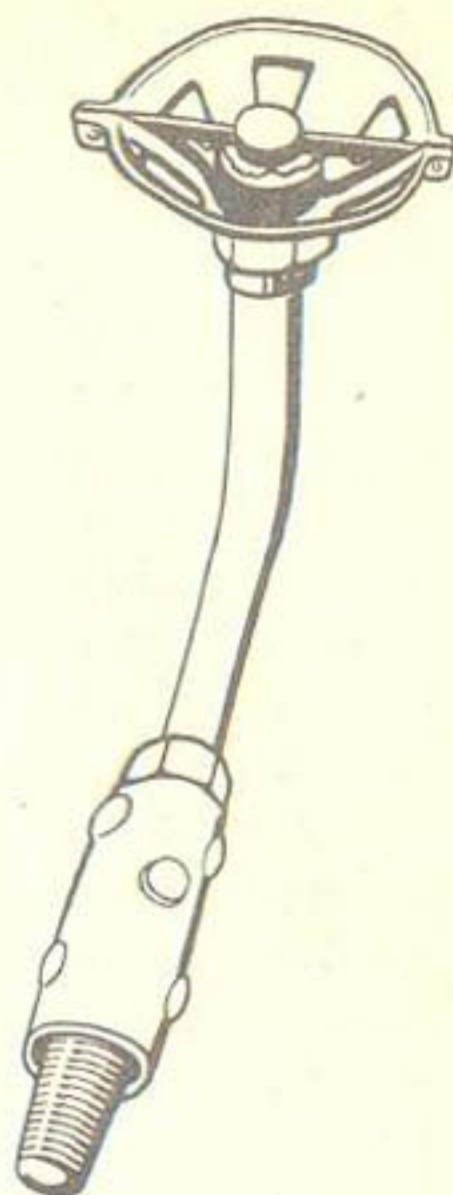
На первом этапе (1971 — 1974 гг.) был выявлен оптимальный режим обработки оросительной воды магнитным полем; с помощью кристаллоконструкторного метода определена длительность сохранения остаточной активации (омагниченности) воды; испытаны магнитные аппараты, выпускаемые промышленностью; разработаны различные конструкции магнитных аппаратов и оценена их работа; проведены вегетационные и лабораторно-полевые опыты (на делянках площадью 10...20 м²) по изучению влияния воды, активированной магнитным полем, на урожайность сельскохозяйственных культур.

Изучали поливы водой, обработанной магнитным полем напряженностью 300...2000 Э при скорости прохождения воды между полюсами магнитов до 4 м/с.

Наиболее эффективным для обработки оросительной воды магнитным полем оказался аппарат АМОВ-3М напряженностью магнитного поля в зазоре 300 Э, предназначенный для установки на дождевальные машины „Фрегат”, „Волжанка”, ДДА-100М, ДДА-100МА, „Днепр”.

Рис. 1. Аппарат АМОВ-3М с дефлекторной насадкой ДДА-100МА

Аппарат АМОВ-3М (рис. 1) представляет собой отрезок толстостенной трубы из алюминиевого сплава, имеющий на концах присоединительную резьбу. В теле корпуса имеется три пары фрезерованных соосных глухих отверстий, в которые на эпоксидном клее вставлены цилиндрические постоянные магниты из феррита бария, обращенные один к другому разноименными полюсами. Магнитная индукция в рабочем канале составляет $30 \pm 2,5$ мТ. Снаружи аппарат покрыт водоупорной краской. Для оборудования машины „Фрегат” требуется около 50 аппаратов АМОВ-3М, а для ДДА-100МА — 54 аппарата. Оросительная вода из центрального водовода машины, прежде чем поступить в дождевальные насадки, проходит через рабочий канал аппарата, где активируется тремя магнитными полями с ортогональными векторами.



Аппараты магнитной обработки воды просты в изготовлении, не требуют дополнительной энергии и ухода в процессе эксплуатации. Они долговечны (срок службы 10 лет).

Для дождевальных машин „Кубань” разработан аппарат магнитной обработки воды АМОВ-3К, имеющий аналогичные характеристики.

На втором этапе (1974—1980 гг.) проводили полевые опыты по выявлению эффективности поливов омагниченной водой различных сортов яровой пшеницы дождевальными машинами ДДА-100М и „Фрегат”, оборудованными аппаратами АМОВ-3. Агротехника возделывания пшеницы была общепринятой для орошаемого земледелия Саратовского Заволжья. При урожае 3,0...5,0 т/га прибавка колебалась по годам от 0,35 до 0,85 т/га, или от 11,0 до 23,4%. При среднемноголетнем урожае 3,34 т/га на контроле (при поливе обычной водой) среднемноголетняя прибавка урожая составила 0,47 т/га, или 12,3%.

Результаты наблюдений за микробиологической деятельностью почвы показали, что интенсивность деятельности микрофлоры почвы, поливаемой водой, которая обработана магнитным полем, выше по сравнению с контролем в среднем за три года на 61,8%. Это способствовало значительной интенсификации процессов корневого питания растений.

Проведенные в стационарных условиях исследования влияния орошения омагниченной водой на изменение запасов гумуса в почве показали, что при таком орошении (в течение семи лет) наблюдалось незначительное (в пределах ошибки опыта) увеличение гумуса. Однако

по сравнению с содержанием гумуса при поливе обычной водой оно достоверно увеличивалось при поливе омагниченной водой в слое 0...30 см на 0,29%, а в слое 0...60 см — на 0,14%. Это может быть объяснено увеличением интенсивности деятельности микрофлоры почвы и увеличением массы корней растений.

Наблюдения за динамикой содержания элементов минерального питания в слое почвы 0...60 см показали следующее. При прочих равных условиях, например, яровая пшеница, выращиваемая при поливе омагниченной водой, к периоду максимального нарастания надземной биомассы (трубкование — колошение) имела (в среднем за 1978—1980 гг.) лучшую по сравнению с контролем обеспеченность почвы: азотом — на 1,7...2,1 мг, доступным фосфором — на 9,4...13,1 мг, обменным калием — на 15,9...41,2 мг на 1 кг почвы.

Лучшая обеспеченность яровой пшеницы элементами минерального питания при поливе водой, обработанной магнитным полем, способствовала интенсификации процессов фотосинтетической деятельности. Это подтверждается результатами наблюдений за динамикой нарастания листовой поверхности и накопления сухой надземной биомассы. Так, в среднем за 1978 — 1980 гг. площадь листовой поверхности посева, поливаемого омагниченной водой, была в 1,2...1,3 раза больше, чем посева, поливаемого обычной водой.

Растения, выращиваемые на контроле, накапливали к уборке меньшее количество сухой надземной биомассы, чем при поливе омагниченной водой (в 1978 г. — на 0,91 т/га, в 1979 г. — на 2,38, в 1980 г. — на 0,71 т/га).

Лучшая обеспеченность растений питательными элементами при поливе водой, обработанной магнитным полем, способствовала получению зерна яровой пшеницы с более высоким содержанием протеина.

Наблюдения за реакцией почвенного раствора позволили установить, что при поливе омагниченной водой проявляется тенденция ее изменения от слабощелочной до нейтральной. Это также в определенной степени увеличивает доступность элементов минерального питания к сельскохозяйственным растениям.

На третьем этапе (с 1980 г.) проводили производственную проверку технологии полива аппаратами АМОВ-3М на полях колхозов и совхозов Саратовской области. Так, в 1980 г. в колхозе им. XIX партсъезда Энгельсского района на площади 48 га, засеянной яровой пшеницей, при поливе омагниченной водой получена прибавка урожая 0,47 т/га (17,7%) по сравнению с контролем. В 1981 г. в этом же хозяйстве при орошении кукурузы с помощью дождевальная машины „Фрегат” получена прибавка урожая зеленой массы 13,85 т/га (38,1%), а при орошении 48 га люцерны за 4 укоса — 15,85 т/га (26,3%). В 1982 г. в колхозе было оборудовано магнитными аппаратами 11 машин „Фрегат” и полито 300 га кукурузы и 400 га люцерны. Прибавка урожая соответственно составила 6,23 т/га (27,6%) и 8,0 т/га (17,2%).

Колхоз „Знамя Победы” Марковского района получил в 1982 г. прибавку урожая зеленой массы люцерны 2,0 т/га (14,3 %), сена люцерны — 0,52 т/га (21,3 %), зеленой массы кукурузы — 4,1 т/га (11,0 %). Ершовское РПО „Полив” получило прибавку урожая кукурузы в размере 15 %, а люцерны — 11,0 %.

Многолетние лабораторно-полевые и полевые исследования по орошению сельскохозяйственных культур омагниченной водой показали:

1) орошение способствует развитию более мощного ассимиляционного аппарата, накоплению большего фотосинтетического потенциала сухой надземной биомассы и получению более высокого урожая;

2) повышается микробиологическая активность почвы, наблюдается тенденция снижения щелочности почвенного раствора (к нейтральной), что в итоге способствует интенсификации процесса корневого питания растений;

3) реальный экономический эффект от орошения яровой пшеницы дождевальными машинами ДДА-100МА и „Фрегат”, оборудованными аппаратами АМОВ-3М, составляет в среднем более 50 р., а от орошения люцерны и кукурузы — 180...200 р. на 1 га в год.

На основании полученных результатов Минводхоз СССР, Министерство сельского хозяйства СССР и Минплодоовощхоз СССР наметили необходимые мероприятия по проведению в 1983 г. производственных испытаний эффективности использования омагниченной воды для орошения сельскохозяйственных культур в Саратовской, Волгоградской, Астраханской областях, в Краснодарском и Ставропольском краях на площади не менее 9 тыс. га (испытания были продолжены в 1984 и 1985 гг.). Минводхоз СССР обеспечил изготовление, распределение и контроль за установкой 10 тыс. аппаратов АМОВ-3М в 1983 г. и 40 тыс. — в 1984 г.

Использовали дождевальные машины „Фрегат”, ДДА-100МА и „Волжанка”, оборудованные (по рекомендациям ВолжНИИГиМа) аппаратами АМОВ-3М. Испытания проводили по единой методике, разработанной научными и производственными организациями Минводхоза СССР, Министерства сельского хозяйства СССР и ВАСХНИЛ. В производственных испытаниях, кроме ВолжНИИГиМа и его опытных станций, приняли участие Саратовский СХИ, НИИСХ Юго-Востока, Всесоюзный НИИОЗ, Всесоюзный НИИ орошаемого овощеводства и бахчеводства, Ставропольский НИИГиМ, Кубанский СХИ, которые представили данные по испытаниям в курируемых ими хозяйствах. Размеры опытных площадей, на которых велась производственная проверка, приведены в таблице 1.

Структура полученных прибавок урожая на опытных площадях показана в таблице 2. Сравнение структур прибавок показывает, что общая закономерность их распределения за три года сохранилась (рис. 2), при этом пик кривых во всех случаях лежал в пределах 5...15 %.

Значения средневзвешенных прибавок урожая основных сельскохозяйственных культур, полученных от полива водой, активированной магнитным полем, приведены в таблице 3.

1. Размеры площадей, отобранных для орошения
омагниченной водой, га

Область, край	Площади, отобранные под опыт			
	Намечено	фактически отобрано		
		1983 г.	1984 г.	1985 г.
Саратовская	2000	1995,7	1376,0	1867,2
Волгоградская	2000	1864,7	1217,0	646,0
Астраханская	1000	764,5	638,0	393,5
Ставропольский	2000	1972,0	1969,5	2657,0
Краснодарский	2000	2018,5	979,6	269,7
Итого	9000	8615,4	6181,0	5833,4

Продолжение табл. 1

Область, край	Площади, исключенные из проверки из-за нарушения методики			Площади, на которых учтен урожай		
	1983 г.	1984 г.	1985 г.	1983 г.	1984 г.	1985 г.
Саратовская	762,0	833,5	260,1	1233,7	542,0	1602,6
Волгоградская	350,1	390,1	—	1514,6	827,5	675,6
Астраханская	173,5	78,0	—	591,0	560,3	428,7
Ставропольский	873,5	419,0	1155	1098,0	1550,5	1502,0
Краснодарский	698,5	128,0	—	1320,0	851,6	269,7
Итого	2857,6	1848,6	1415,1	5757,8	4332,4	4478,6

2. Структура прибавки урожая сельскохозяйственных культур
на опытных участках, орошаемых омагниченной водой
(согласно актам учета урожая)

Область, край	Год	Число актов при получении прибавки, %							Всего актов
		0	до 5	5...10	10...15	15...20	20...25	Более 25	
Саратовская	1983	5	6	13	8	8	2	1	43
	1984	2	1	7	7	3	2	3	25
	1985	1	2	5	5	2	1	0	16
Волгоградская	1983	3	17	12	5	5	4	5	51
	1984	1	6	10	5	4	1	0	27
	1985	0	4	9	5	4	1	2	25
Астраханская	1983	1	1	5	8	2	2	7	26
	1984	2	0	8	2	6	4	2	24
	1985	2	3	5	3	5	4	1	23
Ставропольский	1983	0	7	11	4	1	1	1	25
	1984	2	7	10	8	4	2	2	35
	1985	0	7	11	15	3	0	4	40
Краснодарский	1983	4	16	19	9	0	2	1	51
	1984	2	13	6	11	1	0	0	33
	1985	1	2	5	6	0	1	0	15
Всего актов	1983	13	47	60	34	16	11	15	196
	1984	9	27	41	33	18	9	7	144
	1985	4	18	35	34	14	7	7	119
% к общему числу	1983	7	24	31	17	8	6	7	100
	1984	6	16	28	23	13	6	5	100
	1985	3	15	29	29	12	6	6	100

3. Средневзвешенные прибавки урожая основных сельскохозяйственных культур, полученные в результате орошения омагниченной водой

Культура	Год	Саратовская об- ласть		Волгоградская область		Астраханская область		Ставропольский край		Краснодарский край	
		т/га	%	т/га	%	т/га	%	т/га	%	т/га	%
Люцерна: на зеленую массу на сено на семена	1983	5,82	9,4	6,09	14,7	7,68	18,3	5,19	9,0	—	—
	1984	5,56	12,6	7,14	27,8	7,40	21,5	1,60	12,2	1,39	4,2
	1985	2,39	15,7	3,80	32,8	3,37	12,8	1,36	9,6	1,04	11,0
	1984	—	—	—	—	—	—	0,69	9,6	0,06	2,9
	1985	0,39	11,5	—	—	—	—	0,10	4,75	—	—
	1983	0,019	11,6	0,015	9,1	—	—	—	—	—	—
Кукуруза: на зеленую массу на силос на зерно	1984	0,004	1,5	0,0221	16,6	—	—	—	—	—	—
	1985	—	—	0,0048	11,8	—	—	—	—	—	—
	1983	2,83	8,5	2,05	6,1	3,05	11,1	4,10	15,1	2,00	5,1
	1984	—	—	—	—	—	—	1,71	6,0	—	—
	1985	—	—	—	—	—	—	1,37	9,1	—	—
	1984	3,99	11,4	1,48	4,5	2,85	10,2	3,00	9,0	2,30	9,4
Пшеница: яровая озимая	1985	4,41	12,6	3,65	8,8	4,57	21,2	1,00	2,4	1,60	9,0
	1983	0,31	9,5	0,56	7,9	—	—	—	—	0,43	7,3
	1984	0,39	6,4	0,90	15,78	0,60	7,0	0,44	5,9	1,60	16,0
	1985	0,22	3,6	1,40	28,6	—	—	1,36	16,0	0,10	4,2
	1983	0,33	14,8	0,14	2,4	—	—	—	—	—	—
	1984	0,151	12,6	0,32	13,8	—	—	—	—	—	—
Пшеница: яровая озимая	1985	0,26	8,9	—	—	—	—	—	—	—	—
	1983	0,37	11,3	—	—	—	—	0,37	8,2	0,15	3,6
	1984	—	—	0,108	5,1	—	—	0,25	6,2	0,55	11,1
	1985	—	—	—	—	—	—	0,18	5,8	—	—

Культура	Год	Саратовская об- ласть		Волгоградская область		Астраханская область		Ставропольский край		Краснодарский край	
		т/га	%	т/га	%	т/га	%	т/га	%	т/га	%
Томаты	1983	—	—	5,33	20,9	5,50	24,0	—	—	—	—
	1984	—	—	4,75	17,3	5,75	17,9	—	—	2,86	12,7
	1985	—	—	4,47	15,8	6,20	18,2	6,15	36,5	2,70	10,3
Лук на репку	1983	—	—	0,60	2,6	—	—	—	—	3,81	13,6
	1984	1,00	10,0	—	—	—	—	—	—	2,70	11,1
	1985	—	—	—	—	—	—	2,00	12,4	1,58	10,22
Капуста поздняя	1983	—	—	—	—	—	—	—	—	2,12	5,6
	1984	3,66	11,3	—	—	—	—	—	—	4,20	13,0
	1985	—	—	2,77	9,2	—	—	—	—	2,50	11,5
Арбузы	1983	—	—	—	—	3,86	7,1	—	—	—	—
	1984	—	—	—	—	1,96	4,4	—	—	—	—
	1985	—	—	—	—	2,20	4,2	—	—	—	—
Картофель	1983	—	—	—	—	—	—	—	—	2,12	9,2
	1984	—	—	—	—	—	—	—	—	0,10	0,5
	1985	2,0	10,5	—	—	—	—	0,27	9,2	0,178	2,6

Результаты проверки свидетельствуют о том, что прибавка урожаев тем выше, чем больше число поливов. Поэтому, например, томаты, число поливов которых составляет 12...14, имеют прибавку до 36,5% (Ставропольский край), а число поливов зерновых обычно не более трех, и прибавки урожая за три года проверки не превышали 14,8%. Следует также отметить, что выпадающие осадки очень сильно нивелируют разность урожаев между опытом и контролем.

Анализ качества зерна яровой пшеницы сорта Ершовская 32, проведенный лабораторией ВНИИОЗ в 1984 г., показал, что полив водой, обработанной магнитным полем, способствует увеличению содержания азота в зерне на 0,68%, клейковины — на 9,8% и выхода хлеба из 100 кг муки — на 24 кг.

Анализ качества плодов томатов, выполненный Волгоградской станцией ВИР в 1983 — 1984 гг., показал, что томаты, орошаемые омагниченной водой, были крупнее по массе в среднем на 20 г и содержали аскорбиновой кислоты на 1,4 мг/100 г больше.

В 1983 — 1985 гг. Саратовским научно-исследовательским институтом сельской гигиены (СарНИИСГ) было изучено влияние зерна сельскохозяйственных культур при поливе их водой, обработанной магнитным полем индукцией 30 мТ, на организм теплокровных. Полученные данные свидетельствуют об отсутствии токсикологического, мутагенного и других побочных влияний на организм животных при скормливаниях им этого зерна.

Наряду с агротехнической эффективностью расчеты подтверждают и экономическую эффективность орошения сельскохозяйственных культур омагниченной водой.

Анализ данных показывает, что в среднем дополнительный чистый доход в зоне испытаний, полученный с 1 га опытных площадей, составил 94,3 р. (таблица 4).

Кроме производственной проверки, в 1983—1986 гг. полив омагниченной водой с использованием аппаратов АМОВ-3М был введен на основании отраслевых и ведомственных планов. Общая пло-

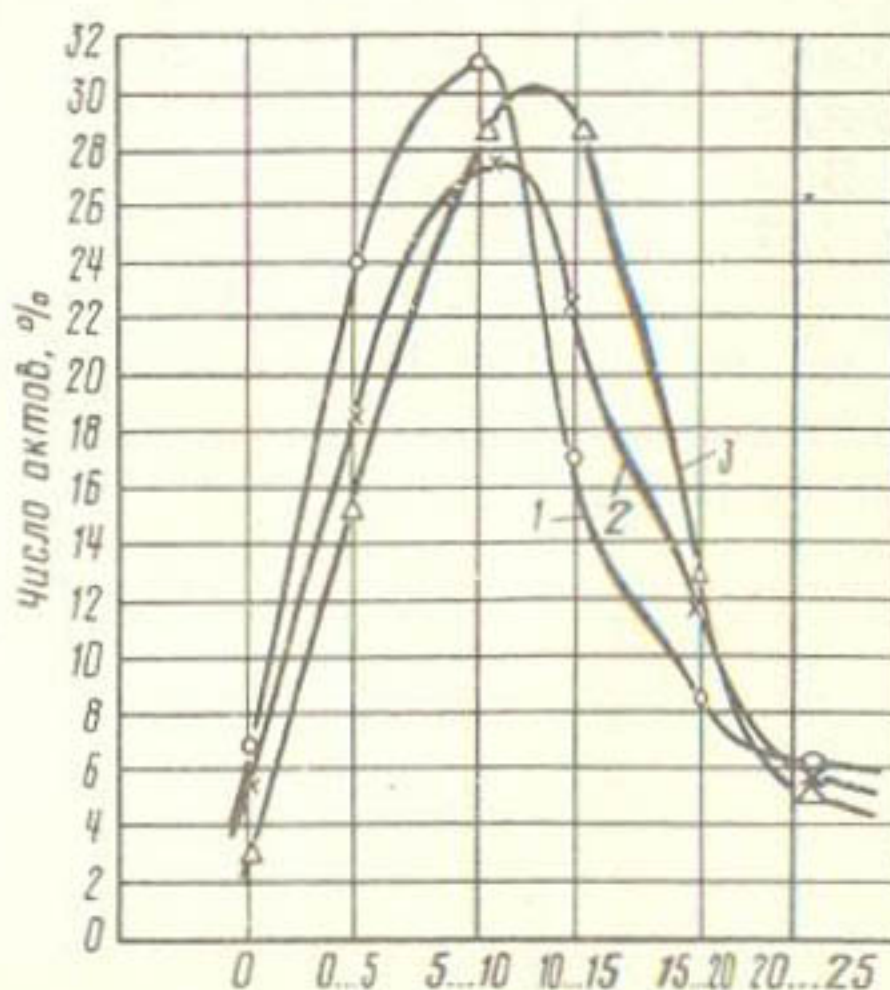


Рис. 2. Графики распределения урожаев сельскохозяйственных культур в зависимости от числа поливов омагниченной водой по годам:

1 — 1983 г.; 2 — 1984 г.; 3 — 1985 г.

4. Дополнительный чистый доход, полученный от полива сельскохозяйственных культур омагниченной водой, р.

Область, край	1983 г.	1984 г.	1985 г.	Всего
Саратовская	80,2	43,4	59,6	183,2
Волгоградская	133,5	59,8	124,7	318,0
Астраханская	66,7	57,4	45,2	169,8
Ставропольский	51,4	99,1	250,1	400,6
Краснодарский	169,5	101,0	31,4	302,2
В с е г о	501,5	360,7	511,0	1373,7
Учтенная площадь опытных участков, га	5757	4331	4478	14566
Дополнительный чистый доход, р. на 1 га	87,1	83,3	114,1	94,3

щадь внедрения только в перечисленных краях и областях была 57 200 га, а экономический эффект составил 4 млн 440 тыс. р.

В производственной проверке эффективности орошения сельскохозяйственных культур омагниченной водой на инициативных началах или по указанию вышестоящих инстанций приняли участие многие научно-исследовательские и учебные институты, орошаемые хозяйства страны. Результаты их работы приведены в таблице 5.

Производственные испытания по орошению сельскохозяйственных культур водой, активированной магнитным полем с помощью аппаратов АМОВ-3М, показали следующее.

1. Это эффективный агротехнический прием, повышающий урожайность сельскохозяйственных культур.

2. Аппараты АМОВ-3М проявили эффективность и эксплуатационную надежность. Они являются пока единственными аппаратами магнитной обработки воды, пригодными для оборудования ими парка основных дождевальных машин.

3. За 1983 — 1985 гг. из 459 опытных участков общей площадью 14 567 га прибавка урожая получена на 433 (94%), причем в размере 5...15% — на 52%, а более 15% — на 23% участков.

4. Агротехническая целесообразность проведения таких поливов подтверждается тем, что дополнительный чистый доход составил в 1983 г. 87,1 р., в 1984 г. — 83,3, в 1985 г. — 114,1 р. на 1 га.

5. Результаты учета урожая в опытах по выявлению эффективности полива сельскохозяйственных культур омагниченной водой, проведенных в хозяйствах и научно-исследовательских организациях

Организация, хозяйство	Орошаемая площадь, га	Культура	Урожайность, т/га		Прибавка		Примечания
			опыт	контроль	т/га	%	
УкрНИИОЗ, 1983 г.							
Совхоз им. Чкалова Ново-Троицкого района Херсонской области	50	Озимая пшеница	3,00	2,70	0,30	11,0	
	45	Кукуруза на зерно	4,50	4,10	0,40	9,8	
	71	То же	3,00	4,00	-1,00	-25,0	
	67	" "	4,80	4,50	0,30	6,7	
	45	Люцерна на зеленую массу	51,00	48,00	3,00	6,3	
Совхоз „Красный Перекоп“ Каховского района Херсонской области	71	Соя	1,20	1,185	0,015	—	
	71	Люцерна на зеленую массу	52,70	47,00	5,70	12,1	
Совхоз „Рассвет“ Николаевской области	206	Озимая пшеница	3,97	3,36	0,61	18,2	
	54	Сахарная свекла	43,42	39,49	3,93	10,0	
	49	" "	53,00	48,97	4,03	8,2	
	49	" "	48,27	43,28	4,99	11,5	
	30	Подсолнечник	1,69	1,60	0,09	5,6	
	50	Кукуруза на зерно	4,48	4,58	-0,10	-2,2	
Ингулецкая ОС	Данные не приводятся	Люцерна на зеленую массу	Данные не приводятся	Данные не приводятся	3,71	7	
	То же	Озимая пшеница	5,90	5,35	0,55	10,2	
	"	Соя	—	—	0,11	3,1	
	15	Кукуруза на зерно	6,84	7,58	0,74	10,8	
	16,5	Капуста	28,6	25,2	3,40	13,5	
	45	Томат	8,9	7,9	1,00	12,6	
	16,0	Кукуруза на силос	18,1	15,5	2,60	16,8	
	5	То же	10,63	9,25	1,38	14,9	
		Многолетние травы:	Данные не приводятся	Данные не приводятся			
		1-й укос			0,50	10,0	
	2-й укос (сено)			0,26	17,0		
ЮжНИИГиМ							
ДагОМС, 1983 г.	Данные не приводятся	Суданская трава	23,70	19,70	4,00	20,3	ДДА-100М

Организация, хозяйство	Орошаемая площадь, га	Культура	Урожайность, т/га		Прибавка		Примечания
			опыт	контроль	т/га	%	
1984 г.	25,0	Кукуруза на зеленую массу	31,87	27,20	4,60	17,0	ДДА-100М
Колхоз „Заветы Ильича” Хасавюртовского района ДагАССР	10,0	Овощи	37,00	33,50	3,50	10,5	ДДА-100М
Николаевская государст- венная областная сельско- хозяйственная опытная станция	Данные не приводятся	Горохо-овсяная смесь	27,50	26,83	0,67	2,5	
	То же	Кукуруза на зеленую массу	—	—	1,21	—	
Днепропетровский филиал УкрНИИ разведения КРС, 1983 г.	”	Люцерна на зеленый корм	34,20	33,60	0,60	2,0	
	”	Яровой ячмень	3,17	3,11	0,06	2,0	
	”	Люцерна на зеленую массу:	Данные не приво- дятся				
		2-й укос			1,00	5,5	
		3-й укос			1,30	15,8	
1984 г.	”	Кукуруза на силос	То же				
	”	Люцерна на зеленую массу			3,10	6,6	
		Ячмень на зерно			2,30	8,8	
Крымский филиал УкрНИИГиМа, 1983 г.	”				0,34	10,7	
	2,5	Капуста поздняя	73,40	65,80	7,60	11,6	
	3,8	Соя	2,01	1,92	0,09	4,7	
БелНИИМВХ, 1983 г.	10,0	Свекла кормовая	133,1	132,5	0,60	1	
1984 г.	Данные не приводятся	Капуста поздняя	33,40	31,80	1,60	5	
Кахетинская ОМС	64,0	Кукуруза на зерно	3,25	2,99	0,26	8,7	3 вегетаци- онных полива
КазНИИВХ, 1984 г.	150	Сахарная свекла	4,60	4,16	0,44	10,6	
1985 г.	100	”	6,83	5,30	1,53	19,4	

УЛУЧШЕНИЕ КАЧЕСТВА ОРОСИТЕЛЬНОЙ ВОДЫ МЕТОДОМ УНИПОЛЯРНОЙ ОБРАБОТКИ

В. А. ДУХОВНЫЙ, кандидат технических наук
Л. Н. ДАНИЕЛОВА, кандидат технических наук
З. Х. ДЖАЛИЛОВ

Среднеазиатский научно-исследовательский
институт ирригации

В условиях острого водного дефицита в орошаемой зоне земледелия улучшение качества оросительной воды и изыскание эффективных приемов использования минерализованных вод в сельскохозяйственном производстве приобретают все большее значение. В последние годы в этом направлении получает развитие поиск методов активации водных систем и уже достигнуты достаточно обнадеживающие результаты в различных сферах народного хозяйства. Это магнитная обработка воды, ее озонирование, электролиз, а также мембранная технология, униполярное воздействие и др. Отличаясь по характеру обработки, эти методы достигают одного результата — повышения эффективности воды по отношению к ее компонентам и среде, особенно биологической, за счет определенного по устойчивости во времени нарушения молекулярных потенциалов и их направленности. При этом их различие состоит именно в интенсивности воздействия и продолжительности нарушения ординарных свойств воды („активированная память” воды). Так, „магнитная память” воды, по нашим данным, составляет 10...18 ч, „память” униполярной обработки — до 2...30 сут.

В орошаемом земледелии в достаточно широких масштабах проводились лишь работы по применению электролиза для ускорения рассоления тяжелых сильнозасоленных грунтов в Голодной степи (П. Н. Листов, И. С. Рабочев, Н. Г. Минашина), которые не дали положительного результата, и омагниченной воды для повышения продуктивности орошаемых земель при поливе и промывках.

Орошение в Поволжье (ВолжНИИГиМ, ВолжНИИОЗ) дало значительную прибавку урожая при дождевании зерновых (до 0,5 т/га), по другим данным, видимых прибавок нет. Опыты по применению омагниченной воды при поверхностном поливе из жестких трубопроводов в условиях ОПХ в Голодной степи дали прибавку урожая 0,2...0,3 т хлопчатника лишь на одной четверти борозды.

В то же время ознакомление с работами, проведенными по омагничиванию воды в Румынии, показали следующие принципиальные положения ее воздействия на растения и воду:

активированная вода вызывает пульсацию клеток, что способствует ее усиленному усвоению растением;

при одинаковом режиме обработки она по-разному действует на различные растения: сильное положительное воздействие обнаружено на помидорах, огурцах, горохе (ускорение роста в 1,5 раза в период обработки), но значительно меньшее на зерновых, хлопчатнике;

резко усиливает очистку и переработку животноводческих стоков; задерживает нефтепродукты и может активно использоваться как средство для их удаления из воды.

Отличительная особенность румынских работ — проведение их в меньших масштабах, но с высокой результативностью в условиях капельного орошения, тепличных хозяйств, микродождевания с большой частотой полива (преимущественно на овощах).

В нашей стране в последние годы внедряются принципиально новые методы электрохимической активации жидких систем — путем униполярной их обработки в диафрагменном электроактиваторе конструкции СредазнииГаз.

В результате ряда лабораторных исследований и промышленных испытаний установлена чрезвычайно высокая эффективность электрохимической активации веществ в самых различных технологических процессах. Например, электрообработка воды в системах замкнутого и открытого водооборота позволяет при затратах электроэнергии 0,15...0,9 кВт·ч/м³ полностью исключить коррозию оборудования и предотвратить образование накипи на теплообменных поверхностях. Использование электроактивированных растворов химической и гальванической металлизации печатных плат и диэлектриков обеспечивает снижение трудоемкости технологических процессов на 30...50 %, повышение качества продукции на 40...60 %. Приготовление на электроактивированных водных растворах смазочно-охлаждающих жидкостей, применяемых в металлообработке, обуславливает снижение расхода инструмента на 30 % при одновременном увеличении скорости основных операций на 15...20 %.

Обширные исследования по возможности использования биологически активной электроактивированной жидкости проведены в Ташкентском филиале Всесоюзного научного центра хирургии АМН СССР.

С 1983 г. в САНИИРИ совместно с ВНИИГиМом начаты поисковые работы по униполярной обработке воды в интересах водного хозяйства и мелиорации земель.

Сущность униполярной электроактивации заключается в возможности существенного изменения скорости и селективности многих химических реакций с участием веществ (преимущественно жидкостей и газов), предварительно подвергнутых электрохимическому воздействию в зоне одного из поляризованных инертных электродов электрохимической системы. Изменение этих параметров достигается путем использования в качестве катализатора химических реакций энергии метастабильного состояния веществ, подвергнутых электрохимическому воздействию.

Электрохимическая активация технически реализуется путем электрохимического воздействия на вещество (жидкость, газ) в зоне поляризованного электрода электрохимической системы, например диафрагмального электролизера, и при отсутствии смещения католита и анолита называется **униполярным электрохимическим воздействием**.

Новизна работ, проводимых в области электрохимической активации, состоит в том, что впервые доказано существование иного механизма распределения электрической энергии в процессах электрохимического разложения водных растворов электролитов. Эти процессы обуславливают образование метастабильных систем, которые отличаются повышенным запасом внутренней потенциальной энергии вследствие существования в них различных химических и физических долгоживущих возбуждений (высокоокислительных или высоковосстановительных форм веществ, свободных радикалов, структурных флуктуаций растворителя, аномалий строения ионно-гидратных оболочек ионов и т. д.). Кроме того, впервые экспериментально доказано, что метастабильные системы, полученные в результате униполярного электрохимического воздействия, проявляют в химических реакциях каталитическое действие — ингибирующее или промотирующее.

Значение найденных закономерностей состоит в том, что они изменяют ранее существовавшие представления об энергетике электрохимических процессов и открывают возможности создания принципиально новых технологических процессов для самых различных отраслей народного хозяйства.

Экспериментально показано, что активация — необратимый процесс, подчиняющийся основным законам термодинамики неравновесных взаимодействий.

Если избыточная потенциальная энергия, которой обладает активированная жидкость тотчас после получения, не расходуется в каких-либо реакциях, необходимых в технологических процессах, она рассеивается, превращаясь в теплоту. Скорость рассеивания зависит от объема активированной жидкости, от интенсивности ее энергообмена с окружающей средой (поверхности контакта с воздухом, со стенками сосуда, начальной степени отклонения релаксирующих параметров от состояния равновесия) и подчиняется известным законам релаксации по эмпирически найденному соотношению

$$\tau = K_x \frac{V}{\Delta x S},$$

где τ — продолжительность релаксации, т. е. время, за которое отклонение какого-либо физико-химического параметра жидкости (вещества) от равновесного значения уменьшается в e раз; K_x — коэффициент энергообмена, характеризующий скорость рассеивания (диссипации) избыточной внутренней потенциальной энергии ($c_x \cdot m^{-1}$); V — объем активированной жидкости, m^3 ; S — поверхность энергообмена, m^2 ; Δx — отклонение какого-либо физико-химического параметра активированной жидкости, например окислительно-восстановительного потенциала (φ), щелочности (pH), электропроводности (γ), от равновесного состояния, определяемого стационарными значениями температуры, давления и химического состава.

Метод униполярной обработки воды позволяет путем электрохимического превращения веществ снизить ее минерализацию, изменить химический и ионный составы, а также физико-химические, электродинамические и биологические свойства. Эффективность обработки определяется не столько традиционными показателями качества электрохимических процессов (степень разложения вещества и др.), сколько разницей рН и редокс-потенциалов исходной и обработанной воды, длительностью физико-химической релаксации системы, подвергнутой униполярному воздействию. Кроме того, невысокая стоимость процесса (1...2 к. за 1 м³) и простота конструкции дают возможность проводить исследования по обработке оросительных и коллекторно-дренажных вод, используемых для орошения.

Исследования проводили комплексно три отдела САНИИРИ (охраны водных ресурсов, сельскохозяйственных исследований, лаборатория промывок земель и почвенных исследований) вначале в лабораторных условиях на вегетационных сосудах, а затем после создания опытной установки (на 60 и 30 л/с) – в совхозах № 1а и 18 Голодной степи.

Основная цель исследований: отработка параметров униполярной обработки оросительных и коллекторно-дренажных вод для снижения их минерализации за счет токсичных солей, повышения биологической активности воды и, как результат, урожайности хлопчатника; изучение периода релаксации активированных вод; возможность использования активированной воды для предпосевной замочки семян хлопчатника.

Электрохимическая активация для этих целей состоит в обработке оросительной воды и коллекторно-дренажных вод в зоне отрицательного электрода электроактиватора. В этом режиме электроактивации образуется щелочная среда (рН 8...12), в результате чего происходит выпадение в осадок двухвалентных катионов в форме гидроокиси. Основной их компонент – магний, который начинает выпадать в виде коллоидного осадка $Mg(OH)_2$ уже при рН 10,2 и при рН 10,6, практически полностью выводится из раствора. При выводе магния из водной системы его освобожденный (в результате диссоциации солей магния) кислотный остаток (хлорид-ион или сульфат-ион) мигрирует в положительную (кислую) зону. В результате в отрицательной зоне наблюдается снижение и хлоридов, и сульфатов. Полярность воды меняется с +230...+300 до –1200 мВ (табл. 1 и 2).

Изучали воду различного химического состава (сульфатно-кальциевую и хлоридно-натриевую), минерализация которой 0,5...20 г/л. Проведено свыше 70 экспериментов. Особое внимание уделено выявлению физико-химических свойств воды минерализацией 0,5...10 г/л, поскольку она преобладает в орошаемой зоне земледелия Узбекистана.

В результате изучения режимов электроактивации оросительных и коллекторно-дренажных вод установлено:

оросительную воду необходимо обрабатывать в зоне отрицательного электрода при рН 9,6, $\varphi = -360...400$ мВ;

1. Изменение показателей коллекторно-дренажных вод под влиянием электрохимической активации

Параметры исходной воды			Удельный расход электро- энергии, кВт × ч/м ³	Параметры воды после электро- обработки		
минерализация, г/л	pH	окислительно- восстанови- тельный потен- циал, мВ		минера- лизация, г/л	pH	окислительно- восстанови- тельный потен- циал, мВ
3,0	6,3	+390	0,5	2,3	10,5	-600
4,5	6,2	+430	0,8	3,1	10,9	-710
5,5	6,3	+470	1,1	3,9	11,1	-790
7,0	6,1	+480	1,3	4,1	11,5	-810

коллекторно-дренажные воды с целью снижения минерализации и содержания токсичных солей следует обрабатывать при pH 10,6, $\varphi = -840$ мВ и затратах электричества 1360...3200 кл/л (в зависимости от минерализации). При этом ион магния снижается до 100%, сульфаты — до 29%, хлориды — до 26%, сухой остаток — до 24...32%. Происходит перераспределение токсичных солей: при увеличении Na_2SO_4 снижается более токсичный NaCl. Затраты электроэнергии в полевых условиях составляют 0,5...1,3 кВт · ч/м³. Период релаксации (продолжительность сохранения отрицательных значений φ) составляет 4...20 ч, он прямо пропорционален минерализации и объему активированных вод и обратно пропорционален количеству затраченного электричества.

Влияние электроактивированной воды на рост, развитие и урожайность хлопчатника изучали как в лабораторных условиях (в сосудах Вагнера), так и в совхозах № 1а и 18 Голодной степи в сравнении с контролем. Хлопчатник поливали активированной оросительной и дренажной водой минерализацией 1,0...9,0 г/л.

Установлено:

при поливе хлопчатника активированной водой на 3...5 дней ускоряются сроки прохождения основных фаз развития хлопчатника (более ранняя бутонизация, созревание и увеличение коробочек), повышаются его урожайность и солеустойчивость, уменьшается накопление токсичных солей в почве.

Для предпосевной замочки семян установлен оптимальный режим активации воды до pH 9,2, $\varphi = -360...400$ мВ, что ускоряет прорастание семян до 30%, стимулирует рост, развитие и плодообразование хлопчатника, повышает урожайность хлопка-сырца на 0,1...0,2 т/га по сравнению с контролем в условиях совхоза № 1а.

Промышленные испытания замачивания семян для посева на площади 560 га показали, что замочку можно выполнять с помощью одного электроактиватора производительностью 5...7 м³/ч, электрической мощностью 8...10 кВт. Стоимость обработки 1 м³ воды 2...3 к.

Электроактиватор представляет собой разновидность диафрагменного электролизера, в котором жидкость обрабатывают, как правило, только в зоне одного основного электрода, тогда как в зоне электро-

2. Качественный состав коллекторно-дренажных вод до и после униполярной обработки
(вода с отрицательным потенциалом)

Вода	pH	φ	Общая жесткость, мг·эquiv/л	Компоненты									
				сухой остаток	% снижения	Ca ²⁺ , мг/л	% снижения	Mg ²⁺ , мг/л	% снижения	SO ₄ ²⁻ , мг/л	% снижения	Cl ⁻ , мг/л	% снижения
Исходная	7,9	+390	20,8	2592	24,8	174,3	34,8	147,1	90	1185	18,1	426,8	27
Обработанная	11,1	-840	6,1	1948		113,7		15,8		971,1		311,5	
Исходная	7,7	+470	27,8	4008	23,8	210,4	28,6	210,4	100	1613,1	22,4	873	26,6
Обработанная	11,5	-870	7,5	3054		150,3		0,0		1251,7		640,7	
Исходная	8,6	+414	32,5	4904	26,0	224,4	38,4	259,0	100	2189,2	36,1	814,8	36,6
Обработанная	2,15	-920	7,1	3727		138,2		0,0		1398,7		516,8	
Исходная	0,05	+410	37,0	5460	23,0	300	36,6	264	92,0	2592	22,0	1080	33
Обработанная	-	-	9,8	4210		190,2		21,1		2026		723,6	
Исходная	8,1	+420	39,7	6300	26,0	296,6	36,0	302,8	93,2	3028	34,0	1319	22
Обработанная	11,0	-710	11,0	4650		188,4		20,5		1998		1028,8	
Исходная	8,2	+520	47,0	7700	24,0	360	16,0	348	91,0	3840	27,5	1440	26,4
Обработанная	11,1	-810	17,6	5840		302,4		31,3		2784		1060	
Исходная	8,1	+490	61,8	8040	32,0	397	22,0	501	99,0	3840	29,0	1299	36,6
Обработанная	11,7	-860	15,7	5460		310		5,0		2726		823,5	
Исходная	8,1	+350	54,2	1025,6	29,2	334,7	14,6	507,1	99,0	4740,5	23,0	1571,4	24,6
Обработанная	11,4	-870	8,5	7336		286,3		4,9		3648,7		1184,5	
Исходная	7,8	+470	108,0	19452	16,5	561,1	36,7	972,8	90	9069,7	11	3026,4	14
Обработанная	10,3	-820	41,8	16242		355,1		97,8		8071,6		2602,2	

да противоположной полярности (вспомогательного) поддерживают минимально возможный расход активируемой жидкости (0,1...1% расхода в зоне основного электрода) либо заполняют эту зону специальной жидкостью, нейтрализующей продукты электрохимических реакций у вспомогательного электрода (вспомогательным электролитом).

Использование униполярных диафрагменных электроактиваторов в различных областях народного хозяйства сдерживается отсутствием серийно выпускаемых установок. В Средазниигазе и САНИИРИ разработан ряд промышленных и лабораторных электроактиваторов, предназначенных для обработки воды с широким диапазоном минерализации и различным ионно-солевым составом.

Технико-экономические показатели устройств для электрохимической активации воды могут быть существенно улучшены, если будет решен выбор рациональных электродных материалов, оптимального конструктивного оформления, а также эффективных технологических схем и режимов работы.

На основании изложенных выше результатов исследований можно считать, что метод униполярной электроактивации — один из перспективных для улучшения качества оросительных и коллекторно-дренажных вод.

УДК 626.810

РОЛЬ МИКРО- И МАКРОУДОБРЕНИЙ В УЛУЧШЕНИИ ОРОСИТЕЛЬНЫХ СВОЙСТВ МИНЕРАЛИЗОВАННЫХ ВОД

О. Г. ГРАММАТИКАТИ, доктор сельскохозяйственных наук
А. А. АБАЕВА

*Всесоюзный научно-исследовательский институт
гидротехники и мелиорации*

Использование минерализованных вод — одна из наиболее острых проблем в орошаемом земледелии. Для ее решения существуют два подхода: разработка критериев оценки качества оросительных вод и установление допустимых пределов минерализации воды в зависимости от ее химического состава и условий применения.

Поиски пути возможного использования минерализованной воды для орошения направлены на изучение способов полива, режимов орошения и разработку агротехнических приемов улучшения оросительных свойств минерализованных вод, снижения их вредного действия на почву и растения.

В наших исследованиях ставилась задача выяснить возможность улучшения оросительных свойств минерализованных вод путем внесения в почву в процессе полива микро- и макроудобрений.

Как известно, микроэлементы так же необходимы растениям, как и макроэлементы. Разница между этими двумя группами не качест-

венная, а количественная. Элементы, составляющие 10...0,01 % живой массы растительного организма, В. И. Вернадский назвал макроэлементами, а 0,01...0,00001 % — микроэлементами.

Эффективность микроудобрений зависит прежде всего от содержания в почве микроэлементов в доступной для растений форме. При недостатке в почве В, Мп, Сu, Со и Мо внесение микроудобрений, содержащих эти элементы, повышает не только урожай, но и его качество. В связи с этим микроудобрения в перспективе должны найти широкое применение на орошаемых землях.

В состав основных орошаемых культур входят овощные и зернобобовые, многолетние бобовые травы, сахарная свекла, предъявляющие повышенные требования к содержанию в почве микроэлементов, что еще более расширяет перспективы применения микроудобрений, тем более, что содержание микроэлементов в поверхностных водах ничтожно мало и не может удовлетворить в них потребность орошаемых культур.

Микроэлементы в нашей стране применяют преимущественно в неорошаемом земледелии. Их роль в этих условиях хорошо изучена. Выяснено, какие почвы бедны микроэлементами, какие культуры предъявляют повышенные требования к тем или иным микроэлементам. Установлены дозы удобрений под сельскохозяйственные культуры для различных почв и составлены программы, позволяющие рассчитывать потребность культур в микроудобрениях на ЭВМ.

Однако в условиях орошаемого земледелия роль микроэлементов изучена недостаточно и почти совсем не выяснена возможность улучшения оросительных свойств минерализованных вод путем внесения с водой микро- и макроудобрений. В то же время имеются основания предполагать, что микроэлементы могут снизить вредное действие солей, содержащихся в минерализованных дренажных, сбросных и других водах, на растения и почву.

Опыты проводили в течение трех лет (1983—1985 гг.) в Калмыкии на бурых полупустынных почвах, бедных микроэлементами и элементами минерального питания растений. Содержание солей в оросительной воде колебалось от 4,09 до 5,92 г/л. Влияние микро- и макроэлементов, внесенных с минерализованной водой, на сельскохозяйственные культуры и почву изучали как в вегетационных, так и в полевых мелкоделяночных опытах. Вегетационные опыты проводили с суданской травой, ячменем и люцерной.

Ниже даны результаты полевых опытов с люцерной второго года жизни, которую поливали два года подряд водой повышенной минерализации. Была использована вода из озера, в которое поступают сбросные воды с рисовых оросительных систем, ее химический состав приведен в таблице 1. Макроудобрения вносили в форме нитрофоски под зяблевую пахоту (70 кг/га) и с поливной водой под каждый укос (40 кг/га). Состав микроудобрений установили с учетом их дефицита в почве и потребности в них растений люцерны. Всего в пересчете на 1 га

1. Химический состав воды, использованной в полевом опыте, мг · экв/л

Дата отбора пробы	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	Плотный остаток*
16.05	12,5	33,5	28,8	3,0	25,0	46,8	4,1
29.05	12,0	37,0	26,7	4,5	23,7	47,9	4,1
08.06	14,0	25,0	32,1	5,0	19,3	46,8	4,1
21.06	14,0	26,0	35,5	5,0	23,1	47,3	4,1
02.07	9,6	3,6	42,3	4,8	17,4	33,2	4,0
09.07	10,8	15,2	56,7	4,4	22,4	55,8	5,5
17.07	11,6	7,2	63,8	5,2	24,4	53,0	5,6
25.07	13,2	6,4	64,2	5,2	24,4	54,1	5,9
19.08	14,8	4,8	64,0	4,8	24,7	54,1	5,8
21.09	6,5	13,5	72,5	4,0	33,8	54,7	5,7
Пресная вода	7,5	16,5	1,2	2,5	9,8	12,9	1,0

* В г/л.

было внесено, г: меди — 75, молибдена — 100, бора — 120, марганца — 48, кобальта — 200. Предполивную влажность почвы поддерживали на уровне 80% НВ. Оросительная норма составила 8800 м³/га. Данные об урожайности люцерны второго года жизни в зависимости от химического состава оросительной воды приведены в таблице 2.

2. Урожайность зеленой массы в зависимости от химического состава оросительной воды, т/га, по укусам

Вода	1-й	2-й	3-й	4-й	Всего
Пресная	17,4	19,0	15,7	17,0	69,0
Минерализованная	11,9	12,5	10,2	11,5	46,3
Минерализованная + удобрения	13,3	14,6	12,1	12,8	52,9
Минерализованная + микроэлементы	12,9	14,0	11,4	12,3	51,6
Минерализованная + удобрения и микроэлементы	16,1	17,5	14,6	15,2	63,4
Пресная + удобрения и микроэлементы	23,7	25,9	21,7	22,9	94,2

При использовании для полива минерализованной воды урожайность люцерны снизилась по сравнению с урожайностью при поливе пресной водой на 6 т/га и составила 12,28 т/га сена; в варианте с внесением микроудобрений она возросла до 13,47 т/га, с макроудобрениями — до 14,43 т/га. Максимальная урожайность (16,97 т/га) была достигнута, когда вносили и микро-, и макроудобрения.

Результаты опытов показывают, что применение удобрений на бурых почвах Калмыкии позволяет улучшить оросительные свойства минерализованных вод. Только за счет микроэлементов урожайность зеленой массы люцерны возросла на 5,3 т/га, сена — на 1,19 т/га. Внесение макроудобрений повысило урожайность соответственно на 6,6 и 2,15 т/га.

В этом опыте отчетливо проявился эффект взаимодействия двух факторов — микро- и макроудобрений. Так, сумма прибавок зеленой массы от раздельного действия микро- (5,3 т/га) и макроудобрений (6,6 т/га) составила 11,9 т/га и сена — 3,34 т/га (1,19 + 2,15 т/га). При

одновременном же действии этих двух факторов прибавка урожая зеленой массы возросла до 17,1 т/га и сена — до 4,69 т/га.

Эффект взаимодействия двух факторов выразился в получении 5,2 т/га зеленой массы люцерны, или 1,35 т/га сена.

Следовательно, внесение микроудобрений с оросительной водой позволяет не только повысить устойчивость сельскохозяйственных культур к вредному действию солей, содержащихся в минерализованных водах, но и значительно повысить эффективность использования удобрений.

Не менее важен вопрос о влиянии минерализованных вод на почву. В наших опытах влияние микро- и макроэлементов на почву было аналогично влиянию их на растения. При внесении микроэлементов химические свойства почвы улучшались, причем их положительное влияние усиливалось при одновременном внесении макроудобрений (табл. 3).

3. Содержание солей в почве (плотный остаток) при орошении водой различного состава

Слой почвы, см	Перед поливом	В конце вегетации при поливе водой			
		пресной	минерализованной	минерализованной + микроудобрения	минерализованной + микро- и макроудобрения
0...30	0,138	0,216	0,363	0,230	0,204
0...50	0,155	0,275	0,404	0,319	0,258
50...100	0,295	0,317	0,440	0,347	0,380
0...100	0,225	0,296	0,422	0,333	0,319

Также отчетливо проявилось влияние микро- и макроудобрений на физико-химические свойства почвы (табл. 4). Емкость поглощения возросла во всех вариантах полива минерализованной водой с одновременным внесением удобрений по сравнению с вариантом полива только минерализованной водой. Причем содержание иона Ca^{2+} повысилось, а Na^+ снизилось. Не меньшее значение имеет установленный в этом опыте факт торможения процесса осолонцевания под влиянием микроэлементов. Во все периоды наблюдений % иона Na^+ от суммы поглощенных оснований в вариантах с внесением микроудобрений был ниже, чем в вариантах без их внесения.

4. Влияние микро- и макроудобрений, внесенных с оросительной водой повышенной минерализации, на физико-химические свойства бурых почв

Вода	Содержание обменных оснований, мг · экв/100 г почвы				Сумма поглощенных оснований, мг · экв/100 г почвы	% Na от емкости поглощения
	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺ + Mg ²⁺	Na ⁺		
Весна 1984 г.						
Исходная	11,16	9,09	20,25	1,15	21,4	5,4
Осень 1984 г.						
Пресная	12,70	8,38	21,07	0,95	22,0	4,3
Пресная + микро- и макроудобрения	13,0	8,55	21,55	0,85	22,4	3,8
Минерализованная	10,57	8,95	19,22	1,38	20,9	6,6
Минерализованная + микроудобрения	12,50	8,25	20,75	1,07	21,8	4,9
Минерализованная + макроудобрения	12,25	8,60	20,85	1,15	22,0	5,2
Минерализованная + микро- и макроудобрения	12,74	8,90	21,64	1,06	22,7	4,7
Весна 1985 г.						
Пресная	13,94	8,23	22,17	0,83	23,0	3,61
Пресная + микро- и макроудобрения	14,86	8,42	23,28	0,72	24,0	3,0
Минерализованная	11,61	9,10	20,71	1,19	21,9	5,43
Минерализованная + микроудобрения	12,35	9,15	21,50	1,10	22,6	4,87
Минерализованная + макроудобрения	11,91	9,15	21,06	1,14	22,2	5,13
Минерализованная + микро- и макроудобрения	12,97	9,0	21,97	1,03	23,0	4,48
Осень 1985 г.						
Пресная	14,27	8,73	23,0	0,80	23,8	3,36
Пресная + микро- и макроудобрения	15,35	8,35	23,7	0,60	24,3	2,47
Минерализованная	11,15	9,50	20,65	1,15	21,8	5,27
Минерализованная + микроудобрения	11,94	9,31	21,25	1,05	22,3	4,71
Минерализованная + макроудобрения	11,72	9,20	20,92	1,08	22,0	4,91
Минерализованная + микро- и макроудобрения	13,47	8,65	22,12	0,98	23,1	4,24

УДК 631.674(478.9)

УЛУЧШЕНИЕ КАЧЕСТВА ВОДЫ ДЛЯ СИСТЕМ МИКРООРОШЕНИЯ

М. Г. ЖУРБА, доктор технических наук

Центральный научно-исследовательский институт
комплексного использования водных ресурсов

Основные достижения и проблемы в области разработки и внедрения систем микроорошения, и в первую очередь капельного (СКО),

в мировой и отечественной практике подробно изложены в литературе (Б. Г. Штепа, 1983; Е. Воент, 1972; М. Г. Журба, 1982). Их преимущества заключаются в экономии оросительной воды на единицу прибавки урожая, возможности создания оптимального водно-воздушного режима в зоне корневой системы растений, низкой энергоемкости в результате использования низконапорной (0,05...0,2 МПа) водораспределительной сети, незначительной металлоемкости сети и широком применении полимерных материалов, возможности полной автоматизации управления поливом, орошения склоновых земель без опасения возникновения их эрозии.

Все эти факторы обусловили в последнее десятилетие непрерывный рост площади капельного орошения плодовых (60 %) и овощных (15 %) культур, а также виноградников (20 %) и других (5 %) растений (табл. 1).

1. Площади капельного орошения и виды орошаемых культур за рубежом и в нашей стране

Страна	Вид орошаемых культур	Площадь орошения, тыс. га		
		1976 г.	1981 г.	1985 г.
СССР	Плодовые, виноградники	0,1	5,0	7,9
США	Плодовые, виноградники, овощные	76,2	185,9	340
Франция	Плодовые, цитрусовые, овощные	7,4	22,0	—
Австралия	Плодовые	10,8	20,0	—
Италия	Плодовые, цитрусовые, овощные	2,5	12,0	—

Отрицательные факторы, препятствующие более широкому внедрению крупномасштабных СКО: нарушение равномерности водоподачи по площади орошения вследствие засорения и полной забивки капельниц и поливных трубопроводов, а также растрескивания и нарушения герметичности капельниц из-за их недостаточной стойкости против воздействия окружающей среды; сравнительно высокая стоимость систем; возможность засоления отдельных категорий почв при поливе минерализованными водами.

Очистка оросительной воды в практике внедрения систем капельного и подпочвенного орошения рассматривается как одна из основных проблем, определяющих степень их работоспособности.

В воде поверхностных и подземных водоисточников, используемых для орошения, могут содержаться различные загрязнения и ингредиенты, оказывающие отрицательное воздействие на работоспособность микроводовыпусков. По докладу рабочей группы МКИД, капельные водовыпуски забиваются под действием механических (41 %), биологических (37 %) и химических (22 %) факторов. К механическим факторам можно отнести крупные плавающие загрязнения (листья, кора, обрывки бумаги, кусочки древесины и др.) и взвешенные в воде

загрязнения минерального происхождения (песок, частицы грунта и т. п. плотностью более 1, размером от 2...3 до 5...10 мкм). К биологическим загрязнениям относят вещества органического происхождения (водоросли, фитопланктон, зоопланктон и т. п.).

Существующие в настоящее время средства позволяют очистить воду от механических, химических и биологических загрязнений. Однако в силу того что более эффективная водоочистка, как правило, достигается при меньшей производительности сооружений (что ведет к значительному повышению стоимости СКО), на практике в основном применяют лишь частичное осветление воды и удаление из нее механических примесей. Наибольшее отрицательное воздействие на работоспособность капельных водовыпусков и средств автоматики обычно оказывают крупные (100 мкм и более) частицы взвеси. Поэтому большинство средств очистки рассчитано на удаление частиц именно таких размеров. Использование технических средств для удаления более мелких взвесей связано с существенными дополнительными затратами и оправдано только для СКО с водовыпусками специальных типов, легко поддающихся забивке (водовыпуски „Молдавия-1А”, Stalax, Rain Bird и др.).

Наибольшее распространение в современной зарубежной практике очистки оросительной воды получили сетчатые фильтры разных типов, гидроциклоны, а также зернистые водоочистные фильтры.

Сетчатые фильтры используют для удаления загрязнений различных размеров и плотности, как правило, больших, чем размер ячейки сетки. Их изготавливают в основном напорными и оборудуют устройствами для автоматической промывки фильтрующих элементов.

Основной фильтрующий элемент сетчатых фильтров — сетка из нержавеющей стали, нейлона, картона, других полимерных высокопрочных тканей с ячейками диаметром 75...200 мкм. Диаметры сетчатых фильтров 50...400 мм, длина 0,5...2,0 м (Vardney Electric Corp., 1985).

Гидроциклоны предназначены для удаления из воды поверхностных или подземных водоисточников грубодисперсных плотных частиц минерального происхождения, так как они работают по принципу разделения фаз в поле центробежных сил. Разновидность гидроциклонов — используемые в зарубежной практике сепараторы. Диаметр гидроциклонов обычно 0,12...0,5 м, высота 0,45...2,5 м (Laval Separator Corp., 1985).

Широкое распространение зернистых фильтров в практике очистки оросительной воды на системах микроорошения объясняется следующим. Площадь фильтрования в одном сооружении существенно превосходит площадь сетчатых фильтрующих полотен, и, кроме того, эти фильтры, в отличие от сеток и гидроциклонов, удаляют из воды взвеси практически любой плотности в широком диапазоне размеров частиц, меньшие из которых на несколько порядков превышают размер пор зернистой загрузки. Зернистые фильтры имеют цилиндрическую форму, их диаметр 0,2...3,4 м, высота 2,0...5,5 м. В качестве загрузоч-

ного материала таких фильтров используется обычно гравий, дробленый гранит, колотый щебень, кварцевый песок и др. (М. Г. Журба, 1980, и др.).

Основные технические характеристики сетчатых фильтров, гидроциклонов (сепараторов) и зернистых фильтров, выпускаемых фирмами США, Италии и Югославии, приведены в таблице 2. Аналогичные по конструкции и близкие к ним по технологическим параметрам фильтры используются на системах орошения в Австралии, Испании, Франции и Мексике.

Водоочистные устройства изготавливают в виде напорных емкостей из стали или чугуна, имеют внешние и внутренние антикоррозионные покрытия из коррозионно-устойчивых грунтовок, эмалей, пластмасс, синтетического каучука или на основе эпоксидного вяжущего. С целью повышения коррозионной стойкости в конструкциях водоочистных средств широко применяют нержавеющие стали.

Особенность устройства узлов очистки воды на крупных системах — блочная компоновка по 2...10 и более в батарее. Устройства для очистки оросительной воды допускают ее подачу на них под давлением 0,6...0,8 МПа (в гидроциклонах — до 1,0 МПа). Зачастую вследствие наличия в оросительной воде широкого спектра различных загрязнений на узлах очистки монтируют несколько последовательно соединенных устройств.

Такие станции, работающие по принципу многоступенчатой очистки, одновременно с повышением качества воды приводят к их конструктивному усложнению, так как пропорционально увеличению числа ступеней водоочистки возрастает число соединительных трубопроводов, запорно-регулирующей арматуры, количество обслуживающего персонала, а также площадь земель, отчуждаемых под строительство станции. Один из путей, позволяющих свести к минимуму недостатки многоступенчатого процесса, — разработка комбинированных установок, совмещающих несколько процессов очистки в одном корпусе.

Стоимость сетчатых фильтров, выпускаемых зарубежными фирмами, в зависимости от их числа в батарее составляет 200...2000 долларов. Стоимость гидроциклонов (сепараторов) зависит в основном от их габаритных и прочностных характеристик и достигает 140...3400 долларов. Стоимость зернистых фильтров зависит от стоимости материалов, из которых они изготовлены, фильтрующей загрузки, контрольно-измерительного оборудования, средств автоматики и колеблется в пределах 700...2500 долларов. Затраты на очистку воды, включая вспомогательное оборудование, на системах капельного орошения в США составляют в среднем 250 долларов на 1 га орошаемых площадей.

Согласно заданиям комплексной целевой программы, научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ ГКНТ СССР и Минводхоза СССР в 1980 — 1985 гг. в ЦНИИКИВРе, УкрНИИГиМе, Укргипроводхозе, СевНИИГиМе и УкрНИИОСе разработаны образцы зернистых, сетчатых, гидроциклонных и комбинированных устано-

2. Основные технические характеристики водоочистных установок, выпускаемых зарубежными фирмами

Тип водоочистных установок	Фирмы-изготовители	Диаметр, м		Производительность, м ³ /ч	Размер задерживаемых частиц взвеси, мкм	Максимальное давление воды на входе, МПа	Стоимость установок, доллары
		длина, м					
Сетчатые напорные фильтры с автоматической промывкой	Bermad Int. Control Ing. (США), Drip-EZE Divis. Autom. (США), Rain Bird (США), Vardney Electric Co ^r (США, Франция) и др.	0,15...0,40		27,3...68,2	74...200	0,7...1,0	228...2250
		0,20...2,00					
Гидроциклоны и сепараторы	Vardney Electric Co ^r (США), Laval Separator Co ^r (Франция) и др.	0,05...0,50		0,8...1120,0	44...47	0,8...0,86	146,5...3410
		0,45...1,25					
Фильтры с зернистой загрузкой (кварцевый песок, гранит, щебень)	Kalligar (США), Vardney Electric Co ^r (США), Jacuzzi (Италия), завод им. Тито (Югославия) и др.	0,46...1,20		2,73...68,2	10...50	0,6...0,8	900...3200
		1,2...1,88					

Примечание. Эффективность удаления из воды взвешенных веществ при разной производительности фирмы-разработчики в технической документации не приводятся.

вок для очистки воды от грубодисперсных взвешенных веществ и плотных частиц минерального происхождения.

Первые испытания сетчатых и гидроциклонных установок конструкции УкрНИИОСа марок ФНС-60, ФНС-90, ФЦ-50 и ФЦ-М, проведенные ПКО ГСКБ по орошению ВНПО „Радуга” в 1980 г. на воде оросительного канала в МССР, показали, что при рекомендуемых разработчиками производительностях, характеристиках сетчатого полотна размером ячеек 0,25 × 0,25 мм и конструктивных особенностях этих аппаратов достичь существенного эффекта очистки на них воды от взвешенных веществ невозможно (табл. 3). Такого типа установки могут выполнять

3. Основные результаты испытаний сетчатых и циклонных установок конструкции УкрНИИОС

Марка установки	Производительность, м ³ /ч	Рабочее давление на входе, МПа	Масса, кг	Продолжительность цикла, ч	Содержание взвешенных веществ, мг/л		Эффект очистки, %
					в исходной воде	в фильтрате	
ФНС-90	80	0,4	130	4	82...96	79...52	4...18
ФНС-60	40	0,5	100	4	82...97	73...58	10...30
ФЦ-50	50	0,3	120	Непрерывный	81...107	73...78	2...23
ФЦ-М	50	0,3	120	То же	81...107	65...90	3...18

лишь роль сороудерживающих решеток в водозаборных сооружениях и задерживать грубые плавающие предметы (листья, щепки) или песок с частицами крупнее 0,25...0,3 мм. Повышение их эффективности возможно лишь с применением в сетчатых установках полотен с ячейками размером не более 0,05...0,1 мм и улучшением в гидроциклонах гидродинамических условий закрутки потока в центробежном поле.

Обобщение результатов испытаний гидроциклонов различных конструкций на природных водах показывает, что гидроциклоны эффективны лишь при разделении фаз на водах с концентрацией взвешенных веществ 800...1000 мг/л и более, причем эффективность их работы повышается при увеличении крупности взвеси и ее плотности, а также при уменьшении внутреннего диаметра гидроциклона.

Одновременно с разработкой сетчатых фильтров и гидроциклонов в лаборатории охраны вод ЦНИИКИВР в 1978 — 1984 гг. были испытаны зернистые пенополистирольные фильтры ФПЗ-4, ФПЗ-3,4-150 большой грязеемкости, а также комбинированные установки, в которых последовательно осуществляется несколько технологических процессов очистки оросительной воды.

На основании выполненных нами исследований ГСКБ по орошению ВНПО „Радуга” была разработана необходимая проектно-конструкторская документация, а ПО „Автополив” Минводхоза МССР изготовлено

и смонтировано на СКО более ста фильтров ФПЗ-3,4-150. Их преимущество по сравнению с отечественными и зарубежными аналогами — достаточно высокая эффективность безреагентной очистки от взвешенных грубо- и тонкодисперсных частиц, находящихся в оросительной воде, большой допустимый диапазон по взвеси в исходной воде, значительная грязеемкость, простота промывки. Основные результаты испытаний такого фильтра, проведенных на воде из Днестра, даны в таблице 4.

4. Основные результаты испытаний фильтра ФПЗ-3, 4-150 на воде р. Днестр

Производительность, м ³ /ч	Площадь орошения, га	Максимальное рабочее давление, МПа	Продолжительность цикла, ч	Масса (с загрузкой), т	Содержание взвеси, мг/л		Эффект очистки, %
					в исходной воде	в фильтрате	
45	100	0,6	8...16	10,9	246...367	11... 46	96...87
90	100	0,6	8...16	10,9	202...464	41...176	80...62
150	100	0,6	8...16	10,9	148...513	46...213	69...58

По результатам испытаний решением Минводхоза СССР фильтры были рекомендованы к серийному производству, а в 1984 г. им была присвоена первая категория качества. Однако опыт освоения новой продукции на системах капельного орошения в Молдавии показал, что из-за некачественного изготовления отдельных дренажных кассет, нарушения правил эксплуатации были случаи попадания загрузки в сеть и выхода из строя уловителей пенополистирола. Несмотря на эти недостатки, а также сложности с приготовлением кондиционной пенополистирольной загрузки с гранулами диаметром 0,8...6,0 мм в условиях механического завода, серийно изготовленные и эксплуатируемые в течение почти 10 лет на Григориопольской, Рыбницкой, Дубоссарской и других системах фильтры подтвердили целесообразность их применения и экономическую эффективность.

Дальнейшее усовершенствование средств очистки воды для отечественных систем микроорошения привело к созданию, изготовлению опытных образцов и испытанию в производственных условиях (на системе капельного орошения „Таврия” в Крымской области) сетчатых установок ФСС-6 и ФСС-6К (УкрНИИГиМ), ФК-2 (Укргипроводхоз), модернизированных ФНС-90 и ФЦ-50А (УкрНИИОС), вихревого осветлителя ОВ (СевНИИГиМ) и комбинированных установок „Компакт-1” и „Компакт-2” (ЦНИИКИВР). По результатам испытаний на воде оросительного канала (табл. 5) к дальнейшему производству были рекомендованы установки ФСС-6К, ФК и „Компакт-2”.

В настоящее время освоено серийное производство лишь установки „Компакт-2” с фильтром диаметром 1,0 и 1,2 м. В ней реализована многоступенчатая схема улучшения качества оросительной воды последовательно в круговом циклоне, блоке микроциклонов, на полимер-

5. Результаты испытаний опытных образцов водоочистных установок отечественных конструкций*

Тип установки	Производительность, м ³ /ч	Эффект очистки по взвешенным веществам, %, при			Число отрицательных результатов	Продолжительность цикла, ч	Потери напора за цикл, МПа	Масса фильтра, кг
		$C_0=500 - 1000$ мг/л	$C_0=500 - 1000$ мг/л	средний				
ФСС-6	35	36,6	18,3	17,0	2	4	0,05	80
ФСС-6К	34	27,4	33,6	30,2	2	4	0,05	80
„Компакт-2” ($D=0,4$ м)	5	70,4	69,0	60,2	—	8	0,10	90
ФНС-90	73	7,4	7,2	8,8	8	4	0,05	110
ФЦ-50А	52	2,7	10,0	5,2	9	Непрерывный	0,10	75
ФК	102	33,0	34,5	28,5	3	0,17	0,08	120

* Из-за конструктивных неполадок ОВ-50 (производительность 50 м³/ч, масса фильтра 472 кг) не удалось в процессе испытаний ввести в рабочий режим.

ной сетке с ячейками размером 150 мкм, в плавающем гранулированном пенополистирольном слое и трубчатом фильтре с обмоткой из полиэтиленового холста с порами размером 50...300 мкм.

При производительности до 30...35 м³/ч такая установка обеспечивает в течение 8...12 ч эффективность удаления из воды 60...80 % взвешенных веществ (при содержании их в исходной воде до 1000 мг/л). При этом потери напора за фильтрационный цикл не превышают 0,1 МПа. Все элементы установки одновременно промываются обратным током отфильтрованной воды, поступающей из параллельно работающих установок. „Компакт-2” можно комплектовать дозатором-вытеснителем или узлом малогабаритного реагентного хозяйства для периодической модификации зернистой загрузки растворами реагентов. Это позволяет интенсифицировать процесс удаления мелкодисперсной взвеси.

Дальнейшие поиски более экономичных и надежных средств водоочистки для микроорошения направлены на снижение металлоемкости установок, устройство открытых комбинированных сооружений непосредственно в регулирующих бассейнах насосных станций подкачки, а также на создание водозаборно-очистных установок, осветляющих поверхностные воды непосредственно в русле водотоков и водоемов.

УЛУЧШЕНИЕ КАЧЕСТВА ПОЛИВНОЙ ВОДЫ НА ОРОСИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМАХ УКРАИНСКОЙ ССР

Т. Н. ХРУСЛОВА, доктор сельскохозяйственных наук
Н. И. ЗАВАЛИЙ, кандидат сельскохозяйственных наук
Ж. А. ЧЕРНАЯ, кандидат биологических наук
В. А. ЧАБАСЬ

*Украинский научно-исследовательский институт
гидротехники и мелиорации*

Дунай-Днестровская оросительная система (1-я очередь) занимает площадь 29,1 тыс. га. Источником орошения служит Сасыкское водохранилище сезонного регулирования дунайской воды, созданное в чаше черноморского лимана Сасык и опресненное в течение 1980 — 1981 гг.

Для превращения морского соленого лимана в пресноводное водохранилище были построены плотина, отделившая лиман от моря, водосбросное сооружение, насосная станция для сброса воды в море, самотечный канал Дунай — Сасык со шлюзом в голове для подачи воды из р. Дунай.

Исследования химического состава воды сасыкского водохранилища в период рассоления (1980—1981 гг.) и эксплуатации Дунай-Днестровской оросительной системы (1982—1984 гг.) показали, что начальная минерализация воды 18...20 г/л (январь 1980 г.) к июлю 1981 г. снизилась до 1,5...2,0 г/л. Нарушения диспетчерских графиков водообмена привели к повышению минерализации до 2,5...2,8 г/л. В апреле—августе 1983 г. минерализация снизилась до 1,1 г/л, а в местах водозаборов — до 1,1...1,3 г/л. В связи с низкими уровнями воды в р. Дунай и маловодьем в период с июля 1983 г. по февраль 1984 г. дунайская вода в водохранилище не поступала, и минерализация вновь повысилась с 1,1...1,2 до 1,7...2,1 г/л, а в местах водозабора — с 1,2...1,5 до 2,6...2,8 г/л.

Вода из водохранилища хлоридно-натриевого типа. Содержание в ней нормальной соды достигает 1,2 мг·экв/л, соотношение натрия и кальция 2,8...5,9, рН 8,1. Воду такого состава можно использовать для орошения только после предварительной подготовки и соблюдения комплекса агромелиоративных мероприятий.

Для улучшения качества воды (нейтрализации соды и снижения щелочности) на оросительной системе были построены опытно-экспериментальные станции для введения серной кислоты в воду с целью ее нейтрализации. Это отдельные сооружения с соответствующими коммуникациями (металлические емкости для хранения кислоты, разветвленная сеть кислотопроводов, дозирующие устройства).

В первой половине 1984 г. атмосферных осадков выпало больше нормы, увеличился приток в водохранилище минерализованных вод

рек Сарата и Когильника (62 млн м^3), что способствовало снижению минерализации воды с $1,7...2,0$ до $1,0...1,2 \text{ г/л}$, а в местах водозабора — с $2,6...2,8$ до $1,2...1,5 \text{ г/л}$. В воде преобладали ионы хлора ($400...600 \text{ мг/л}$) и натрия ($300...380 \text{ мг/л}$).

Последние два года наблюдается повышение щелочности воды как в р. Дунай ($\text{pH } 8,0...8,35$), так и в Сасыкском водохранилище ($\text{pH } 8,4...9,2$). Это объясняется сбросами загрязненных вод р. Дунай, интенсивным развитием микрофлоры в стоячей, хорошо прогреваемой воде и сбросами в Сасык минерализованных вод рек Когильника и Сарата (табл. 1).

1. Химический состав воды 1-й очереди Дунай-Днестровской оросительной системы (май 1986 г.), мг/л

Содержание	Вода в водохранилище Сасык (без подкисления)	Вода в оросительном канале за ГНС-2 на расстоянии от станции подкисления, м		Содержание	Вода в водохранилище Сасык (без подкисления)	Вода в оросительном канале за ГНС-2 на расстоянии от станции подкисления, м	
		50	1800			50	1800
$\text{CO}_3^{''}$	36,0	Нет	Нет	Mg	67	71	71
HCO_2	189	159	143	Na	236	253	253
$\text{SO}_4^{''}$	288	312	348	K	11	11	11
Cl	362	412	393	Сумма солей	1254	1293	1294
Ca	65	75	75	pH	8,36	6,78	7,0

При поливе сельскохозяйственных культур водой хлоридно-натриевого типа сильнощелочной реакции с неблагоприятным соотношением натрия и кальция на отдельных полях отмечали образование корки и уплотнение верхнего ($0...5$ и $0...15 \text{ см}$) слоя, снижение содержания в нем кальция, ухудшение структуры. Для улучшения химического состава воды было принято решение о предварительной ее нейтрализации серной кислотой, а для восполнения запасов кальция — о внесении на всю орошаемую площадь гипса или фосфогипса.

Исследованиями УкрНИИГиМа (Т. Н. Хрустова, 1979; Т. Н. Хрустова, 1983 и др., 1977, 1975) установлено, что эффективность подкисления воды серной кислотой до нейтральной реакции зависит от площади и продолжительности взаимодействия воды с воздухом, бетоном и земляным руслом, температурного режима, исходного pH воды, продолжительности ее транспортирования, синхронности подачи воды в сеть и разбора. Полное смешивание воды с кислотой достигается на расстоянии 50 м от места ее введения.

Под воздействием серной кислоты реакция воды нейтрализуется, общая ее минерализация практически не изменяется, химический состав улучшается. Если до подкисления в оросительной воде ион CO_3 , обуславливающий щелочность, содержался в количестве $1,2 \text{ мг} \cdot \text{экв/л}$ и HCO_3 до $2...4 \text{ мг} \cdot \text{экв/л}$, то после подкисления карбонатные ионы в

воде отсутствовали, а содержание HCO_3 снизилось на 25% (Т. Н. Хрустова, 1977; Т. Н. Хрустова, 1979). На рис. 1 и 2 показаны номограммы для определения потребности в кислоте при нейтрализации поливной воды.

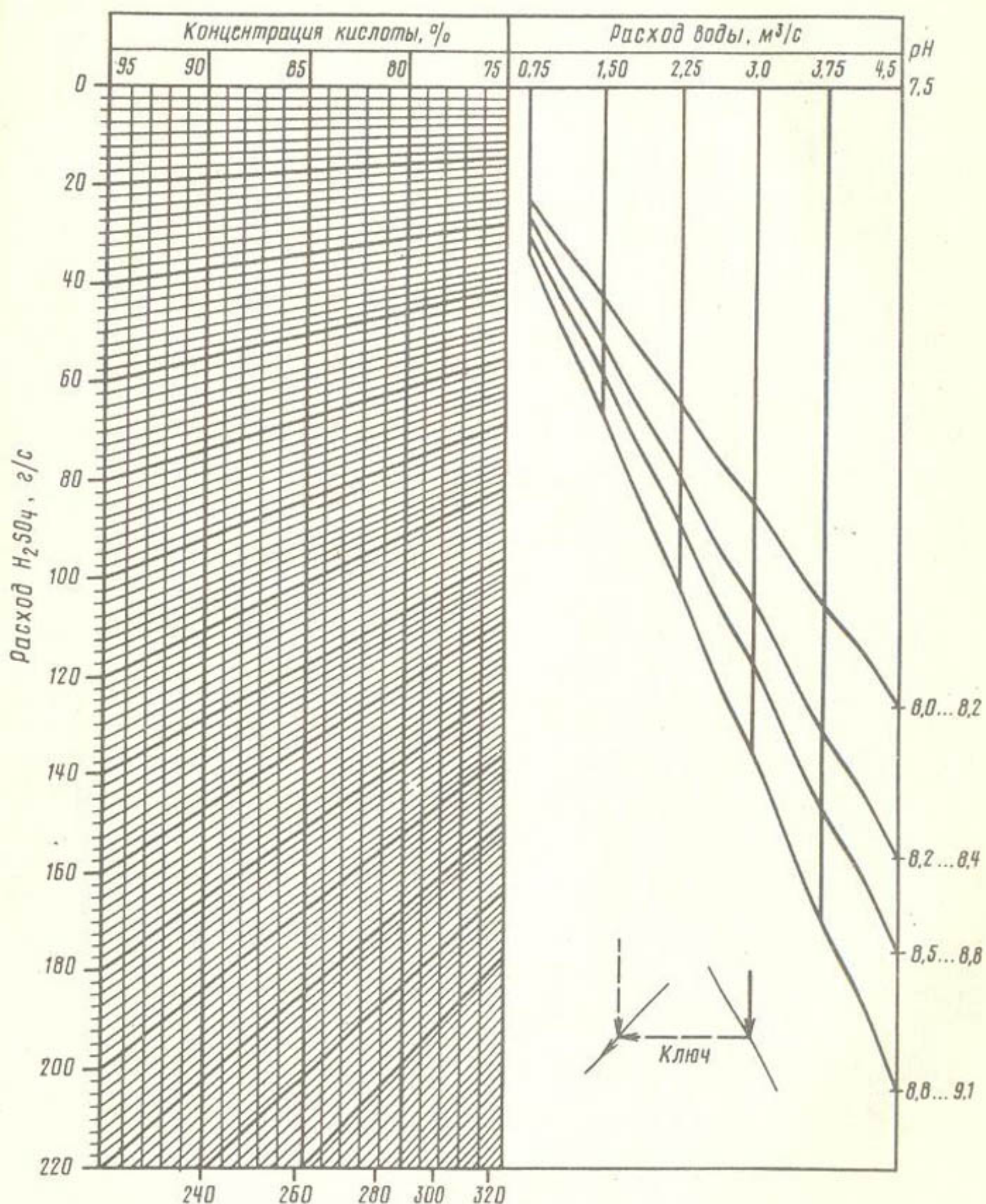


Рис. 1. Номограмма для определения потребности в кислоте при нейтрализации поливной воды (расход воды в канале до $4,5 \text{ м}^3/\text{с}$)

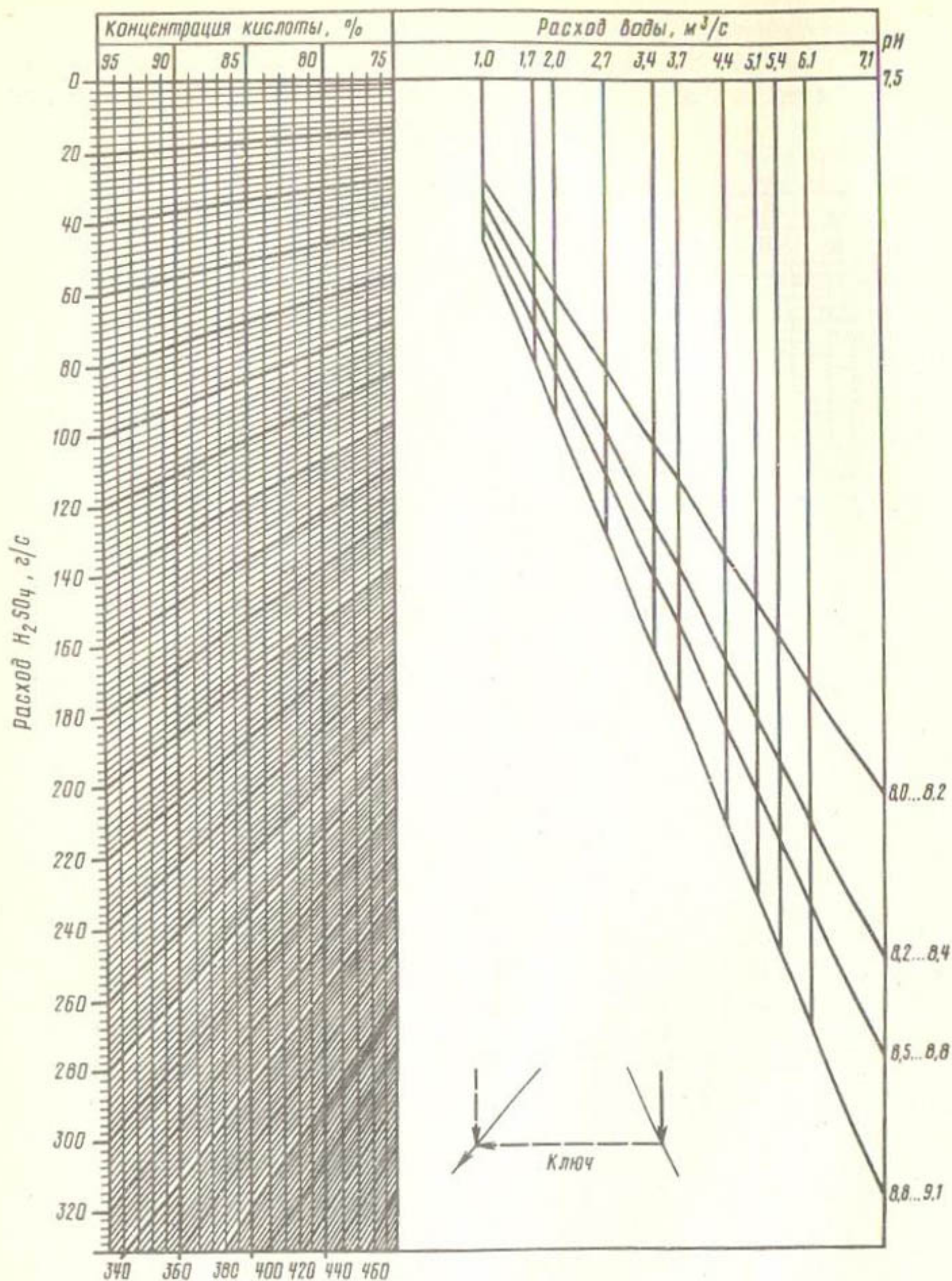


Рис. 2. Номограмма для определения потребности в кислоте при нейтрализации поливной воды (расход воды в канале до 7,1 м³/с)

Одновременно изучали влияние орошения минерализованными водами из водохранилища на содержание и фракционно-групповой состав гумуса в южных черноземах при условии включения в севооборот люцерны. Образцы почв для исследования отбирали в колхозе им. Суворова Татарбунарского района Одесской области, где орошение вели в период 1981–1985 гг. водой хлоридно-натриевого типа минерализацией 1,0...2,5 г/л и рН 7,9...9,1. Количество вылитой воды за период орошения составило 3...4,0 тыс. м³/га, способ полива – дождевание. Содержание углерода определяли по методу Тюринга в модификации Симакова, групповой состав гумуса – по методу Кононовой и Бельчиковой с определением фракции свободных и связанных с полутораокислами гуминовых кислот. Анализ гумусного состояния почв выявил следующее: в верхнем слое (0...10 см) неорошаемого южного чернозема содержится 2,96% гумуса с постепенным убыванием вниз по профилю до 0,90% (90...100 см) (рис. 3). В верхнем слое орошаемого чернозема содержится 3,06% гумуса с убыванием до 0,87% в слое 90...100 см. В слое почвы 30...60 см при орошении обнаружено уменьшение содержания гумуса – 1,09...0,99% по сравнению с 1,27...1,13% на богаре. В более низких слоях существенных изменений гумуса не наблюдали.

В общем виде влияние орошения на гумусное состояние почв определяется запасами гумуса в слое 0...100 см. Судя по значениям 247,4 т/га на неорошаемом черноземе и 248,5 т/га при орошении, общий его запас на орошаемых площадях не изменился, хотя и произошло некоторое его перераспределение по профилю. При этом в слое 0...30 см на пятом году орошения слабоминерализованными водами запасы гумуса возросли со 101,8 до 112,5 т/га, а в слое 30...60 см уменьшились с 81,1 до 72,2 т/га. На орошаемых землях вследствие формирования более мощной корневой системы люцерны по сравнению с неорошаемыми землями новообразование гумуса уравнивается или даже несколько преобладает над его минерализацией в верхних слоях почвы (Т. И. Евдокимова, П. И. Новокшенова, 1980). В слое 30...60 см потери минерализующегося микрофлорой гумуса не восполняются за счет его новообразования, что становится понятным, если учесть сосредоточенность основной массы корневой системы люцерны (97%) в слое 0...30 см. Однако при более длительном орошении этот процесс стабилизируется.

Изменение биогидротермического режима в орошаемых поч-

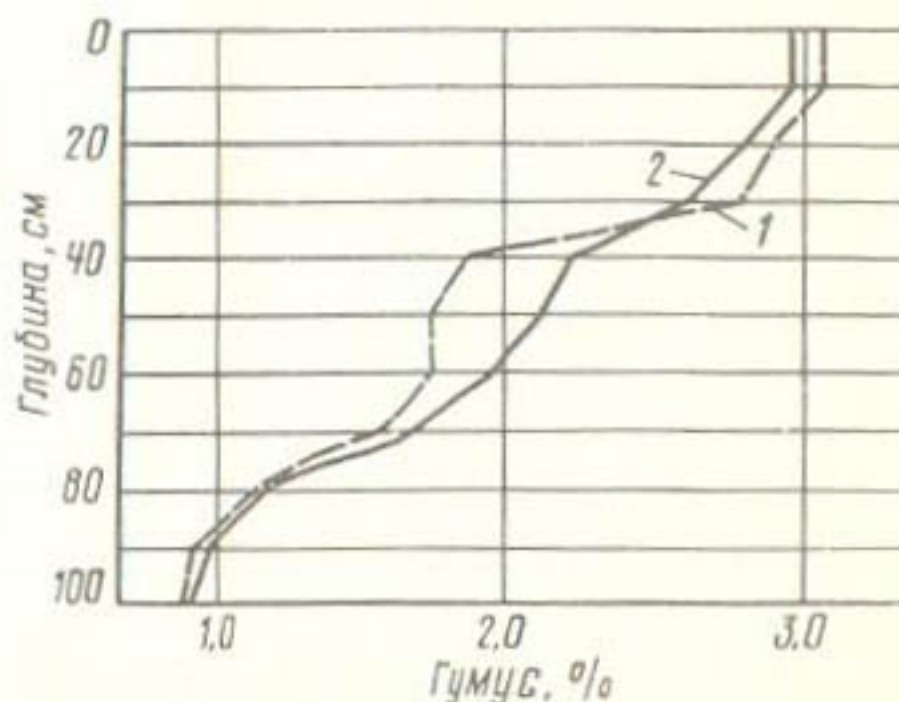


Рис. 3. Содержание гумуса в южных черноземах на орошаемых (1) и неорошаемых (2) участках

вах отражается также на фракционно-групповом составе гумуса. Данные, полученные на образцах неорошаемой почвы, вполне типичны для южного чернозема: гуминовые кислоты преобладают над фульвокислотами, доля свободных и связанных с несиликатными окислами кислот невелика и составляет 0,4...2,0 % общего углерода по профилю. Основную часть гуминовых кислот составляют кислоты, предположительно связанные с кальцием. Количество водорастворимого гумуса (5...30 мг/100 г почвы) также типично для этих почв.

При орошении качественный состав гумуса подвергался изменению, что в первую очередь сказывается на содержании фульвокислот (8,0...14,5 % общего углерода на богаре и 8,3...21 % при орошении), которые в настоящее время рассматриваются как новообразованные предшественники гуминовых кислот или продукты окислительной деструкции последних (В. В. Пономарева, Т. Н. Плотникова, 1980). Можно назвать несколько вероятных причин, обуславливающих повышение содержания фульвокислот при орошении. Это, во-первых, изменение гидротермического режима почв, нарушающее процесс естественного чередования периодов сухости и увлажнения, необходимого для денатурации органического вещества. В результате в почве длительное время сохраняются новообразованные продукты гумификации (Д. С. Орлов и др., 1980). Во-вторых, в условиях слабощелочной реакции оросительных вод возможна деструкция гуминовых кислот за счет кислорода воздуха до фульвокислот (Ильин и др., 1973).

Повышение содержания водорастворимого гумуса при орошении (5...60 мг/100 г почвы) также вполне закономерно, поскольку в него входят элементы органического вещества, находящиеся на первых этапах гумификации и представляющие собой наиболее лабильные его формы. Что касается гуминовых кислот, свободных или предположительно связанных с R_2O_3 , так называемых бурых гуминовых кислот, особых изменений в их содержании при орошении не обнаружено, за исключением незначительного увеличения их количества в верхнем слое (1,8...1,9 % общего углерода на богаре и 2,8...3,1 % при орошении). При изучении влияния орошения на содержание гуминовых кислот, связанных с кальцием, обнаружено уменьшение их количества в слое 0...30 см (26,8...30,8 % на богаре и 26,1...27,6 % при орошении) и возрастание в нижележащих слоях (соответственно 21,7...20,5 и 32,4...31,7 %).

При орошении щелочными минерализованными водами хлоридно-натриевого состава часть кальция, связанного с гуминовыми кислотами, замещается натрием и образовавшиеся легкорастворимые гуматы натрия мигрируют вниз по профилю (Д. С. Орлов и др., 1980).

Кроме того, обнаружено, что и сами кислоты, связанные с кальцием, ранее считавшиеся неподвижными, способны при дополнительном увлажнении растворяться в воде и тем самым увеличивать свою лабильность (В. В. Пономарева, Т. Н. Плотникова, 1980). Накопление этой фракции гуминовых кислот, обладающей высоким сродством к

кальцию, в нижележащих слоях можно объяснить их коагуляцией при встрече в почвенном профиле с карбонатным горизонтом.

Таким образом, при орошении черноземов южных слабоминерализованными водами с включением в севооборот многолетних трав (люцерны) общие запасы гумуса в слое 0...100 см не изменятся, хотя и происходит некоторое их перераспределение по профилю: накопление в слое 0...30 см и уменьшение в слое 30...60 см.

Изменения качественного состава гумуса при орошении заключаются в уменьшении количества гуминовых кислот, связанных с кальцием, в верхних и нарастании их содержания в нижележащих слоях, а также в возрастании его фульватности, растворимости и лабильности.

При орошении водами из водохранилища происходит своеобразный отбор — устранение неустойчивых, накопление устойчивых и наиболее соответствующих сложившимся новым гидротермическим условиям компонентов гумуса. В какой мере этот естественный и неизбежный процесс примет отрицательный характер и скажется на плодородии почв — будет зависеть от соблюдения комплекса агромеритивных мероприятий, которые должны быть направлены на включение в севооборот многолетних трав, люцерны, обогащение поглощающего комплекса кальцием, внесение органических и минеральных удобрений при одновременном улучшении качества поливной воды.

Анализ химического состава водной вытяжки почвы неорошаемых участков показал, что сумма минеральных солей в верхних горизонтах (0...30 см) колеблется в пределах 51,6...91,8 мг/100 г почвы и выравнивается вниз по профилю до 53,2...59,2 мг/100 г. При орошении возрастает содержание солей вниз по профилю (50,9...55,9 мг/100 г почвы в слое 10...30 см и 74,0...92,0 мг/100 г — в слое 30...100 см).

Обращает на себя внимание резкое повышение количества солей в слое 0...10 см (158,0 мг/100 г), обусловленное внесением в почву при орошении фосфогипса. рН среды на неорошаемых участках в пределах изучаемого профиля возрастает с 7,30 до 7,90, при орошении же происходит выравнивание рН (7,55...7,70) с одновременным сдвигом реакции в щелочную сторону в верхних горизонтах.

Что касается ионного состава водной вытяжки, в первую очередь изменяется содержание натрия и хлора, что связано, по-видимому, с составом поливной воды. Количество хлора при орошении увеличилось до 8...16 мг/100 г почвы по сравнению с 2...3 мг/100 г на неорошаемых участках, а натрия — до 2...17 мг/100 г почвы, тогда как на неорошаемых участках — 0,2...0,5 мг/100 г (рис. 4). Существенно изменилось при орошении распределение кальция и сульфатов. Резко увеличенное содержание этих ионов в верхнем (0...10 см) слое объясняется, как указывалось выше, внесением фосфогипса. Количество кальция в слое 10...30 см уменьшилось в 3...4 раза, а в слое 70...100 см — в 1,5...2 раза. Аналогичная тенденция к преимущественной аккумуляции в нижележащих слоях исследуемого профиля характерна и для магния. Карбонатный ион в почвах не обнаружен. В содержании гидрокарбонатно-

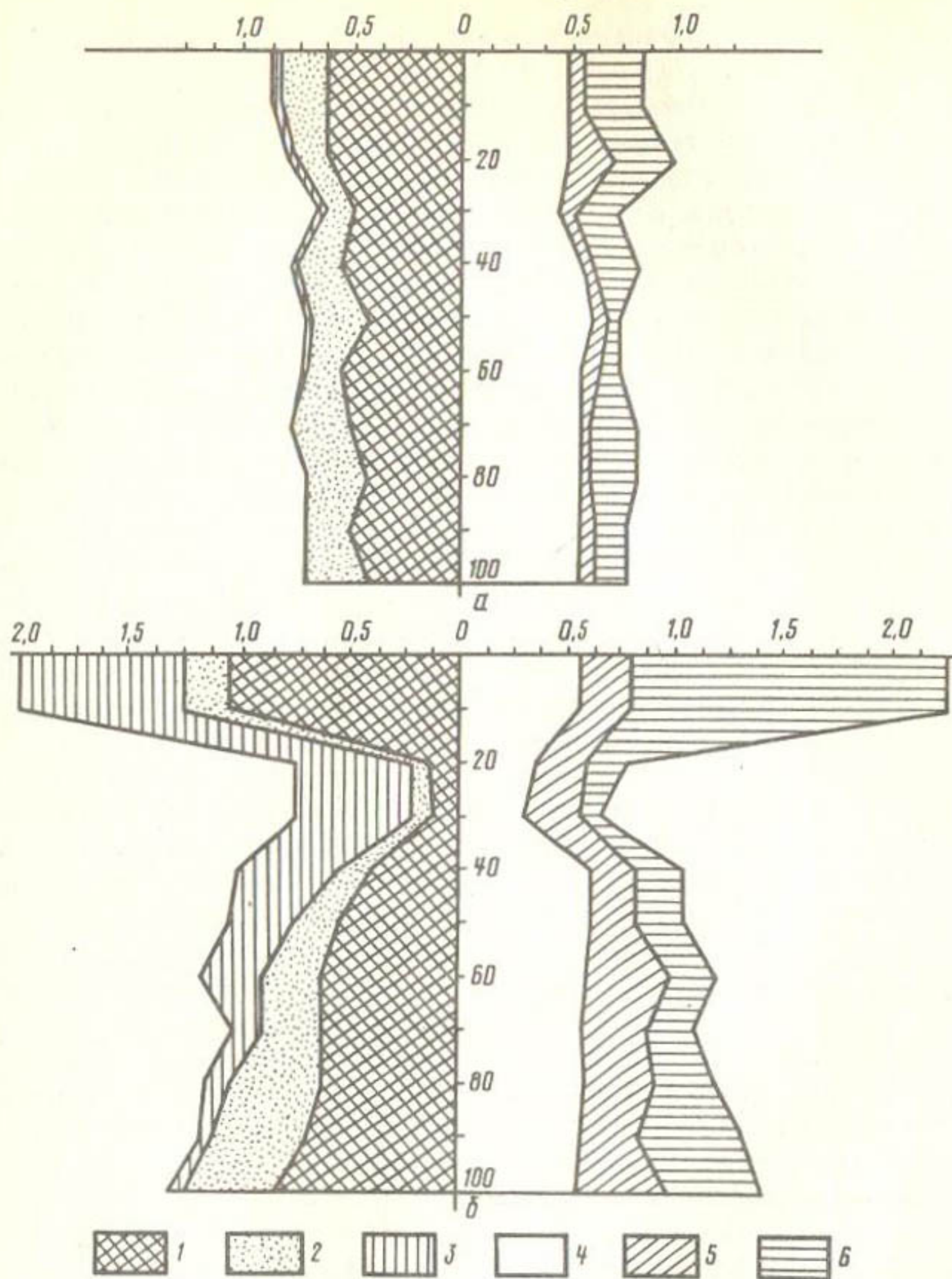


Рис. 4. Солевые профили южных черноземов:

a – неорошаемые участки; *б* – при орошении:

1 – HCO_3^- ; 2 – Cl^- ; 3 – SO_4^{--} ; 4 – Ca^{++} ; 5 – Mg^{++} ; 6 – $\text{Na} + \text{K}^+$

го иона и калия существенных изменений при орошении не отмечается.

Таким образом, орошение сельскохозяйственных культур водой щелочной реакции повышает щелочность почвенного раствора и вызывает характерные изменения в солевом составе почв, что может отрицательно влиять на корневую систему и урожайность растений. В частности, при орошении с пахотного слоя почвы вымывается кальций. Потери его необходимо восполнять путем периодического внесения в почву гипса или фосфогипса.

В наших стационарных полевых опытах (400 га) в колхозе им. Кутузова и им. 50-летия Октября Татарбунарского района Одесской области, заложенных по фону фосфогипса в дозах 2, 4, 6 т/га с люцерной, кукурузой на зерно и силос, озимой пшеницей, установлено, что кальций интенсивно внедрялся в почвенный поглощающий комплекс, замещая магний и натрий.

Количество поглощенного натрия при этом снижалось на 30...40%. Варианты с дозами фосфогипса 4 и 6 т/га оказались практически равноценными. При дозе 6 т/га интенсивней подавлялась щелочность почвенного раствора. Поливы культур щадящими черноземы нормами при высоком агрофоне способствовали получению хороших урожаев (табл. 2), засоления и осолонцевания почв не наблюдалось.

2. Урожайность культур на опытных участках

Культура	Год	Оросительная норма, м ³ /га	Минерализация воды, г/л		Урожайность, т/га
			колебания	средняя	
Кукуруза на зерно	1983	3700	1,22...1,58	1,40	5,51
	1984	1790	1,18...1,78	1,48	4,85
	1985	2200	1,28...1,56	1,42	7,85
Озимая пшеница	1983	1300	1,1...1,6	1,35	3,58
	1984	1300	1,5	1,5	3,58

Для повышения эффективности использования мелиорированных земель в зоне Дунай-Днестровской оросительной системы УкрНИИГиМ предложил следующие мероприятия: интенсифицировать водообмен в водохранилище Сасык для снижения минерализации воды и обеспечения стабильного химического состава оросительной воды; на протяжении всего вегетационного периода применять дифференцированные режимы орошения; совершенствовать структуру орошаемых площадей; насыщать севообороты люцерной и травами (до 35...40%); шире внедрять районированные сорта и гибриды сельскохозяйственных культур; увеличить дозы органических удобрений (не менее 20 т/га); минеральные удобрения вносить в виде физиологически кислых форм, калийные — в виде сульфатных форм; использовать для орошения воду, прошедшую предварительную под-

готовку, на все орошаемые площади вносить гипс или фосфогипс. Все это способствует сохранению и восстановлению плодородия орошаемых земель.

Данные УкрНИИГиМа подтверждаются наблюдениями Одесской гидрогеолого-мелиоративной экспедиции: за период орошения минерализованными щелочными водами (1981 — 1983 гг.) рН почв увеличился с 7,1 до 7,4, содержание обменного натрия в почвенном поглощающем комплексе — с 1,4 до 4,0%; содержание гумуса в пахотном слое снизилось с 2,9 до 2,75%, коэффициент щелочности возрос с 0,2...0,4 до 1,33...1,60, а коэффициент дисперсности — в два раза.

Гипсование почв, подкисление поливной воды, внедрение комплекса агро-мелиоративных мероприятий способствовало восстановлению плодородия почв, орошаемых слабоминерализованными водами.

Так, по данным экспедиции, проведенной в 1985 и 1986 гг., следует, что рН почвы снизился до 7,2, содержание обменного натрия — до 3%, коэффициент дисперсности — в два раза, содержание общего гумуса возросло до 2,85%, коэффициенты щелочности стали меньше единицы. Увеличение количества солей в пахотном слое с 0,02 до 0,04% не вызывало ухудшения почвенного плодородия.

Таким образом, при развитии орошения следует тщательно изучать химический состав оросительной воды и при необходимости разрабатывать способы подготовки к поливу. Очень важным остается вопрос внедрения при этом комплекса агро-мелиоративных мероприятий, направленных на сохранение плодородия почв.

УДК 626.810

УСЛОВИЯ ПРИМЕНЕНИЯ ДЛЯ ПОЛИВА ВОД ПОВЫШЕННОЙ МИНЕРАЛИЗАЦИИ

О. Г. ГРАММАТИКАТИ, доктор технических наук

*Всесоюзный научно-исследовательский институт
гидротехники и мелиорации*

Необходимость использования минерализованных вод для орошения вызвана следующими причинами: дефицитом пресной воды, повышением содержания солей в водных источниках (в дельте Амударьи и Сырдарьи оно достигает 1,5...2,0 г/л), огромным объемом дренажно-сбросных вод (часть их может быть повторно использована для орошения).

Ответить на вопрос, какое количество солей делает воду непригодной для полива, учитывая только количество и состав солей, нельзя. Необходимо учитывать условия, в которых будет применяться вода повышенной минерализации. К таким условиям относятся: гранулометрический состав почвы, ее водно-физические, физико-химические

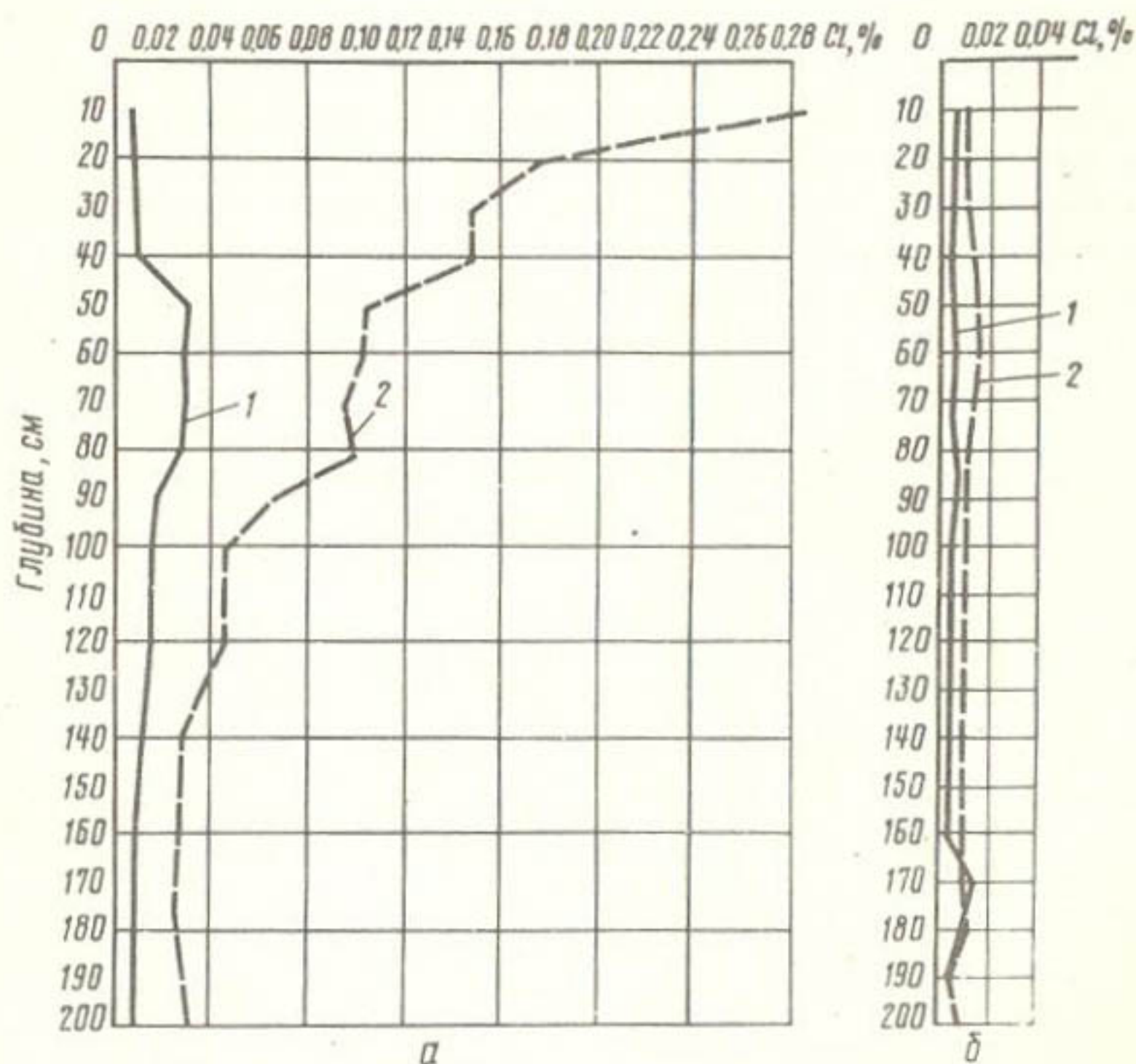
и химические свойства, климат, дренированность территории, глубина залегания грунтовых вод и степень их минерализации, способ орошения, режим орошения и биологические особенности орошаемых культур.

От гранулометрического состава почвы зависит степень аккумуляции в ней солей, тогда как в среднесуглинистой почве при использовании для орошения минерализованной воды накапливаются соли, песчаная почва в аналогичных условиях остается незасоленной.

На рисунке отчетливо видна разница в степени засоления почвы по хлору после полива морской водой: в среднесуглинистой почве происходит аккумуляция иона хлора, а в песке его содержание под влиянием поливов не изменяется.

Большую роль в аккумуляции солей в почве играет климат. В жарком климате процесс эвапотранспирации протекает интенсивнее и опасность повреждения растений солями, содержащимися в оросительной воде, возрастает.

Опасность повреждения растений солями зависит также от влажности почвы. Положительные результаты и высокие урожаи культур,



Распределение иона хлора по глубине почвенного профиля до (1) и после (2) орошения морской водой:

а — среднесуглинистая почва; б — пески

поливаемых водой повышенной минерализации, можно получить только при поддержании влажности почвы не ниже предела передвижения воды в почве в виде капиллярных токов. В опытах О. Г. Грамматикати и З. З. Щугаибова (1979) растения озимой пшеницы при поливе морской водой нормально развивались в условиях оптимального режима орошения, несмотря на то что содержание в почве иона хлора достигало 0,1 %, т. е. было в 10 раз выше допустимого.

Перспективные способы полива минерализованной водой разработаны недостаточно, предпочтение следует отдавать поверхностным способам полива. В литературе имеются указания о возможности применения минерализованной воды при капельном орошении, особое преимущество которого — непрерывная ее подача в корнеобитаемую зону — позволяет избежать повреждения корневой системы растений.

Как утверждает Р. Содерланд (1982), поступающая с минерализованной водой соль движется через увлажненную зону и аккумулируется на ее периферии, большая же часть этой зоны остается менее засоленной. Однако увлажненная зона не должна пересыхать.

Степень солеустойчивости сельскохозяйственных культур также может изменяться в зависимости от климата, почвы и возделываемых на орошаемых землях сортов. Этим и объясняется некоторое расхождение в оценке степени солеустойчивости культур. Например, хлопчатник по классификации У. Бойко (1967) попадает в класс слабосолеустойчивых культур, тогда как советские специалисты относят его к культурам со средней солеустойчивостью, а по классификации Ван Дер Берга хлопчатник попадает в группу растений с высокой солеустойчивостью. Ниже приведены данные о степени солеустойчивости сельскохозяйственных культур и фруктовых деревьев:

<i>Степень солеустойчивости</i>	<i>Культура</i>
Высокая	Капуста (некоторые сорта), ячмень, сахарная свекла, турнепс, хлопчатник
Средняя	Оливковое дерево, инжир, финиковая пальма, томаты, цветная капуста, салат, картофель, морковь, огурцы, лук, некоторые сорта клевера, люцерна, пшеница, рис, сорго, овес, кукуруза, подсолнечник, лен
Слабая	Груша, яблоня, апельсин, лимон, миндаль, персик, земляника, фасоль, сельдерей

Учеными Австралии (Malcolm, Smith, 1971) разработаны рекомендации по применению воды различной минерализации в зависимости от степени солеустойчивости растений (табл. 1). Из декоративных древесных насаждений наиболее перспективной для полива водой, содержащей 1,5...3,5 г/л солей, оказалась акация белая, а наиболее солеустойчивой — тамариск. Эти культуры, как показали опыты, проведенные в Дагестане, хорошо переносят полив морской водой с содержанием солей 12,5 г/л (О. Г. Грамматикати, Д. У. Рамазанов, 1977).

Первые опыты в нашей стране по изучению влияния минерализованной воды на сельскохозяйственные культуры и почву были проведены В. М. Легостаевым еще в 1931 г. На их основании он пришел к заключению о возможности и необходимости использования вод повышенной минерализации (значительно более 1 г/л) для орошения сельскохозяйственных культур и промывки засоленных земель.

Исследования, выполненные в Ташаузском оазисе (Туркмения) под руководством И. С. Рабочева (1974), показали, что минерализованные воды могут быть использованы для промывки солончаков с одновременным возделыванием риса. При использовании минерализованных вод для орошения в условиях Туркмении урожаи сельскохозяйственных культур близки к урожаям, полученным при поливе пресной водой, и составляют 80...96,4 % этих урожаев.

В Средней Азии с оросительных систем ежегодно отводится 20...25 км³ коллекторно-дренажных вод. Эти воды могли бы служить источником орошения для нескольких миллионов гектаров земель. Коллекторно-дренажные и подземные воды, содержащие до 5 г/л солей, могут быть использованы для промывки солончаков и сильнозасоленных земель, полива кормовых культур при соответствующих почвенно-мелиоративных условиях Туркмении при промывном типе орошения, когда водоподача преобладает над испарением воды с орошаемого поля (И. С. Рабочев).

Об эффективности полива хлопчатника свидетельствуют многолетние опыты Г. А. Ибрагимова. По данным Г. М. Гусейнова (1973), в Кура-Араксинской низменности Азербайджанской ССР коллекторно-дренажная сеть ежегодно отводит в Каспийское море около 1,2 млрд м³ коллекторно-дренажных вод, содержащих 13,9 млн т солей. С течением времени, как показал опыт Муганской опытно-мелиоративной станции АзНИИГиМа, под влиянием промывок и орошения произошло опреснение не только слоя почвы до зоны аэрации, но и верхней толщи грунтовых вод. Так, трехметровая толща почвы за 40 лет опреснилась с 0,5...1,5 до 0,2...0,5 г/л, а минерализация грунтовых вод снизилась с 25 до 4...8 г/л. На основании многолетних исследований Г. М. Гусейнов приходит к выводу о возможности использования этих вод для орошения.

Положительные результаты получены при орошении водой хлоридно-сульфатно-натриевого типа минерализацией до 5 г/л кормовых культур в Кенес-Анархае (Б. Я. Бакало, С. П. Писменный, 1978).

Продолжаются исследования по использованию для орошения морской воды. Новые данные получены латвийскими учеными при орошении водой Балтийского моря многолетних трав.

На территории нашей страны в Балтийское море впадает 250 рек, которые ежегодно вносят в него 472 км³ пресной воды. Содержание солей в воде Балтийского моря у берегов Латвии не превышает 7...8 г/л, а во многих пунктах составляет 3...5 г/л.

Несмотря на достаточное количество осадков, выпадающих в Латвийской ССР, потребность в орошении кормовых и овощных культур

2. Влияние полива морской водой на накопление сырой и сухой массы растений люцерны

Вода	Сырая масса		Сухая масса	
	г на 1 сосуд	% к контролю	г на 1 сосуд	% к контролю
Пресная (контроль)	17,12	100	4,02	100
Морская, %				
100	9,84	58	2,44	61
75	10,62	62	2,60	65
50	16,18	95	4,30	107
25	19,34	113	4,92	122

ными минерализованными водами, содержащими макро- и микроэлементы, повышает урожайность сельскохозяйственных культур в гумидных районах.

На основании экспериментальных исследований можно прийти к выводу, что внесение с оросительной водой макро- и микроудобрений, когда содержание их подвижных форм в почве недостаточно, должно стать обязательным приемом при использовании для орошения вод повышенной минерализации.

УДК 631.67

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МИНЕРАЛИЗОВАННЫХ ПОВЕРХНОСТНЫХ И ШАХТНЫХ ВОД ДЛЯ ОРОШЕНИЯ ЗЕМЕЛЬ ЮЖНОГО УРАЛА И ЗАУРАЛЬЯ

Н. А. МОСИЕНКО, доктор технических наук

Саратовский сельскохозяйственный институт

Южный Урал и Зауралье находятся в зоне недостаточного увлажнения, что обуславливает необходимость применения увлажнительных мелиораций.

Из года в год в этих регионах растет площадь орошаемых земель (в настоящее время она составляет 200 тыс. га), увеличивается расход пресной воды на промышленное и сельскохозяйственное водоснабжение, а сток рек остается относительно стабильным. Растущий дефицит пресной воды может быть в какой-то степени покрыт путем использования для орошения минерализованных вод.

На западном склоне Южного Урала (Оренбургская область) преимущественно распространены воды смешанного химического состава — 0,5...10 г/л. На восточном склоне Урала (Курганская область) минерализация подземных вод составляет 0,5...3,0 г/л, а в южных районах Челябинской области (Кизильский, Агаповский, Троицкий) распространены засоленные воды (3...5, а в отдельных случаях 72 г/л).

В Зауралье преимущественно хлоридные, натриевые и натриево-кальциевые воды минерализацией 3...30 г/л (западная часть Курганской

области), реже 70 г/л (Затоболье). С возрастанием расхода воды для водоснабжения и локального орошения запасы подземных вод на Южном Урале постоянно уменьшаются.

Особенно актуален вопрос о возможности использования минерализованных вод (поверхностных и шахтных) для Челябинской области, где уже сейчас резко ощущается дефицит водных ресурсов (А. А. Дерингер, 1985).

Рассмотрим опыт использования шахтных вод для орошения Челябинского бурогоугольного бассейна.

Почти за пятидесятилетний период эксплуатации шахт выяснилось, что ежегодно бесполезно сбрасывается в реки 15...20 млн м³ шахтных вод, которыми можно было бы оросить, как минимум, 8...10 тыс. га овощных и кормовых культур. Шахтные воды преимущественно гидрокарбонатного состава минерализацией менее 1 г/л. Так, по данным А. П. Сирмана (1973), сбросные воды шахт „Батуриная“, „Восточная“, „Калачевская“, „Красносельская“, „Миасская“, „Октябрьская“ и других имеют минерализацию 0,6...0,9 г/л и вполне пригодны для орошения.

В пригородной зоне шахтные воды повышенной минерализации применяют для полива коллективных садов, а в совхозе „Калачевский“ — овощных культур. Здесь используют преимущественно сбросные воды шахты „Октябрьская“ минерализацией 0,8...1,9 г/л (А. М. Черняев, А. П. Смирнов, 1976). Общая площадь орошения 40 га, на ней успешно возделывают капусту среднепозднюю, томаты и огурцы. Для орошения применяют дождевальную установку ДДН-70, оросительная норма в средний год составляет 1500...1800, в засушливый — 2500...2900 м³/га. Участок орошают с 1961 г., т. е. более 25 лет. Средняя урожайность овощных культур за это время составила 21,5 т/га, а на богаре — 3,5 т/га. Каких-либо отрицательных последствий (солонцевание и др.) не наблюдалось.

Положительные результаты получены при поливе коллективного сада рабочих шахты „Миасская“ (площадь 7,2 га). Здесь хорошие урожаи дают плодовые деревья и ягодники, а также овощи (лук, морковь, свекла и др.). Сбросные воды шахты используют с 1963 г. Они относятся к хлоридно-сульфатно-натриевым общей минерализацией 2,0...3,0 г/л.

В 1974 г. были отобраны пробы воды, почв и плодов для санитарно-гигиенической оценки шахтных вод. По данным обследования образцов, ни в одном из них яйца гельминтов не обнаружены. Это свидетельствует о том, что и в эпидемиологическом отношении возможно использование шахтных вод для орошения садово-ягодных и овощных культур на бедных южных черноземах легкого и среднего механического состава.

Следует особо подчеркнуть, что шахтные воды комбината „Челябинскуголь“ пока еще слабо используются в народном хозяйстве области, а их бессистемный сброс в реки и озера наносит большой вред сельскому хозяйству.

В результате дефицита пресных вод на Южном Урале, по-видимому, целесообразно, кроме сбросных вод действующих шахт, использовать в качестве подземных водохранилищ также закрытые или законсервированные шахты. В летний засушливый период пресная вода из них может служить резервом для полива овощных и кормовых культур в пригородной зоне.

Таким образом, в степной и лесостепной зонах рассматриваемого региона можно использовать для орошения сельскохозяйственных культур не только пресные и маломинерализованные поверхностные и подземные воды с содержанием солей до 1,0 г/л, но и более минерализованные — до 5 г/л. Наиболее безопасно применять такие воды можно в зоне неустойчивого увлажнения на сравнительно хорошо дренированных песчаных и супесчаных почвах.

Заслуживает также внимания предложение о повторном использовании сбросных и дренажных вод на Златополинском и Новотроицком орошаемых массивах в Алтайском крае (Ю. Н. Акуленко, 1975). Сбросные воды, как менее минерализованные, могут аккумулироваться в искусственных водоемах-накопителях на каждом орошаемом участке в замкнутом водообороте. Что же касается дренажных вод, отводимых со Златополинского и Новотроицкого орошаемых массивов вдоль трассы Кулундинского канала, то их можно разбавлять пресной водой из р. Обь, затем повторно использовать для орошения отдельных сельскохозяйственных культур (сахарной свеклы, моркови и др.).

Прогнозирование степени засоления автоморфных почв под влиянием орошения наиболее достоверно для зоны погружения поверхностных вод (по терминологии В. М. Легостаева), ландшафты которой преобладают в западных и центральных районах Челябинской и Оренбургской областей, на северо-западе Курганской области (Н. А. Мосиенко, Ю. П. Антошенков). Здесь уровень грунтовых вод устойчиво залегает на достаточно большой глубине (15...20 м и более) и при рациональном орошении не может быть поднят на критическую глубину (1,5...2,5 м от поверхности).

При орошении водами типа обских (0,3 г/л) засоление автоморфных почв с уровнем грунтовых вод до 2 м на западе Челябинской области будет находиться на уровне 0,1...0,2 %, на основной части территории Челябинской, Курганской и Оренбургской областей — 0,2...0,3 %, на востоке Курганской, Челябинской и Оренбургской областей — до 1,0 %.

При орошении водами минерализацией 1,0 г/л изменения могут быть более существенными. Засоление может достигать: на западе Челябинской области — 0,2 %, на преобладающей части территории региона — 0,3...0,6 %, на востоке Курганской, Челябинской и Оренбургской областей — 1,0 %. С увеличением минерализации оросительных вод (до 2,0 г/л) интенсивность соленакопления возрастает.

Проверка выявленной тенденции на орошаемой площади с высокими уровнями грунтовых вод (нижний склон участка в совхозе „Ново-

миасский" Чебаркульского района Челябинской области) дала положительные результаты (с отрицательными отклонениями для пахотного горизонта, вызванными, очевидно, атмосферным опреснением).

В результате проведенных исследований можно сделать следующие выводы.

1. Прогноз возможного засоления под влиянием орошения автоморфных почв Южного Урала и Зауралья по солебалансовому методу (разработан автором и Ю. П. Антошенковым) показал, что наиболее подвержены засолению восточные районы Курганской, Челябинской и Оренбургской областей.

2. Влияние вод повышенной (более 1,0 г/л) и высокой (более 2,0 г/л) минерализации на мелиоративное состояние орошаемых автоморфных почв будет более интенсивным, чем маломинерализованных (типа обских — 150...300 мг/л); в восточных районах Южного Урала интенсивность засоления может достигать более 1 % даже в средние по увлажненности годы. В засушливые годы (тем более циклы лет) засоление почв будет возрастать: при орошении водами минерализацией 1,0 г/л — до 2 %, минерализацией 2,0 г/л — до 4 %.

УДК 628.176

ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ НОРМИРОВАНИЯ КАЧЕСТВА ОРОСИТЕЛЬНОЙ ВОДЫ

М. Г. ЖУРБА, доктор технических наук

*Центральный научно-исследовательский институт
комплексного использования водных ресурсов*

В связи с развитием в последние годы таких прогрессивных способов орошения, как дождевание широкозахватными высокопроизводительными машинами „Фрегат” и „Кубань”, капельное, синхронно-импульсное, внутрипочвенное и аэрозольное, проблема качества оросительной воды стала особенно острой. Вызвано это тем, что наряду с традиционным нормированием санитарно-гигиенических и химических ингредиентов в оросительной воде в зависимости от орошаемых культур и вида почв возникла также необходимость нормирования ее качества по взвешенным веществам, индексу стабильности, гидробионтам и некоторым другим ингредиентам, провоцирующим укрупнение мелкодисперсных частиц, их осаждение в трубопроводах и закупорку водовыпусков. Применительно к высоконапорным дождевальным машинам нормирующими параметрами являются крупность и плотность минеральных частиц, оказывающих вредное влияние на работу гидравлических насадок и приводящих к их изнашиванию, закупорке, а следовательно, к нарушению равномерности искусственного дождя.

При использовании биохимически очищенных сточных вод для орошения на работу водораспределительной сети существенно влияют микробиальные процессы, развивающиеся в результате дополнительного поступления воздуха в систему через насосно-силовое оборудование, фасонные части и арматуру.

Особенности нормирования и сами нормы качества воды, используемой для систем капельного орошения, освещались ранее (М. Г. Журба, 1982, 1985). Настоящая же работа посвящена технико-экономической оценке оросительных систем, которые в отличие от систем промышленного и питьевого водоснабжения допускают значительно больший диапазон содержания в воде взвешенных веществ, фитопланктона, солей и некоторых других физико-химических ингредиентов.

Поскольку нормы качества оросительной воды назначают исходя не только из ее влияния на почву и орошаемые культуры, но и из условий надежности работы поливной техники, то возникает необходимость решения технико-экономических задач, связанных с определением затрат как на водоочистку, так и на вспомогательные мероприятия, проводимые в процессе эксплуатации систем для поддержания проектного режима их работы. Рассмотрим эти задачи на примере системы капельного орошения (СКО).

При выборе системы капельного орошения один из определяющих моментов — выбор экономически обоснованных и надежных конструкций капельных водовыпусков. Чем жестче требования к равномерности полива водой из поверхностных загрязненных водоисточников, тем сложнее решить задачу по ее очистке. Как показали наши исследования, снизить требования саморегулируемых капельниц к воде по взвешенным веществам (не более 30 мг/л) и гидробионтам (до 5 мг/л) можно путем профилактических и восстановительных промывок поливных трубопроводов и самих капельниц в процессе эксплуатации оросительной системы. Профилактические промывки водораспределительной сети обеспечивают принудительный перевод работы капельных водовыпусков в струйчатый режим. С помощью такого приема с одновременной подачей в сеть раствора хлора в отдельных случаях удастся восстановить расход части засорившихся водовыпусков. Однако из-за быстрого перехода таких капельниц, как Key-meter, „Молдавия-1А”, Subterain, „Тирас” и других, из промывного в рабочий (капельный) режим, не превышающий 1,5...2,0 мин, эффективность вымыва накапливающихся загрязнений внутри труб и капельниц недостаточна.

На основе анализа гидравлических закономерностей работы капельниц различных конструкций, общая наработка которых на системах в реальных условиях достигла 106 ч (рис. 1), нами были рекомендованы следующие технологические приемы профилактических промывок:

для самопромывающихся капельниц „Молдавия-1А”, „Молдавия-4АМ”, Key-meter — работа поливного трубопровода с постоянным концевым сбросом воды при расходе до 15...20 л/ч и перевод капельниц в струйчатый режим после каждого полива с таким же расходом в те-

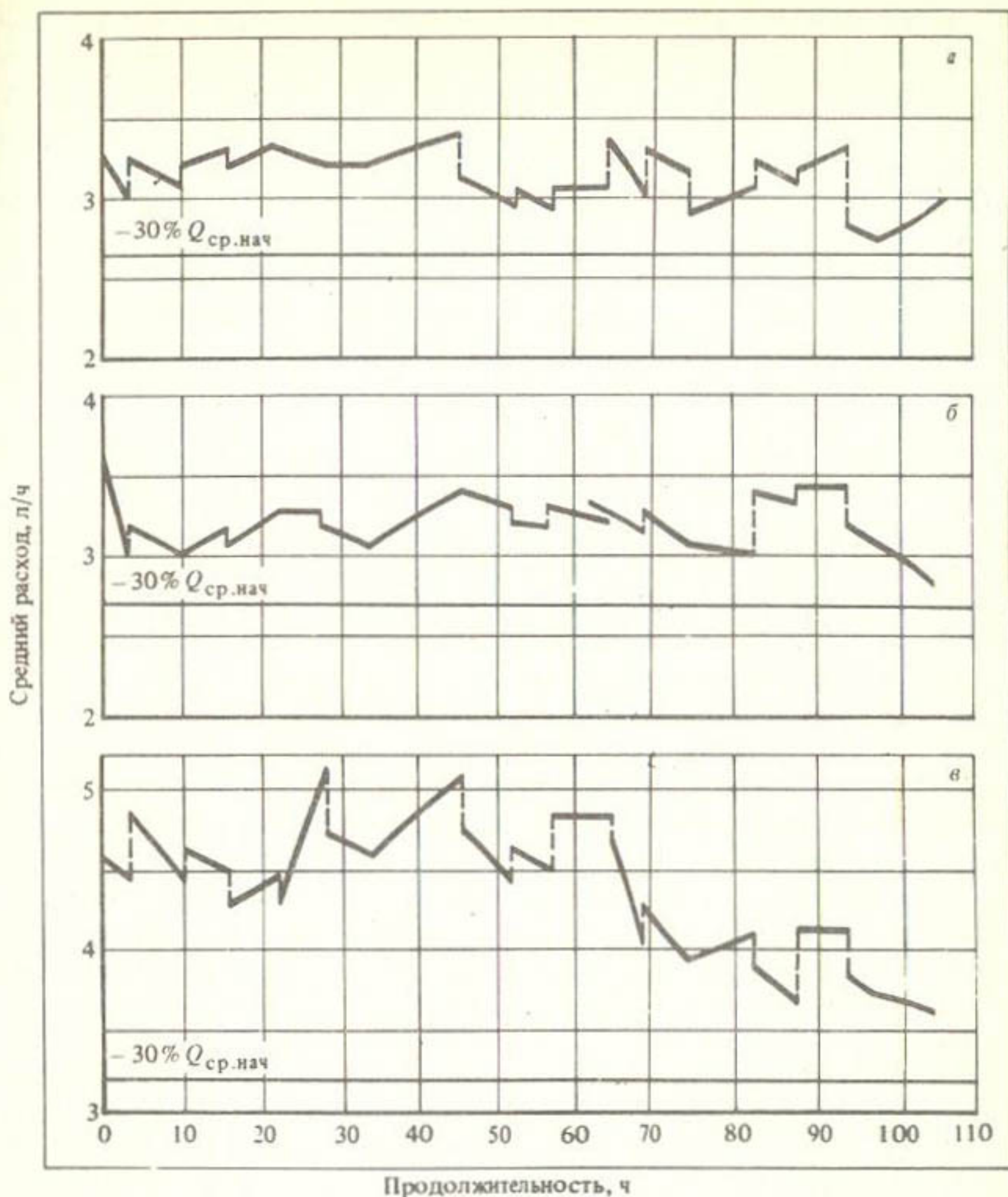


Рис. 1. Изменение средних расходов капельниц во времени при режиме работы:

а – М-1Б; б – М-1АМ; в – КП-4,6; — — — — — восстановление расходов капельниц при переводе на новый режим

чение не менее 5 мин; напор воды в месте подключения капельниц – до 0,05 МПа (в период повторного включения системы в работу); для капельниц с нерегулируемым расходом КП-4,6, „Нистру” – работа с повышенным (в 1,5...2,0 раза) по сравнению с рабочим расходом при искусственном повышении напора в трубах в конце каждого полива в течение 5...10 мин.

При проектировании режимов полива следует учитывать изменение промывных расходов водовыпусков. После окончания полив-

ного сезона надо промыть поливную сеть с открытыми концевыми заглушками-клапанами при напоре воды в голове трубопровода не менее 0,2 МПа, а затем — раствором сернокислой меди (концентрация по чистой меди 3...5 мг/л) в присутствии HCl или H₂SO₄ с pH ≥ 3 в течение 0,5 ч при напоре раствора 0,1...0,15 МПа.

Такие технологические приемы позволяют уменьшить капиталовложения и эксплуатационные затраты на строительство узла водочистки и сооружений для повторного использования промывных вод, но при этом возрастают затраты на эксплуатацию водораспределительной сети. Последние зависят в основном от продолжительности стабильной работы капельниц в конкретных условиях их эксплуатации.

Испытания капельниц в полевых условиях и их математическая обработка данных позволяют получить расчетные зависимости продолжительности стабильной работы капельниц (t_c , ч) от средних значений начальных и конечных их расходов ($\bar{Q}_{н.с.}$, л/г; $\bar{Q}_{к.с.}$, л/г), напора ($\bar{H}_{п.т.}$, МПа), температуры поливной воды (T , °C), содержания взвешенных веществ различной дисперсности и устойчивости ($\bar{C}_o$, мг/л). В общем случае эта зависимость имеет вид

$$t_c = f(\bar{Q}_{н.с.}, \bar{Q}_{к.с.}, \bar{H}_{п.т.}, \bar{C}_o, T, A). \quad (1)$$

Значение A учитывает влияние окружающей среды и условия эксплуатации поливной сети (режим полива, способ междурядной обработки почвы и др.).

Значения факторов, приведенных в формуле (1), были получены в результате производственных экспериментов с капельницами „Молдавия-1А”, „Молдавия-1Б”, „ВНИИВодполимер-3”, „Таврия-1”, „Молдавия-4АМ”, КП-4, 6.

Математические модели работы капельниц этих типов были рассчитаны на ЭВМ ЕС-1045 с помощью программы ВМДР-2Р по шаговой регрессии. При интервалах варьирования переменных: $0,08 \leq \bar{H}_{п.т.} \leq 0,17$ МПа; $2,5 < \bar{Q}_{н.с.} < 4,6$ л/ч; $6 < \bar{C}_o < 100$ мг/л и $18 < T < 26$ °C для капельниц самопромывающихся „Молдавия-4” и нерегулируемых КП-4,6 (болгарского производства) формулы для определения значений t_c имеют следующий вид

$$\text{Для } M = 4AM: t_c = 256,1 - 20,5\bar{H}_{п.т.} + 3,3T - 0,02\bar{C}_o - 0,9\bar{Q}_{н.с.}/\bar{Q}_{к.с.} \quad (2)$$

$$\text{Для КП} = 4,6: t_c = 68,8 + 8,8\bar{H}_{п.т.} + 4,2T - 0,03\bar{C}_o - 0,5\bar{Q}_{н.с.}/\bar{Q}_{к.с.} \quad (3)$$

Анализ меры линейной зависимости параметра t_c от других переменных показал, что значения множественных коэффициентов корреляции для уравнений (2) и (3) лежат в пределах $R = 0,4...0,6$, что свидетельствует о средней степени линейной связи. Оценка по Фишеру показала, что они адекватны полученным математическим моделям.

Наибольшая связь существует между значениями t_c и $Q_{н.с.}/Q_{к.с.}$. Это объясняется тем, что на $Q_{к.с.}$, в свою очередь, влияют C_o , H и A .

Аналогичные формулы были получены для капельниц других типов. Имея расчетные формулы, подобные (2) или (3), можно решать следующие технико-экономические задачи:

- а) выбрать экономически наиболее целесообразный тип капельниц (в том числе при заданном уровне их надежности);
- б) найти оптимальные значения напоров $H_{п.т}$ и начальник средних расходов капельниц $Q_{н.с.}$;
- в) выбрать оптимальный состав сооружений очистки воды, средств автоматизации, внесения удобрений в СКО в зависимости от качества воды в водоисточнике.

Задачи типа а решаются относительно просто, поскольку при известном t_c легко определить годовые эксплуатационные расходы на восстановительные и профилактические промывки, а уровень надежности работы поливной сети зависит от числа и способа установки капельниц на орошаемом массиве. Отметим, что задача оценки надежности поливной сети с капельницами разного типа является самостоятельной и также решается с помощью параметра продолжительности их стабильной работы.

Задачи типа б и в требуют составления структурных моделей оптимизации, примеры которых приведены на рис. 2 и 3. Учитывая основные составляющие, которые определяют капиталовложения и эксплуатационные затраты применительно к задаче второго типа, запишем формулу расчета приведенных затрат для одновременного поливного участка СКО, р.:

$$П = E(K_{тр} + K_{арм} + K_k) + \Delta \mathcal{E}_{эн} + \mathcal{E}_{пр} + \mathcal{E}_{зам} + \mathcal{E}_{рем} + (a + \beta) \Sigma K, \quad (4)$$



Рис. 2. Структурная схема оптимизации работы поливной сети СКО

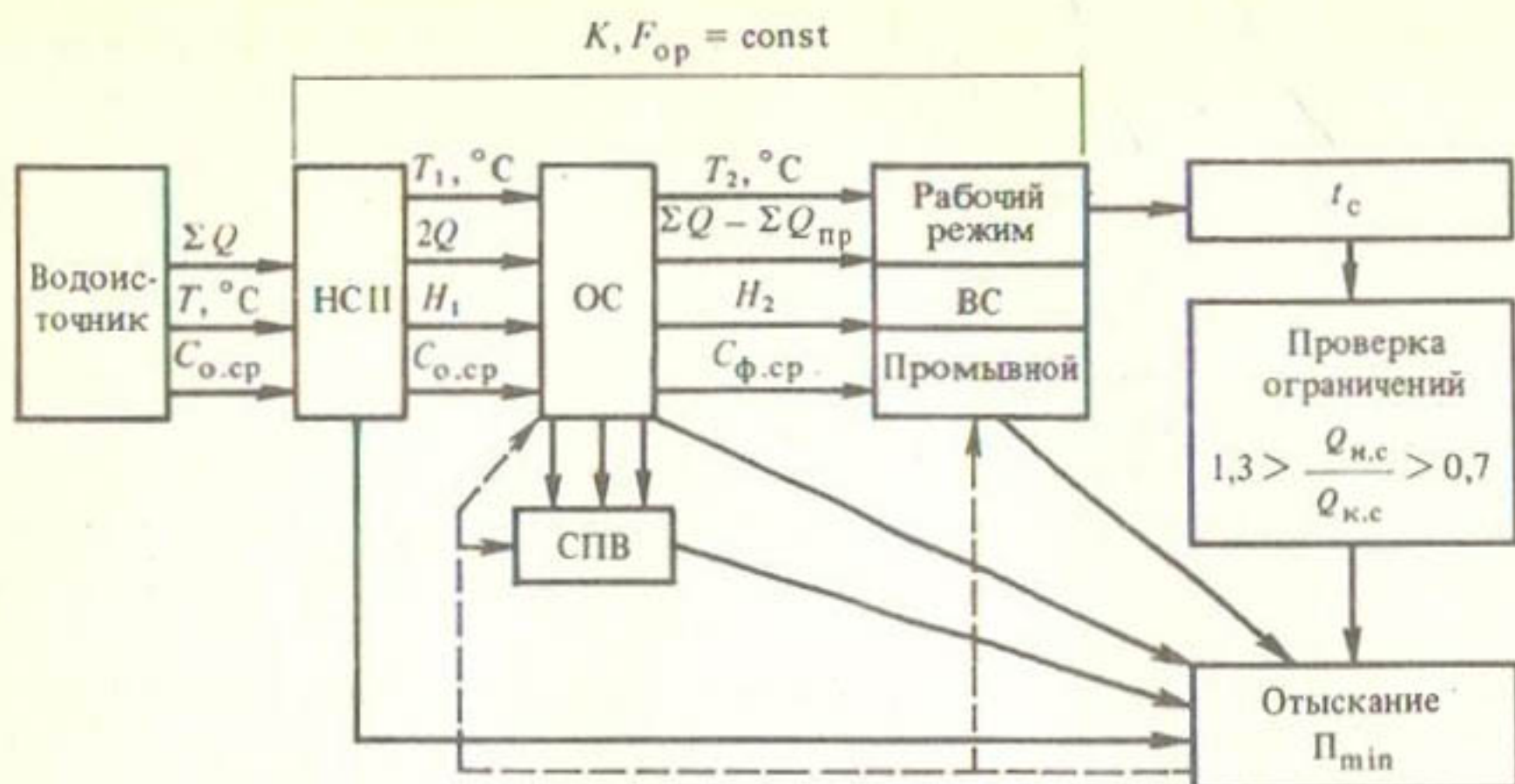


Рис. 3. Структурная схема оптимизации работы СКО, включая НС, ОС, ВС:

НС II — насосная станция второго подъема; ОС — очистные сооружения; ВС — водораспределительная сеть; СПВ — сооружения для сбора и отстаивания промывных вод

где $K_{тр}$, $K_{арм}$ и $K_{к}$ — соответственно затраты на строительство и монтаж поливных трубопроводов, арматуры и капельниц, их определяют по известным формулам, учитывающим объем работ, стоимость материала и монтажа элементов сети i -го вида; $E=0,15$ — нормативный коэффициент срока окупаемости системы; α и β — соответственно отчисления на амортизацию и текущий ремонт.

Составляющие эксплуатационных затрат для орошаемого участка определяют по следующим формулам:

$$\Delta \mathcal{E}_{эн} = \frac{Q_c H_c \sigma}{102 \eta_n \eta_{дв}} + \mathcal{E}_{у.м} = \frac{Q_c (H_{п.г} + \Sigma h)}{1,02 \cdot 10^2 \eta_n \eta_{дв}} + \mathcal{E}_{у.м}, \quad (5)$$

где $\Delta \mathcal{E}_{эн}$ — затраты на энергию водоподдачи в сеть; Q_c и H_c — соответственно расход, $\text{м}^3/\text{год}$, и напор, МПа, воды в голове системы; Σh — местные и по длине трубопроводов потери напора от поливного трубопровода до места расположения насоса, МПа; σ — стоимость 1 кВт·ч электроэнергии, р.; η_n и $\eta_{дв}$ — КПД насоса и двигателя; $\mathcal{E}_{у.м}$ — затраты на работу насосного оборудования на установленной мощности.

$$\mathcal{E}_{пр} = n_{пр} S_{пр} + T/t_c S_{вос}, \quad (6)$$

где $\mathcal{E}_{пр}$ — затраты на профилактические промывки сети (с их числом в год $n_{пр}$ и стоимостью одной промывки $S_{пр}$) и восстановительные промывки, проводимые 2...3 раза за поливной сезон; T — продолжительность поливного сезона, ч; $S_{вос}$ — затраты на одну восстановительную промывку, р.

$$\mathcal{E}_{зам} = \rho N_{к} S_{к.з}, \quad (7)$$

где $\mathcal{E}_{зам}$ — затраты на замену капельниц, вышедших из строя в результате механического разрушения; ρ — доля смонтированных на участке капельниц (от общего числа), требующих замены; $S_{к.з}$ — стоимость замены одной капельницы, р.

$$\mathcal{E}_{рем} = \Sigma N_i S_{pi}, \quad (8)$$

где $\mathcal{E}_{\text{рем}}$ — затраты на ремонт поливной сети, N_i и S_{pi} — объемы отдельных видов ремонтных работ и затраты на них.

Учитывая, что при решении задач типа б значения $K_{\text{тр}}$, $K_{\text{арм}}$, $\mathcal{E}_{\text{р.с}}$ и $\mathcal{E}_{\text{у.м}}$ существенно не повлияют на значения $Q_{\text{н.с}}$ и $H_{\text{п.т}}$, формулу (4) представим в виде

$$P_1 = EN_K S_K + \frac{Q_c (H_{\text{п.т}} + \Sigma h) \sigma}{1,02 \cdot 10^2 \eta_n \eta_{\text{дв}}} + n_{\text{пр}} S_{\text{пр}} + T/t_c S_{\text{вос}} + \rho N_K S_{\text{зам}}. \quad (9)$$

Для определения оптимальных приведенных затрат $P_{1\text{опт}}$ используют метод случайного поиска, заключающийся в получении равномерной и густой сетки данных по всем факторам: $\bar{Q}_{\text{н.с}}$, $\bar{Q}_{\text{к.с}}$, $\bar{C}_o$, $\bar{H}_{\text{п.т}}$, T при изменении последовательного приращения каждого из них в заданных границах варьирования. Для этого составляют специальную блок-схему и программу расчета на ЭВМ. После вывода переменных на печать проверяют их приемлемость по ограничению изменения начальных расходов капельниц:

$$0,7 < \bar{Q}_{\text{н.с}}/\bar{Q}_{\text{к.с}} < 1,3. \quad (10)$$

При решении задач типа в в структурную модель оптимизации вводят блок насосной станции и очистных сооружений. При этом приведенные затраты, определяемые по формуле (9), могут включать как общие капиталовложения и эксплуатационные затраты на очистные сооружения, так и выраженные через основные параметры технологические факторы процесса работы основных очистных сооружений.

УДК 626.810:628.326

НОРМИРОВАНИЕ И КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА ОРОСИТЕЛЬНОЙ ВОДЫ И ПОВТОРНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОЛЛЕКТОРНО-ДРЕНАЖНЫХ ВОД

С. А. СОКОЛОВ, кандидат технических наук

Союзгипроводхоз

Одно из перспективных экологических направлений в орошаемом земледелии — переход на малоотходную технологию с повторным использованием для поливов возвратного коллекторно-дренажного стока. По ряду объективных и субъективных причин это направление развивается нелегко. Достаточно сказать, что только в Средней Азии в естественных понижениях рельефа сосредоточены десятки кубических километров коллекторно-дренажных вод (КДВ), которые практически никак не используются. Среди множества причин недостаточного использования возвратного стока можно выделить следующие:

1) отсутствие единства нормативов на качество оросительной воды;
2) отсутствие регулярного и систематического контроля качества оросительных вод и КДВ;

3) недостаток практических расчетных методов регулирования повторного использования КДВ для орошения с учетом конкретных нормативов качества поливной воды, технологии полива, времени и т. д.

В работе предпринята попытка рассмотреть именно эти вопросы.

Нормирование качества оросительной воды. Разнообразие природно-климатических, почвенных, биологических, агротехнических и других факторов обусловило различие нормативов качества поливной воды. Необходима унификация этих нормативов как основа для последующей детализации, региональной и зональной конкретизации. В качестве основы целесообразно использовать классификацию ФАО (1979), из которой следует, что при минерализации оросительной воды 0,45 г/л опасность засоления почв незначительная, при увеличении минерализации опасность засоления возрастает. При значении $SAR^* < 6$ для почв, характеризующихся монтморилохиктсмектитовым составом, опасность осолонцевания почв незначительная, при увеличении SAR^* опасность осолонцевания возрастает. Коэффициент потенциальной адсорбции натрия (SAR) рассчитывают по следующему уравнению:

$$SAR^* = \frac{Na}{\sqrt{0,5 (Ca + Mg)}} [1 + (8,4 - pH_c)], \quad (1)$$

здесь и далее Na , Ca , Mg – концентрации натрия, кальция и магния в воде, мг $\times$ экв/л.

pH_c рассчитывают по выражению

$$pH_c = (pK_2' - pK_c') + p(Ca + Mg) + p(Al_K). \quad (2)$$

Для расчета трех составляющих правой части этого выражения существуют таблицы и графики. Для удобства можно рассчитать аналитические зависимости:

$$\begin{aligned} (pK_2' - pK_c') &= 2,0 \text{ при } (Ca + Mg + Na) \leq 0,40; \\ (pK_2' - pK_c') &\approx 0,2 \lg(Ca + Mg + Na) + 2,1 \text{ при } (Ca + Mg + Na) > 0,40; \\ p(Ca + Mg) &= -\lg(Ca + Mg) + 3,3; \\ p(Al_K) &= -\lg(CO_3 + HCO_3) + 3,0, \end{aligned}$$

где CO_3 , HCO_3 – концентрации соответственно карбонатных и гидрокарбонатных ионов, мг $\cdot$ экв/л.

Практика свидетельствует, что качество оросительной воды бывает неудовлетворительным не только при избытке веществ, но и при их дефиците (например, дефицит ионов кальция). Поэтому основной недостаток различных нормативных коэффициентов – магниевых, натриевых, содовых (как и нормативов, приведенных в таблице 1, за исклю-

чением общей минерализации воды для проблемы проницаемости) — отсутствие количественных оценок минимальных концентраций.

Тот же недостаток присущ нормативам микроэлементов (табл. 1), так как известно, что для растений и организмов весьма нежелательны как избыток, так и дефицит микроэлементов, участвующих в биохимических процессах.

1. Рекомендуемые предельные концентрации микроэлементов в оросительной воде, мг/л (ФАО, 1979)

Элемент	При непрерывном (длительном) воздействии и использовании на всех почвах	При использовании до 20 лет на почвах с тонкой структурой и $pH \leq 8,5$	Элемент	При непрерывном (длительном) воздействии и использовании на всех почвах	При использовании до 20 лет на почвах с тонкой структурой и $pH \leq 8,5$
Алюминий	5,0	20,0	Железо	5,0	20,0
Мышьяк	0,1	2,0	Свинец	5,0	10,0
Бериллий	0,1	0,5	Литий	2,5	2,5
Бор	2,0	2,0	Марганец	0,2	10,0
Кадмий	0,01	0,05	Молибден	0,01	0,05
Хром	0,1	1,0	Никель	0,2	2,0
Кобальт	0,05	5,0	Селен	0,02	2,0
Медь	0,2	5,0	Ванадий	0,1	1,0
Фтор	1,0	15,0	Цинк	2,0	10,0

Анализируя данные таблицы 1, следует отметить, что в поверхностных природных водах практически все перечисленные элементы содержатся в концентрациях на 1...4 порядка ниже. Это свидетельствует о необязательности контроля данных микроэлементов в оросительной воде, если водисточник ими не загрязнен.

Контроль качества оросительных и коллекторно-дренажных вод. Для определения содержания в воде нормируемых компонентов (см. табл. 1 и 2) существует несколько различных методов, которые с достаточной степенью условности можно разделить на традиционные и перспективные.

К традиционным методам относятся в первую очередь весовые и объемные, в том числе титрометрические, методы определения содержания в воде главных ионов и некоторых других компонентов. При соответствующей квалификации аналитика они достаточно точны, но весьма трудоемки.

Перспективные методы, в том числе ионометрические, спектрометрические и другие, позволяют существенно снизить затраты труда, а следовательно, повысить число измерений за один и тот же промежуток времени, что весьма немаловажно при большом объеме работ. Эти методы не требуют специальной квалификации аналитика и достаточно точны. Главная их сложность — необходимость тщательной предварительной подготовки (приготовление эталонных растворов, построение калибровочных графиков и др.) и регулярный контроль правильности

работы (тарировка электродов и приборов спустя определенное время или определенный объем наработки). В будущем эта группа методов должна найти более широкое применение, так как существенно сокращает продолжительность выполнения химических анализов, особенно при массовых определениях. Это подтверждается и появлением в последние годы автоматизированных станций и систем контроля качества воды, основанных на использовании главным образом ионометрических и кондуктометрических приборов.

Созданы автоматизированные приборы с микропроцессорной техникой, в основе которых лежат спектрометрические и другие аналитические методы. Так, в Союзгипроводхозе разработана система контроля качества дренажных вод, которая состоит из комплекта ионоselectивных электродов, закрепленных в специальной кассете, переключателя электродов и рН-милливольтметра (С. А. Соколов, А. В. Зайцев, 1987). Система позволяет в несколько раз сократить длительность и стоимость компонентных определений. Для ее применения при мониторинге дренажного стока на опытно-производственном участке площадью 20 га достаточно одного лаборанта (измерения проводят ежедневно в 5...7 точках коллекторно-дренажной сети по 6...8 компонентам).

Использование современных высокочувствительных аналитических методов, особенно при определении микрокомпонентов, нередко приводит в противоречие с точностью измерения (табл. 2), хотя последние достижения аналитического приборостроения (спектрометры плазменной эмиссии и др.) имеют при высокой чувствительности и высокую точность. Кроме того, очевидно, что если концентрация вещества близ-

2. Чувствительность и точность аналитических методов контроля (В. И. Кузнецов и др., 1967)

Метод	Чувствительность, %	Относительная погрешность, %
Весовой	$100 \dots 10^{-2}$	0,01
Объемный	$10 \dots 5 \cdot 10^{-3}$	0,1...0,2
Колориметрический и спектрофотометрический	$50 \dots 5 \cdot 10^{-6}$	2...3
Полярографический	$10 \dots 10^{-5}$	5...10
Спектрографический	$10^{-4} \dots 10^{-6}$	10...25
Плазменно-фотометрический	$5 \cdot 10^{-2} \dots 10^{-7}$	10...30
Радиоактивационный	$5 \cdot 10^{-3} \dots 10^{-12}$	50...100

ка к порогу чувствительности метода, то относительная погрешность может возрасти до 100% независимо от точности самого метода, при этом абсолютная погрешность останется прежней. Например, если чувствительность метода 1 мг/л, а измеренная концентрация 2 мг/л, то истинное значение будет 2 ± 1 мг/л. Меньшее значение будет отличаться от измеренного на 100%. В то же время при концентрации того же вещества в 1000 раз больше, т. е. 1 г/л, относительная погрешность составит всего

0,1 %. Естественно, что абсолютная погрешность измерения в обоих случаях будет одинаковой. Именно поэтому в теоретической метрологии за основу оценки точности измерений принята абсолютная погрешность.

Инструментальная точность и чувствительность методов контроля качества воды, как правило, не соответствуют реальной точности и чувствительности методов, примененных в полевых или лабораторных условиях. Помимо прочего, это объясняется различными составляющими компонентного состава природных вод, находящимися в разных физико-химических состояниях (истинно растворенное, эмульгированное, взвешенное, коллоидное, комплексное и др.) и оказывающих взаимно мешающее влияние на результат химического анализа.

Реальную точность или достоверность гидрохимической информации можно оценить на основании допустимых расхождений между повторными компонентными определениями. Эти расхождения установлены по результатам многолетних интеркалибрационных экспериментов (табл. 3).

3. Допустимые расхождения между повторными определениями при химическом анализе воды (А. И. Гавришин, 1980)

Компоненты	Допустимые расхождения
Аммоний-ион	При $C \leq 0,5$ мг/л – 0,05...0,1 мг/л; при $C > 0,5$ мг/л – 20 %
Бор (колориметрическое определение)	При $C \leq 5$ мг/л – 0,1 мг/л; при $C > 5$ мг/л – 20 %
Бор (объемное определение)	При $C \leq 20$ мг/л – 1 мг/л; при $C > 20$ мг/л – 5 %
Калий-ион	При $C \leq 70$ мг/л – 5 мг/л; при $C > 70$ мг/л – 8 %
Кальций-ион	При $C \leq 100$ мг/л – 3 мг/л; при $C > 100$ мг/л – 3 %
Карбонат-ион	4 мг/л
Магний-ион	При $C \leq 50$ мг/л – 1,5 мг/л; при $C > 50$ мг/л – 3 %
Натрий-ион	При $C \leq 50$ мг/л – 3 мг/л; при $C > 50$ мг/л – 6 %
Нитрат-ион	При $C \leq 5$ мг/л – 1 мг/л; при $C > 5$ мг/л – 20 %
Сульфат-ион	При $C \leq 25$ мг/л – 3...5 мг/л; при $C > 300$ мг/л – 3 %
Хлор-ион (объемное определение)	При $C \leq 200$ мг/л – 4 мг/л; при $C > 200$ мг/л – 2 %

П р и м е ч а н и я: 1. рН 0,1, гидрокарбонат-ион = 10 мг/л. 2. C – концентрация.

Следует отметить, что данные таблицы получены на основании результатов химических анализов воды с преимущественным использованием традиционных методов. Поэтому при переходе на перспективные методы оценку достоверности гидротехнической информации следует уточнять, а данные таблицы использовать в качестве первого приближения.

Информация о качестве воды характеризуется определенной пространственной и временной репрезентативностью. Если качество контролировали с дискретностью (пространственной или временной), большей периодичности фактических флуктуаций контролируемых показателей, то информация искажается. Это связано с тем, что в получаемых

данных будет содержаться множество высокочастотных компонент, которые, суммируясь по частоте и амплитуде, становятся неразличимыми. Такое „перепутывание” частот называют *элиасинг* (R. Blackman, Y. Tukey, 1958). Избежать элиасинг-искажений можно только одним путем: интервал дискретности измерений должен быть меньше частоты флуктуаций измеряемого параметра или равен ей.

Оптимальный интервал дискретности можно установить по учащенным рекогносцировочным наблюдениям с использованием методов математической статистики. Рациональное число проб (измерений) N , если распределение исследуемого компонента аппроксимируется нормальным законом, определяют по формуле (Г. А. Вострокнутов, А. И. Гавришин, 1972):

$$N = \left(\frac{t_s \sigma}{\Delta x} \right)^2, \quad (3)$$

где t_s — значение t -распределения Стьюдента при данном уровне значимости, обычно применяется 5 %-ный уровень (вероятность 95 %), тогда $t_s = 1,96 \approx 2$; σ — среднеквадратическое отклонение; Δx — заданный уровень ошибки среднего арифметического в абсолютных значениях (он может соответствовать оценке достоверности информации, т. е. определяться по таблице 3 или аналогичным образом).

При логарифмически нормальном распределении исследуемого компонента рациональное число измерений также можно определить по формуле (Г. А. Вострокнутов, А. И. Гавришин, 1972):

$$N = \frac{t_s^2 (\sigma^2 \lg + 2,65 \sigma^4 \lg)}{\Delta x^2 \lg}, \quad (4)$$

где $\sigma \lg$ — среднеквадратическое отклонение логарифмов концентраций; $\Delta x \lg$ — допустимая ошибка оценки среднего значения в логарифмах.

Таким образом, оценка оптимального числа измерений, необходимого для репрезентативной (представительной) характеристики исследуемого компонента, основывается на показателях его вариабельности. Если иметь в виду, что среднеквадратическое отклонение зависит не только от объективных факторов (пространственно-временное распределение в водной среде), но и от субъективных (случайных ошибок), что, как явствует из данных таблицы 3, особенно существенно при определении микрокомпонентов (большие относительные ошибки определения), то это необходимо учитывать при оценке N для этих компонентов.

С помощью формул (3) и (4) можно определить как пространственную, так и временную оптимальную дискретность измерений. При этом из всех рассчитанных рациональных чисел измерений N_i определяемых компонентов устанавливают оптимальное $\bar{N}$ с обеспеченностью 0,95 по ранжированному ряду, где $N_i < N_{i+1}$ (С. А. Соколов, 1985). Вначале это делают для пространственного, а затем и для временного интервала оптимальной дискретности измерений определяемого комплекса показателей качества воды.

Значений $\bar{N}$ следует придерживаться при регулярном контроле состава воды. В то же время известно, что амплитуда и частота флуктуаций гидрохимических параметров, как правило, весьма существенно изменяются в течение сезонов года. Отмечается возрастание колебаний и контролируемых показателей качества воды коллекторно-дренажного стока во время и после интенсивных осадков и массовых поливов. Динамика качества оросительных вод определяется водисточником. Биогенные элементы имеют больше флуктуаций, чем главные ионы.

Получение оценок достоверности и репрезентативности контролируемых показателей качества оросительных и дренажных вод позволит более обоснованно использовать расчетные методы прогноза их химического состава, а также правильно верифицировать эти методы по независимым данным для установления их погрешности и границ применимости в реальных условиях.

Расчетная модель регулирования использования возвратного стока КДВ для орошения. Контроль качества оросительных и коллекторно-дренажных вод (исходная информация) и установленные нормативы качества оросительной воды (лимитирующая информация) позволяют с помощью расчетной модели определить объем КДВ, который можно повторно использовать для орошения путем смешения с водой из источника. (Здесь не рассматриваются другие способы повторного использования КДВ, кроме простого разбавления исходной водой, такие, как опреснение, селективное обессоливание, удаление определенных веществ и добавление других и т. д., хотя в принципе, зная концентрации примесей на входе в систему и выходе из нее, можно составить достаточно тривиальные расчетные уравнения, так называемые кибернетические модели.)

Концентрацию вещества (что служит прямым или косвенным нормативом качества оросительной воды) целесообразно рассчитать по дифференциальному уравнению водно-вещественного баланса, которое является аппроксимацией трехмерного уравнения массопереноса путем осреднения по объему и пренебрежения (ввиду малости) диффузионной составляющей. Балансовое уравнение удобно представить в следующем виде:

$$d(CW)/dt = CdW/dt + WdC/dt = C_{ор}Q_{ор} + C_{ос}Q_{ос} - C_{др}Q_{др} - C_{п.с}Q_{п.с} \pm \pm C_{гр}Q_{гр} \pm G - SC, \quad (5)$$

при этом из уравнения водного баланса имеем

$$dW/dt = Q_{ор} + Q_{ос} - Q_{ис} - Q_{тр} - Q_{др} - Q_{п.с} \pm Q_{гр}. \quad (6)$$

Здесь W — объем влаги в рассматриваемом объеме данного участка (по глубине от поверхности до глубины пролегания горизонтальных дренажных труб), m^3 ; t — время, сут; C — концентрация вещества, mg/l ; Q — расход воды, m^3/c ; индексы „ор“, „ос“, „др“, „п.с“, „гр“, „тр“, „ис“ означают соответственно оросительную воду, осадки, дренажный сток, поверхностный сток, грунтовый сток, транс-

пирацию и испарение с водной поверхности; $\pm G$ — скорость обмена веществом между водой и почвой или растениями в результате химических и биохимических реакций, кг/с (при этом знак „—“ означает, что вещество поглощается из воды, знак „+“ — что вещество из почвы или растений переходит в водную фазу); S — скорость трансформации вещества в результате внутриводных процессов (преимущественно аэробное или анаэробное биохимическое окисление), кг/с.

Учитывая принятую однородность формирования качества дренажного стока, имеем

$$C_{др} = C_{п.с} = C.$$

Относительно грунтовой составляющей $\pm C_{гр} Q_{гр}$ принимаем:

первый вариант — если происходит отток воды в нижележащие горизонты, то $-C_{гр} = C$;

второй вариант — если происходит приток воды из нижележащих горизонтов, то $+C_{гр}$ — входной параметр, который в общем случае не равен C .

Интегрируя по времени от 0 до t (соответственно по концентрации от C_0 до C_t) и принимая, что G и S постоянны и не зависят от C в течение расчетного периода Δt , путем разделения переменных получаем аналитическое решение, которое удобно представить в следующем виде:

$$C_t = C_0 (W_0/W_t)^a + C_{др} [1 - (W_0/W_t)^a], \quad (7)$$

$$\text{где } C_{др} = \frac{C_{ор} V_{ор} + C_{ос} V_{ос} \pm P}{V_{ор} + V_{ос} - V_{ис} - V_{гр} - S} \quad - \text{ для первого варианта; } \quad (8)$$

$$C_{др} = \frac{C_{ор} V_{ор} + C_{ос} V_{ос} + C_{гр} V_{гр} \pm P}{V_{ор} + V_{ос} - V_{ис} - V_{гр} + V_{гр} - S} \quad - \text{ для второго варианта; } \quad (9)$$

$$a = 1 - \frac{V_c/W_t}{1 - W_0/W_t}, \quad V_c = V_{п.с} + V_{др} + V_{гр} \quad - \text{ для первого варианта; } \quad (10)$$

$$V_c = V_{п.с} + V_{др} \quad - \text{ для второго варианта.}$$

В случае постоянства объема влаги на участке в течение расчетного периода Δt , т. е. $W_0 = W_t$, уравнение (7) содержит неопределенность. Применяя правило Лопиталя, преобразуем подынтегральные выражения. В окончательном виде в уравнении (7) выражение $(W_0/W_t)^a$ заменяется параметром $\exp(-V_c/W_t)$.

В формулах (7...10) $V = Q\Delta t$, м³; $P = G\Delta t$, кг; $S = S\Delta t$, м³; V_c — суммарный объем стока, м³.

Расчет запаса рассматриваемого вещества в дренажном стоке $P_{дрt}$ на конец интервала Δt легко рассчитать по формулам:

$$P_{дрt} = C_t V_{др} = C_t (V_c - V_{п.с} - V_{гр}) \quad - \text{ для первого варианта; } \quad (11)$$

$$P_{дрt} = C_t V_{др} = C_t (V_c - V_{п.с}) \quad - \text{ для второго варианта. } \quad (12)$$

Для прогнозных расчетов необходимо знать все параметры уравнений. Значения $C_{ор}$, $V_{ор}$, $C_{ос}$, $V_{ос}$, $V_{п.с.}$, $V_{тр.} + C_{гр}$, как правило, известны (по справочной литературе, фондовым, изыскательским и проектным материалам и др.). Например, известно, что в среднем $V_{тр.}$ составляет 2 т/га воды для пшеницы и 8 т/га для капусты. Остальные параметры (W_0 , W_t , $\pm P$, $\pm V_{гр}$, S , $V_{п.с.}$, $V_{др}$) необходимо определить путем полевых экспериментов или в крайнем случае по литературным данным о результатах натурных наблюдений на аналогичном (с позиции формирования качества воды) гидромелиоративном участке.

Определив концентрацию веществ, нормируемых в поливной воде, можно рассчитать возможный объем КДВ $V'_{др}$, который путем смешения с водой водоисточника можно использовать для орошения:

$$V'_{др} = \frac{\bar{C}_{ор} - C_{ор}}{\bar{C}_{др} - C_{др}} V_{ор}, \quad (13)$$

где $V_{ор}$ — общая водоподача на поле; $\bar{C}_{ор}$ — принятый норматив концентрации вещества в оросительной воде.

Долю сохраненных водных ресурсов a рассчитывают так:

$$a = V'_{др}/V_{ор}. \quad (14)$$

Объем воды, забираемый из водоисточника, составляет $V_{ор} - V'_{др}$.

Таким образом, проблемы управления качеством оросительной воды и повторного использования КДВ для орошения нельзя решать без регламентации нормативов ее качества для конкретных регионов, а также крупных гидромелиоративных объектов. Для обоснования мер по оперативному и долгосрочному управлению качеством оросительных вод с учетом вторичного использования части стока КДВ необходим систематический контроль (мониторинг) качества воды, обеспечивающий прежде всего надежность (в аспекте достоверности и пространственно-временной репрезентативности) получаемой информации по нормируемым показателям. Эта информация наряду с гидрологическими и агрофизическими параметрами оросительного объекта служит основой для модельных расчетов регулирования повторного использования КДВ с учетом заданных нормативов качества воды.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СТОЧНЫХ ВОД ПРИ ПОЛИВЕ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ УГОДИЙ В НИЖНЕМ ПОВОЛЖЬЕ

Л. И. СЕРГИЕНКО, кандидат сельскохозяйственных наук
*Всесоюзное научно-производственное объединение
по сельскохозяйственному использованию
сточных вод „Прогресс“*

Качественный состав сточных вод, используемых для орошения, должен соответствовать агрономическим, санитарно-гигиеническим и ветеринарным требованиям.

С агрономической точки зрения при орошении засоленных почв основное внимание уделяют общей концентрации растворенных солей и соотношению компонентов катионного состава. По общей концентрации растворенных солей сточные воды могут быть разбиты на пять градаций, выделенных В. А. Ковдой для природных вод, г/л:

1) 0,5...1,0 (щелочные содовые воды) — химмелиорации 1 раз в 3...5 лет, промывка 1 раз в год, дренажный отвод 10...15 % водозабора;

2) 0,5 ... 1,0 (сульфатные) — то же, но химмелиорации не нужны;

3) 1,0...2,0 (сульфатные) — все поливы промывные, промывка 1 раз в год, дренажный отвод 20...25 % водозабора;

4) 2,0...3,0 (хлоридно-сульфатные) — орошение промывное легких проницаемых почв, промывка 1 раз в год, дренажный отвод 30...35 % водозабора;

5) 3,0...5,0 (хлоридно-сульфатные) — орошать можно только пески или щебнистые почвы, поливы промывные, культуры солеустойчивые, показаны пастбища, сенокосы с галофитной растительностью, дренажный отвод 50...60 %.

Градации проверяли в производственных условиях орошения сточными водами химической промышленности на почвах светло-каштановой подзоны с естественной дренированностью в течение 8 лет (1969...1977 гг.), а также дренажными водами оросительно-обводнительных систем Волгоградского Заволжья на каштановых исходно-засоленных, осолонцованных почвах средне- и тяжелосуглинистого механического состава в течение 5 лет (1982...1986 гг.).

По соотношению катионов в оросительных сточных водах может быть выделено три градации, как это сделано Лабораторией по исследованию засоленных почв США для природных вод повышенной минерализации:

$$(Na + K) : \sqrt{\frac{Ca + Mg}{2}} \quad \begin{cases} \leq 8 - \text{на всех типах почв;} \\ \leq 10 - \text{на почвах среднего ме-} \\ \text{ханического состава;} \\ \leq 12 \text{ на легких почвах.} \end{cases}$$

Градации проверяли в экспериментальных условиях оросительной системы с использованием сточных вод химического комплекса на площади 11 тыс. га в течение 19 лет (1967...1986 гг.).

При использовании сточных вод на почвах аридной зоны возникает необходимость контроля pH поливной воды. Предпочтительна нейтральная или слабокислая реакция воды (pH 6,0...7,0). Предельные показатели pH 5,5...8,0 (В. Т. Додолина, 1977).

Существенное значение в определении качества поливных вод имеет тип химизма солей, в особенности солей натрия. Наиболее вредная из них нормальная сода.

Большой токсичностью для растений отличаются хлориды и сульфаты. Предельным значением содержания хлоридов в водах, применяемых для орошения каштановых и черноземных почв сульфатно-хлоридного типа засоления, считают 300 мг/л, оптимальным — до 150 мг/л, сульфатов — соответственно 500 и 300 мг/л. Значения предельных показателей отдельных анионов установлены с учетом практики использования для орошения сточных вод с высоким содержанием сульфатов (предприятий оргсинтеза, минеральных удобрений, дренажных вод оросительных систем).

При нормировании элементов питания растений по NPK в сточных водах для условий регулярного орошения учитывают водопотребление сельскохозяйственных культур, а также вынос элементов с урожаем. В сточных водах производства кормовых дрожжей, минеральных удобрений и многих других с высоким содержанием биогенных соединений лимитирующим фактором является содержание азота. Оно не должно превышать 70 мг/л для зерновых культур и 120 мг/л для многолетних трав при нагрузках, рассчитанных по выносу азота с урожаем сельскохозяйственных культур. При этом допустимое содержание элементарного фосфора в сточных водах с указанным содержанием азота 10...30 мг/л, элементарного калия — 50...150 мг/л с учетом характера культур и запасов этих элементов в почве. Указанные концентрации биогенных веществ (при их совместном присутствии) позволяют предотвращать такие вредные явления, как зафосфачивание почв, а также нитратный токсикоз сельскохозяйственных растений и животных.

Специфические органические вещества в сточных водах нормируют с учетом трех критериев: 1) влияние на рост, развитие и урожайность сельскохозяйственных культур; 2) влияние на биологическую активность и процессы самоочищения почвы; 3) сроки биохимического разложения веществ в почве и растениях. По этому методу установлены ПДК отдельных веществ, мг/л: акролеин — 25, ацетальдегид — 300, формальдегид — 300, метанол — 200, диметилдиоксан — 1000, капролактамы — 500, метионин — 500, нефтепродукты, экстрагируемые четыреххлористым углеродом, — 200.

При контроле содержания специфических органических веществ в промышленных сточных водах, кроме отдельных ингредиентов, следует нормировать также и их суммарное действие по показателям химического и биологического потребления кислорода, а также по бактериологическим показателям. Последние характеризуют процессы самоочищения сточных вод, коли-титр, наличие сапрофитных бактерий и т. д.

Таковы основные показатели контроля за составом поливных сточных вод для условий аридной и субаридной зон европейской части СССР.

Мелиоративная практика ВНПО „Прогресс” располагает значительным числом примеров успешного использования сточных вод промышленных предприятий на засоленных автоморфных почвах зоны сухой степи. В частности, 12-летний (1966...1978 гг.) опыт использования сточных вод Волжского химического комплекса по производству синтетического каучука, ускорителей вулканизации резины на светло-каштановых почвах Волгоградского степного Заволжья показал следующее. При соблюдении перечисленных требований к составу поливных сточных вод и применении промывного водного режима почв не наблюдается вредных явлений, ухудшающих их агромелиоративное состояние. Из испытанных поверхностно-самотечных способов полива наиболее оптимальный — орошение путем затопления чеков со сбросом (перепуском). В результате применения этого способа за 12 лет из 2-метрового слоя светло-каштановой тяжелосуглинистой засоленной почвы, сформированной на шоколадных глинах хвалынской аккумулятивной глинистой равнины, вынесено 92 т/га солей, причем рассоление идет равномерно по всему изучаемому профилю: 50 % солей выносятся из верхнего 1-метрового слоя почвы и 50 % — из второго.

При поливе напуском по широким (20 м), длинным (500 м) полосам вынос солей за аналогичный период составил 77 т/га, при этом около 80 % солей вымывается из слоя 0...160 см, остальные 20 % — из второго метра почвенной толщи. Меньший размер выноса солей при таком способе полива обусловлен недостаточной степенью промывного режима орошения (не обеспечивается постоянный нисходящий ток влаги).

При использовании методов агробиологической мелиорации (внесение навоза, зеленых удобрений, выращивание многолетних трав) в этом опыте удалось достичь снижения степени солонцеватости почвы на одну-две градации по отношению к исходному состоянию (от средне- и слабосолонцеватых до несолонцеватых).

Выявлено, что для улучшения солевого режима почвы сульфатного типа засоления необходимо не менее двух поливов напуском по широким длинным полосам и затоплением чеков со сбросом (перепуском) оросительной нормой 200...300 мм в год (Л. И. Сергиенко и др., 1978).

В качестве другого примера успешного использования промышленных сточных вод на аридных почвах можно указать 8-летний опыт их орошения водами ВПО „Каустик” по производству каустической со-

ды, инсектицидов, моющих и отбеливающих порошков, хлорофоса и других средств бытовой химии на солонцеватых светло-каштановых почвах сульфатно-хлоридного и хлоридного типов засоления.

Состав сточных вод характеризуется средней минерализацией (1,5...2,0 г/л), соотношение $(Na + K) : (Ca + Mg) \leq 2$, реакция стоков слабощелочная (рН 7,3...8,3). Состав солей сульфатно-хлоридный. Водный режим строили по дефициту влажности почвы с интенсивностью промывки 0,20...0,25 Е на фоне естественной дренированности почв, обусловленной наличием прослоев рыхлой супеси и песка в толще шоколадных глин мощностью 0,7...4 м в зоне аэрации (12...19 м). При обеспечении постоянного нисходящего тока влаги за 8 лет орошения из горизонтов солевых максимумов вынос солей в толщу шоколадных глин, залегающих ниже 2 м, составил 160 т/га.

Проведение специальных агромелиоративных мероприятий (глубокая трехъярусная вспашка с вовлечением карбонатно-сульфатного слоя почвы в иллювиальный горизонт, внесение навоза, сидерация, снегозадержание, возделывание люцерны, многолетних злаковых культур) на фоне промывного режима орошения позволило снизить солонцеватость почвы за 8 лет на 2...3 градации от средне- и сильносолонцеватых до несолонцеватых ($< 5\%$ поглощенного натрия в иллювиальном горизонте).

Прогноз водно-солевого режима почв, выполненный по программе Salt-1 (А. М. Якиревич, Л. В. Кирейчева, 1984), базирующийся на дифференциальных уравнениях солепереноса (С. Ф. Аверьянов, 1978; И. П. Айдаров, 1981), показывает, что при промывном орошении светло-каштановых почв сточными водами химической промышленности в течение трех ротаций севопольного кормового севооборота почвы останутся в разряде незасоленных по токсичным ионам. При орошении же по непромывному типу ожидается угроза их засоления по токсичным ионам хлора на 2, 5, 7-й годы в первой ротации севооборота и периодически повторяющаяся угроза засоления в последующих ротациях.

При использовании сточных вод на оросительных системах, кроме опасности ухудшения агромелиоративного состояния почв, существует угроза загрязнения грунтовых вод. Как правило, эта опасность возникает вследствие завышения поливных норм и несоблюдения сроков полива. Поэтому изучение гидрогеологической обстановки и контроль гидрохимического режима грунтовых вод — одна из важнейших задач эксплуатации оросительных систем.

На Волжском опорном пункте ВНПО „Прогресс” накоплен 19-летний опыт по наблюдению за гидрохимическим режимом грунтовых вод на оросительной системе, использующей условно чистые сточные воды Волжского химического комплекса и хозяйственно-бытовые сточные воды г. Волжского (совхоз „Химик” Ленинского района Волгоградской области).

Район представляет собой морскую аккумулятивную равнину левобережья р. Волги со слабым уклоном с севера на юг в сторону р. Ах-

тубы. Южная часть массива граничит со второй надпойменной террасой р. Волги. Характерная особенность равнины в пределах массива — широкое развитие отрицательных форм — бессточных замкнутых лиманообразных и блюдцеобразных понижений и западин (западинный микро-рельеф).

Основной водоносный горизонт изучаемой территории — нижне-хазарский горизонт, важны в гидрогеологическом отношении также ательские слои верхнего хазара, в которых могут развиваться ирригационно-грунтовые воды или которые при подъеме естественных грунтовых вод могут насыщаться ими.

По литологическому составу ательские отложения представлены средними и тяжелыми суглинками буровато-серой или светло-коричневой окраски с прослойками и линзами песка, гнездами гипса и известковыми стяжениями. В разрезе этих отложений встречаются прослойки опесчаненной глины. Эти слои могут служить местными водоупорами. Мощность ательских отложений 2...10 м.

Гидрогеологические условия массива оросительной системы характеризуются сплошным распространением грунтовых вод, приуроченных к аллювиальным хазарским отложениям, залегающим на глубине 15...20 м и более. В восточной части массива глубина грунтовых вод 10...15 м, в юго-западной — около 20 м, а на основной территории — 15...20 м. На системе распространены отметки поверхности земли 20,0...24,0 м, а промежуточного водоупора — 14,0...19,0 м.

Водоносный горизонт питается за счет инфильтрации вод атмосферных осадков, имеет свободную поверхность, дренируется водами р. Ахтубы. Направление потока на юг в сторону реки, уклон потока 0,0006, мощность водоносного горизонта 30...45 м.

За изучаемый период на оросительной системе проводили измерения на трех створах наблюдательных скважин и на скважинах вне створов, на которых осуществлялось орошение. Для выявления общего характера сезонных и годовых изменений уровень грунтовых вод пьезометрических скважин измеряли подекадно — 10, 20 и 30-го числа каждого месяца. Химические анализы грунтовых вод отбирали 3...4 раза за вегетацию.

Грунтовые воды системы по условиям питания относятся к сезонному типу, тогда как подземный сток не прекращается, и за декабрь — апрель происходит расходование запасов. В весенне-летний период (май — август), когда на режим грунтовых вод влияют как естественные климатические факторы (плюсовые температуры, оттаивание промерзших за зиму пород, степень дренированности земель), так и искусственные (подача воды на орошение) уровень их повышается. Осенью (сентябрь — ноябрь) в результате прекращения поливов наблюдается спад уровня. Сезонные его колебания составляют 0,10...1,55 м, в среднем около 0,7 м. Однако, учитывая, что критическая глубина залегания грунтовых вод для данной зоны 2,5...3,0 м, а их уровень стабилизировался на глубине 16...17 м, непосредственной угрозы подь-

ема уровня естественных грунтовых вод на системе в настоящее время нет.

Исследования динамики химического состава грунтовых вод системы показали, что в основном все воды как истинно грунтовые, так и ирригационно-грунтовые пресные, их общая минерализация около 1 г/л. На неорошаемых площадях, примыкающих к орошаемому массиву и находящихся как выше, так и в стороне от него по потоку грунтовых вод, минерализация вод составляет 0,2 ... 0,8 г/л.

Повышение минерализации грунтовых вод > 1 г/л отмечается в районах расположения магистральных и распределительных каналов, но минерализация основного фона < 1 г/л.

Характер анионов в грунтовых водах в основном бикарбонатно-сульфатно-хлоридный, реже бикарбонатно-хлоридно-сульфатный. Воды отличаются более высоким содержанием натрия — 3...12 мг · экв/л, по классификации О. А. Алекина относятся к гидрокарбонатному классу, натриевой группе, первому типу. Суммарное содержание органических веществ по ХПК в них невысокое (18...53 мг O_2 /л), т. е. не превышает окисляемости обычных природных вод. Это свидетельство того, что почвогрунты района обладают сорбционной емкостью в отношении окисляющихся веществ сточных вод, в связи с чем опасность проникновения последних в грунтовые воды исключается.

Данные химических анализов грунтовых вод по общей минерализации и ионному составу свидетельствуют, что в настоящее время они не создают угрозу вторичного засоления и осолонцевания почв. Эти воды могут быть использованы сельскохозяйственными растениями всех видов. В случае стабильности залегания зеркала подпочвенных вод на критической глубине при существующем их химическом составе на оросительной системе, использующей сточные воды химического комплекса, может быть использован эффект субиригации.

При орошении сточными водами производства кормовых дрожжей в совхозе „Красноармейский” Светлоярского района Волгоградской области было получено сельскохозяйственных культур, т/га: смесь гороха с подсолнечником — 69,7, кукуруза на зеленую массу — 39,0; сено суданской травы — 11,2; смесь горох + овес + подсолнечник — 48,3; озимая пшеница — 5,7; яровая пшеница — 3,4; сено люцерны — 10,0; семена люцерны — 0,5; семена костреца — 0,40 ... 0,45.

Орошение сточными водами химической промышленности экономически выгодно. Годовой экономический эффект от внедрения оросительной системы, использующей такие воды на площади 5 тыс. га, составляет 2,25 млн р., срок окупаемости при условии включения в севооборот одного поля семенников многолетних трав — 6,4 года, двух полей — 5,6 лет.

Комплексный годовой экономический эффект от внедрения оросительной системы с использованием сточных вод предприятия по производству кормовых дрожжей на площади 3 тыс. га составляет 1,2 млн р., в том числе водоохранный — 0,6 млн р., срок окупаемости

системы при условии отведения в севообороте 10% площади под семенники многолетних трав — 8...10 лет.

Таким образом, проведение комплекса водоохраных мероприятий при использовании сточных вод для орошения в аридной зоне, соблюдение требований, предъявляемых к составу этих вод, промывного режима с учетом характера культур, климатических и почвенных особенностей района, а также гидрогеологической обстановки позволяют предотвратить вторичное засоление и осолонцевание орошаемых земель, ухудшение гидрохимического режима грунтовых вод и способствуют активному повышению урожайности.

УДК 628.312

МЕТОДИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ НОРМИРОВАНИЯ СОСТАВА СТОЧНЫХ ВОД ДЛЯ ОРОШЕНИЯ

Л. Е. КУТЕПОВ, кандидат сельскохозяйственных наук

Всесоюзное научно-производственное объединение

по сельскохозяйственному использованию

сточных вод „Прогресс“

Активность ионов водорода (рН). В существующих методах оценки оросительных вод значение рН не учитывается, поскольку эти методы разработаны для природных вод. Применяемая оценка последних по содержанию карбонатов и бикарбонатов как косвенная оценка рН для сточных вод непригодна.

Активность ионов водорода зависит от сочетания солей, т. е. от количества слабых и сильных оснований (главным образом щелочных и щелочноземельных катионов) и анионов слабых и сильных кислот.

В отличие от природных вод анионы слабых кислот в сточных водах представлены не карбонатами и бикарбонатами, а органическими кислотами. Хотя наличие бикарбонатов, карбонатов и органических кислот сдвигает рН воды в „щелочную сторону“, действие их на почву при орошении противоположно.

Бикарбонаты и карбонаты образуют с кальцием нерастворимые соли и изолируют его в почвенном растворе, что ведет к подщелачиванию (осолонцеванию) почв и соответственно к ухудшению водно-физических их свойств, связанных с пептизацией почвенных коллоидов. Органические кислоты, наоборот, активизируют кальций почвы, что приводит к нейтрализации почвенной среды и коагуляции коллоидов, т. е. к улучшению водно-физических свойств.

До настоящего времени еще нет научной основы для прогнозирования рН почв по катионному и анионному составам оросительной воды. Само прогнозирование осложняется тем, что все органические

загрязнения сточных вод, не относящиеся к кислотам, образуют в почве органические кислоты как промежуточные продукты биохимической минерализации.

Почвы, pH которых $< 5,5$, относятся к кислым и нуждаются в известковании, а при $\text{pH} > 8,4$ содержат соду, относятся к щелочным и нуждаются в химической мелиорации.

Для орошения можно рекомендовать воду с pH 5,5 ... 8,4, так как в этом интервале среды большинство культурных растений развивается нормально.

Минерализация оросительных вод. Минерализация сточных вод определяется содержанием в них сульфатов (SO_4^{2-}), хлоридов (Cl^-), бикарбонатов (HCO_3^-), карбонатов (CO_3^{2-}), анионов органических кислот, натрия (Na^+), калия (K^+), кальция (Ca^{2+}), магния (Mg^{2+}), аммония (NH_4^+). При орошении минерализованными водами существует опасность вторичного засоления почв.

За рубежом широко применяется оценка минерализации оросительных вод, разработанная Лабораторией по исследованию засоленных почв США (Н. К. Бессеребренников, 1978).

Классификация оросительной воды по минерализации, мг/л

Вода, не влияющая отрицательно на урожайность	500
Вода, которая при поливе может оказать отрицательное воздействие на урожайность сельскохозяйственных культур, обладающих низкой солеустойчивостью	500 ... 1000
Вода, которая при поливе может оказать отрицательное воздействие на урожайность многих сельскохозяйственных культур (следует использовать с осторожностью)	1000 ... 2000
Вода, которая может использоваться для орошения солеустойчивых культур на проницаемых почвах (следует использовать с осторожностью)	2000 ... 5000

Примечания: 1. Любые пределы общей минерализации при классификации солевой опасности в известной мере условны. 2. Солевая опасность зависит не только от общей минерализации, но и от содержания отдельных ионов. 3. Для точной оценки солевой опасности надо знать почвенные условия и солеустойчивость культуры.

У нас в стране методы оценки оросительной воды предложены М. Ф. Будановым (1965), А. М. Можейко (1958), И. М. Соболевой (1965), В. Т. Додолиной (1980), Л. Е. Кутеповым (1983), И. П. Айдаровым и А. И. Корольковым (1980), а за рубежом О. У. Израэльсоном (1965), Ричардсом (1984), Торном и Петерсоном (1984), Джованни и Боттаро (1984). Все они в какой-то степени условны, так как не учитывают физических свойств почв и влияние атмосферных осадков. В то же время не представляет собой новизны утверждение, что засолению более подвержены тяжелые почвы, чем легкие, и что оно свойственно засушливому климату и не встречается в зоне достаточного и умеренного обеспечения атмосферными осадками.

Наряду с количественной оценкой оросительной воды по суммарному содержанию солей необходима ее оценка и по их качественному составу, и в первую очередь по соотношению одно- и двухвалентных

катионов, от концентрации которых в почвенном растворе зависит степень осолонцевания почв.

К. К. Гедройц (1955) отмечал, что все свойства почвы, которые в конечном счете обуславливают полученный урожай, в той или иной мере зависят от величины, характера и состава почвенного поглощающего комплекса. В тесной зависимости от него находятся и структурность почвы, а также ее физические свойства и обуславливаемые тем и другим ее водный, воздушный, микробиологический, питательный и санитарный режимы.

На основании исследований советских, английских и американских почвоведов В. А. Ковда (1981) вывел зависимость плодородия почвы от их щелочности и состава почвенного поглощающего комплекса (табл. 1).

1. Зависимость плодородия почвы от степени ее солонцеватости и щелочности

Плодородие почв, %	% Na в ППК	Токсичная щелочность, мг. экв/100 г	pH
100	5	0,3...0,7	7,5...8,4
60...75	10...15	0,8...1,0	8,5...9,0
20...30	23...30	1,1...1,3	9,0...9,5
0,0	50	1,6...3,2	9,5...10,0

Степень солонцеватости почв, т. е. % Na в ППК, зависит от концентрации в почвенном растворе всех катионов.

А. М. Можейко и Т. К. Воротник (1958) оценивают качество воды по отношению суммы калия и натрия к сумме катионов: менее 65% — не опасны для орошения, 66...75% — опасны, более 75% — весьма опасны. С. Израэльсен (1965) считает качество воды хорошим при относительной доле натрия к сумме катионов менее 60%, удовлетворительным — 60...75 и плохим — более 75%.

За рубежом наибольшее распространение получил метод оценки поливной воды по катионному составу, предложенный Лабораторией по исследованию засоленных почв США (Е. И. Панкова, А. Н. Прохоров, 1985).

Все методы оценки катионного состава воды, несмотря на их различное математическое выражение, дают примерно одинаковые результаты, так как получены на экспериментах в узком диапазоне минерализации оросительных вод (1...2 г/л).

Известно, что с увеличением минерализации оросительной воды при равных пропорциях $Na/(Ca+Mg)$ доля обменного натрия увеличивается, т. е. равновесие обмена катионов в почве сдвигается в сторону осолонцевания. Поэтому американский метод оценки более точно отражает сущность процесса обмена и учитывает суммарное содержание солей. Он подтверждается нашими исследованиями при орошении сточными

водами городов Волгограда и Волжского на тяжелосуглинистых солончаковатых солонцах.

Следует отметить, что степень солонцеватости почв зависит от состава и количества солей в почвенном растворе и что при условии близкого залегания засоленных грунтовых вод происходит подтягивание солей, в первую очередь солей натрия, в верхние горизонты почв. Поэтому солевой и солонцовый режимы почв зависят не только от качества оросительных вод, но и от состава и минерализации грунтовых вод.

При использовании как природных, так и сточных минерализованных вод, вызывающих засоление и осолонцевание почв, необходимо соблюдать промывной режим при условии дренированности (естественной или искусственной) орошаемой территории.

На процессы осолонцевания, кроме рассмотренных солей кальция, магния и натрия, влияет содержание в поливной воде HCO_3 и CO_3 , обуславливающих ее щелочность.

Поскольку сода (CO_3^{2-}) может присутствовать в растворе только при $\text{pH} > 8,4$, то практически легче ограничиться этим пределом pH оросительной воды, чем контролировать содержание в ней соды.

Так как щелочность сточных вод (при $\text{pH} > 8,4$) обусловлена в основном наличием в них органических кислот, которые в отличие от бикарбонатов не снижают, а активизируют соли кальция в обменных процессах, щелочность вод, применяемых для орошения, предлагается не нормировать.

Наиболее токсичны для растений карбонаты и бикарбонаты щелочей (особенно сода), затем хлориды и нитраты щелочей; наименее — сульфаты, нетоксичны сульфат кальция и карбонаты кальция и магния.

В „Критериях качества воды” (1978), подготовленных национальными академиями наук и строительства США, сообщается:

хлориды, содержащиеся в оросительной воде, не всегда токсичны для сельскохозяйственных культур, но отмечается чувствительность к ним фруктовых деревьев;

максимально допустимая концентрация хлоридов в оросительной воде 20 мг·экв/л и зависит от условий внешней среды, вида культуры, способа орошения и техники полива;

на уровне современных знаний не может быть установлено никаких ограничений в содержании хлоридов, потому что отрицательное воздействие общей минерализации сдерживает развитие растений в большей степени, чем воздействие только хлоридов.

При оценке засоленности почв с преобладанием сульфатов допускается в 1,5 раза большее суммарное содержание солей, чем при хлоридном. Так как эквивалентная масса сульфатов в 1,5 раза больше хлоридов, то при условии оценки сульфатов и хлоридов в эквивалентных массах эти анионы становятся равнозначными по влиянию на развитие растений.

Учитывая сказанное, в настоящее время нет оснований нормировать анионный состав солей, их учитывают суммарно по общей минерализации и рН оросительной воды.

Предлагается следующая оценка минерального состава сточных вод для орошения засоленных почв аридной зоны:

содержание солей, определенное по сумме катионов Na, K, Ca, Mg (в мг · экв/л) при небольшом количестве атмосферных осадков не должно превышать 15 для тяжело- и среднесуглинистых почв, 30 — для легкосуглинистых и 45 — для супесчаных и песчаных, что соответствует суммарному содержанию солей 1,0; 2,0; 3,0 г/л.

С учетом доли полезного количества атмосферных осадков в обеспечении водопотребления возделываемых сельскохозяйственных культур допустимую концентрацию (ДК) рассчитывают по формуле

$$ДК = (ДК_1 B) / P,$$

где $ДК_1$ — допустимая концентрация суммы катионов почв в зависимости от их механического состава при отсутствии атмосферных осадков, мг · экв/л; B — средневзвешенное значение водопотребления орошаемых культур по севообороту, м³/га; P — средневзвешенная по севообороту оросительная норма, м³/га; $ДК$ не должно превышать 50 мг · экв/л.

Для предотвращения процесса осолонцевания почв отношение катионов в них $Na / \sqrt{\frac{Ca + Mg}{2}}$ не должно превышать 8 для тяжелосуглинистых, 10 — для средне- и легкосуглинистых, 12 — для супесчаных и песчаных почв. Содержание Na, Ca и Mg рассчитывают в мг · экв/л. Отношение Ca : Mg в оросительной воде должно быть более 1,0.

Содержание питательных элементов. Ряд сточных вод имеет высокое содержание азота, фосфора и калия, в которых сельскохозяйственные культуры крайне нуждаются. К таким относятся сточные воды животноводческих комплексов, производства крахмала, спирта и др.

Расчетами установлено, что со сточными водами в открытые водоемы страны поступает азота 750 тыс. т, фосфора — 100 тыс., калия — 70 тыс. т. Эти биогенные элементы, попадая в водоемы, нарушают экологию водных бассейнов страны.

Нормирование азота, фосфора и калия должно базироваться на их полном усвоении сельскохозяйственными культурами. При избытке азота и калия в растениях накапливаются нитраты и калий, что ухудшает (вплоть до их токсичности) качество выращиваемых культур.

У нас в стране и за рубежом широко используют методы расчета доз удобрений для программированного получения урожая. Эти методы учитывают содержание доступных форм элементов питания в почве, их коэффициент усвоения и коэффициент усвоения элементов из удобрений. К недостаткам методов относятся:

широкий диапазон коэффициентов использования элементов из почвы и удобрений;

широкий диапазон колебаний содержания элементов питания в почве в течение вегетационного периода;

в случае использования для орошения сточных вод отсутствие возможности регулирования по годам и по полям севооборота концентрации элементов питания.

Считаем, что концентрация питательных веществ при оптимальном режиме орошения должна обеспечить среднемноголетнюю потребность урожая орошаемых культур в питательных элементах.

Если среднемноголетнее внесение питательных элементов будет меньше выноса их растениями, то плодородие почв будет снижаться, если выше, то приведет к накоплению указанных элементов в почве и, как следствие, к ухудшению качества возделываемых культур, загрязнению подземных и поверхностных вод.

Предлагается определить допустимое содержание азота, фосфора и калия в оросительной воде в каждом конкретном случае в зависимости от оросительной нормы и выноса этих элементов планируемым урожаем:

$$ДК = (У \cdot 10^3) / (PK),$$

где $ДК$ — допустимая концентрация азота, фосфора и калия в оросительной воде, мг/л; $У$ — вынос урожаем элемента по средневзвешенному многолетнему значению планируемого севооборота, кг/га; P — средневзвешенная по севообороту оросительная норма, м³/га; K — коэффициент усвоения растениями элементов питания, для азота $K = 0,6 \dots 0,8$, фосфора и калия $K = 0,8 \dots 1,0$.

В случае более высоких концентраций этих элементов в сточной воде необходимо пропорциональное снижение оросительной нормы, если же воды для разбавления нет, перейти на удобрительные поливы.

Содержание микроэлементов. Минеральный состав растений, кормовых средств, организма животных и человека изучен еще недостаточно. В принципе следует исходить из того, что все природные элементы периодической системы встречаются и в кормах, и в организме животных.

Для высших животных жизненно необходимы следующие макроэлементы: кальций, магний, фосфор, калий, натрий, хлор, сера; микроэлементы: железо, марганец, цинк, медь, селен, молибден, кобальт, йод, хром, фтор, никель, олово, ванадий. В этот перечень можно было бы включить стронций, барий, рубидий, цезий, кремний, литий, кадмий и серебро, жизненная функция которых еще неизвестна.

Чрезмерная доза какого-либо жизненно необходимого элемента может вызвать нарушение обмена веществ как в растительном, так и в животном организме. Высказывание Парацельса: „То, что в малых дозах полезно — в больших ядовито” можно отнести и к элементам минерального питания растений и животных.

Как в почвах и природных водах, так и в сточных водах в тех или иных количествах присутствуют все химические элементы.

2. Предельно допустимые концентрации (ПДК) микроэлементов в сточных водах, мг/л, используемых для орошения*

Микро-элементы	ГДР (1973 г.)	США (1973 г.)	СССР (1986 г.)	Микро-элементы	ГДР (1973 г.)	США (1973 г.)	СССР (1986 г.)
Барий	4,0	—	0,1	Мышьяк	0,2	0,1	0,05
Бериллий	—	0,1	0,0002	Никель	0,5	0,2	0,1
Бор	1,0	0,75	0,5	Олово	—	—	0,1
Бром	—	—	0,2	Ртуть	—	—	0,0005
Ванадий	—	0,1	0,1	Свинец	0,1	5,0	0,03
Висмут	—	—	0,1	Селен	0,05	0,02	0,001
Вольфрам	—	—	0,05	Стронций	—	—	7,0
Кадмий	0,2	0,01	0,001	Фтор	—	1,0	1,5
Кобальт	1,0	0,05	0,1	Хром	0,05	0,1	0,5
Литий	—	2,5	0,03	Цинк	2,0	2,0	1,0
Медь	1,5	0,2	1,0	Железо	1,0	5,0	0,5
Молибден	—	0,01	0,25	Марганец	0,5	0,2	—

* Нормы микроэлементов, утвержденные Минздравом СССР для водоемов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового назначения, 1983, 1986 гг.

В таблице 2 приведено допустимое содержание микроэлементов в оросительных водах, принятых в ГДР, США и СССР.

В нашей стране в „Нормах проектирования оросительных систем с использованием сточных вод” (1986) органами здравоохранения для вод хозяйственно-питьевого водопользования были утверждены допустимые концентрации микроэлементов.

Такой перенос норм из одной хозяйственной области в другую подтверждается балансовыми расчетами, в основе которых заложено сохранение почв по микроэлементарному составу в исходном состоянии при длительном орошении (более 100 лет), полный вынос растениями вносимых с оросительной водой микроэлементов без ухудшения его качества. Недостаток этого нормирования — отсутствие дифференциации по зонам страны.

Рекомендуется продолжить исследования по нормированию микроэлементов в сточных водах в зависимости от оросительной нормы (табл. 3).

3. Предельно допустимые концентрации микроэлементов в сточных водах, мг/л, при различных нормах орошения

Микро-элементы	Оросительная норма, м ³ /га			Микро-элементы	Оросительная норма, м ³ /га		
	2000	5000	10000		2000	5000	10000
Барий	0,5	0,2	0,1	Молибден	1,2	0,5	0,25
Бериллий	0,001	0,0004	0,0002	Мышьяк	0,25	0,1	0,05
Бор	2,5	1,0	0,5	Никель	0,5	0,2	0,1
Бром	1,0	0,4	0,2	Олово	0,5	0,2	0,1
Ванадий	0,5	0,2	0,1	Ртуть	0,002	0,001	0,0005
Висмут	0,5	0,2	0,1	Свинец	0,15	0,06	0,03
Вольфрам	0,25	0,1	0,05	Селен	0,005	0,002	0,001
Кадмий	0,005	0,002	0,001	Стронций	7,0	7,0	7,0
Кобальт	0,5	0,2	0,1	Фтор	5,0	3,0	1,5
Литий	0,15	0,06	0,03	Хром	2,5	1,0	0,5
Медь	5,0	2,0	1,0	Цинк	5,0	2,0	1,0

Содержание органических веществ. Одна из важнейших проблем использования сточных вод для орошения — обезвреживание органических веществ.

Очистка сточных вод на полях орошения, так же как и на сооружениях искусственной биологической очистки, заключается в биохимическом окислении органических веществ. Особенности полей орошения как очистных сооружений следующие:

1. Органические загрязнения сточных вод проходят два-три биологических барьера (почвенные микроорганизмы — зеленые растения — домашние животные).

2. Почва обладает большой поглотительной способностью, вследствие чего при обычных поливных и оросительных нормах исключается загрязнение грунтовых вод и снижается концентрация органических веществ в почвенном растворе, что значительно облегчает течение биохимических процессов.

3. Наличие в почве огромного количества самых разнообразных микроорганизмов при нормальных водно-воздушном и пищевом режимах, необходимых для возделывания сельскохозяйственных культур, служит гарантией быстрой минерализации водорастворимых органических веществ сточных вод.

4. При орошении сточными водами с момента полива до уборки урожая при стравливании имеется 20...30 дней для полного обезвреживания загрязнений. Такой карантинный срок для всех возделываемых культур не оказывает существенного влияния на урожайность. И если за этот период при сбросе в водоемы сточные воды полностью самоочищаются, то на полях орошения — тем более.

5. Затраты на строительство и эксплуатацию оросительной сети окупаются за счет прибавки урожая.

В почве найдено огромное количество органических соединений — продуктов синтеза и разложения микроорганизмов и растений. Сложные органические кислоты перегноя содержат карбоксильные, фенольные, спиртовые, метаксильные и хиновые группы. Общими в молекулах гуминовых кислот различного происхождения являются полифенольные группировки.

Н. В. Лобанов (1952), обобщая сведения о влиянии на урожайность органических веществ, отмечал ее повышение при внесении в почву бензола, хлороформа, формальдегида, пиридина, крезолов, фенола, сероуглерода, толуола, керосина, нафталина, нитробензола, кумола, цимола, анилина, ксилена и парадихлорбензола.

В. Ф. Купревич (1949) на примере ряда растений, принадлежащих к различным семействам, установил их способность выделять в почву через корни ферменты, разрушающие органические вещества, в частности белки, жиры и даже клетчатку. Органические вещества корневых выделений составляют до 5% сухого вещества всего урожая.

Ю. В. Ракитиным (1968) и другими, в том числе зарубежными, авторами было доказано, что, проникая в растение, фитотоксические вещества, и в частности гербициды, могут нарушать те или иные про-

цессы обмена веществ, но сами при этом подвергаются детоксикации. Лишь в редких случаях из введенных в растение токсических веществ в результате биохимических процессов возникают соединения, обладающие повышенной токсичностью. Однако если нет условий для гибели растений, существование новых токсических веществ оказывается только временным, так как, вовлекаясь в процессы обмена веществ, они неизбежно утрачивают токсичность.

Несмотря на колоссальное разнообразие видов живых организмов (микроорганизмов, растений, животных), основные механизмы обмена веществ в них едины. Яркий пример этой общности — отношение к ядохимикатам. Для всех биологических видов фосфорорганические соединения более токсичны, чем хлорорганические, но последние обладают в разной мере выраженными кумулятивными свойствами, тогда как фосфорорганические довольно быстро детоксируются в организме.

Проведенными в ВНПО „Прогресс” исследованиями было выявлено, что на полях орошения в биохимическом обезвреживании органических веществ растениям принадлежит важная роль. Вносимые с поливной водой органические вещества в зависимости от их химической структуры обезвреживались в растениях за различные периоды: до 5 сут — анилин, ацетон, бензальдегид, диметиламин, диметилдиоксан, диэтиламин, кротоновый альдегид, фурфурол, циклогексанол, циклогексанон; за 5...10 сут — ацетальдегид, бензол, бутанол, *n*-ксилол, метанол, пропанол, толуол, этанол; за 10...16 сут — капролактан, дихлорэтан, четыреххлористый углерод.

Учитывая многокомпонентность загрязнения сточных вод органическими веществами, сложность идентификации этих веществ и достаточно быструю их минерализацию в почве, оценивать пригодность вод по органическим загрязнениям рекомендуется путем биотестирования.

Цианиды и ротаниды, не относящиеся к органическим веществам, следует оценивать вместе с органическими веществами как соединения, не стойкие в биосферах.

Для сточных вод, орошение которыми дало положительный практический результат, биотестирование не обязательно.

Концентрацию в оросительной воде стойких в биосферах полихлорорганических соединений предлагается ограничить до значений, утвержденных Минздравом СССР для хозяйственно-питьевого водопользования.

УДК 626.810

ПРОБЛЕМЫ ПОЧВЕННО-МЕЛИОРАТИВНОЙ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ПОЛИВНОЙ ВОДЫ

ЗИМОВЕЦ Б. А., доктор сельскохозяйственных наук

ХИТРОВ Н. Б., кандидат сельскохозяйственных наук

Почвенный институт им. В. В. Докучаева

В условиях нарастающего дефицита пресной воды и широкого использования для орошения вод повышенной минерализации

($> 1,0$ г/л) оценка их качества и пригодности для полива с учетом свойств и плодородия почв — одна из актуальных проблем общего и мелиоративного почвоведения.

До недавнего времени считалось, что существующих рекомендаций, основанных на учете общей минерализации и ионного состава воды, вполне достаточно для того, чтобы определить не только ее вещественный состав, но и его влияние на засоление, осолонцевание и другие процессы деградации орошаемых почв.

Почти двадцатилетний опыт экспериментального и производственного использования вод повышенной минерализации показал неоднозначность их влияния на плодородие почв (от положительного до отрицательного), а также и расхождение ожидаемых (прогнозных) и фактических изменений свойств почв и урожая возделываемых культур. Важен тот факт, что большинство результатов по использованию для полива некондиционных вод свидетельствовало о получении высоких урожаев, особенно зерновых и кормовых (И. С. Рабочев, 1973; И. К. Супряга, 1973; Г. А. Ибрагимов, 1973; Г. М. Гусейнов, 1973; Ю. С. Кизяков, 1983, и др.). Существовало и теоретическое объяснение этому явлению, основанное на солеустойчивости растений, предельной концентрации почвенных растворов и критическом режиме орошения (В. А. Ковда, 1976, 1977; Н. Г. Минашина, 1973, 1977).

Эти обстоятельства породили относительно благоприятное отношение к рассматриваемой проблеме не только мелиораторов, которые нашли эффективный путь утилизации части дренажного стока, но и почвоведов, многие из которых были удовлетворены тем, что при концентрации солей в оросительной воде до 3 г/л можно получить хорошие урожаи. Требуется лишь обеспечить промывной режим орошения (до 30...35%) и хорошую работу инженерного дренажа. Что касается некоторого ухудшения отдельных свойств почв, в частности, связанных с осолонцеванием, то для его устранения рекомендовалось применение кальцийсодержащих мелиорантов, повышенных доз органических и кислых минеральных удобрений, чередование поливов пресными и минерализованными водами и других агромелиоративных приемов (Ю. Б. Кизяков, 1985).

Подобная тенденция существует и в международной практике использования минерализованных вод для орошения. Однако более комплексная их оценка проводится как на основе учета их состава, концентрации, а также солеустойчивости растений, так и на основе свойств почв, в частности механических и минералогических (Бюллетень ФАО, № 42, 1979).

Использование этой методики для почв нашей страны ограничено прежде всего их иным минералогическим составом. В этой методике по-прежнему остаются неучтенными многие агрофизические и физико-химические свойства почв, от которых зависит ее плодородие, в том числе структурное состояние, селективная способность, удельная поверхность, активность ионов. Кроме того, как и в отечественной прак-

тике, качество оценивается отдельно для растений, почв и воды, а общее заключение о возможности ее применения принимается экспертным путем, при котором неизбежны определенная субъективность и условность.

В последнее время наметился новый путь в оценке качества поливной воды, связанный с моделированием процессов ее взаимодействия с почвой на основе теории солепереноса и ионного обмена (И. П. Айдаров и др., 1983, 1986; Я. А. Пачепский и др., 1984, 1985). При этом наравне с составом воды используют показатели различных свойств почв, в частности механический состав, емкость обмена, состав обменных катионов, активность ионов.

Однако в настоящее время широкое применение этого метода ограничивается отсутствием экспериментальных данных по ряду физико-химических свойств почв (прежде всего, сопряженному изучению состава почвенных растворов и обменных оснований), а также недостаточной изученностью кинетики взаимодействия оросительных вод со свойствами почв с учетом зонально-региональных особенностей последних. В частности, требуется установить особенности взаимодействия оросительной воды с почвами, характеризующимися различным ионно-солевым составом; степень обратимости и необратимости изменений основных свойств почв при изменении их ионно-солевого комплекса; характер инерционности взаимодействия оросительных вод с почвами и т. д. Без учета этих особенностей раскрыть закономерности изменения почв под влиянием воды различного качества практически невозможно.

Известно, что одна и та же по составу вода по-разному влияет на почвы с разными свойствами. Например, при орошении пресной водой гидрокарбонатно-сульфатно-кальциевого состава в почвах каштановых и лугово-каштановых несолонцеватых формируются пресные растворы нейтрального состава, а в солонцеватых — резко повышается щелочность, связанная с десорбцией обменного натрия, что приводит к снижению урожайности возделываемых культур до 35...50% (Б. А. Зимовец, 1979).

При промывках минерализованной водой (3...5 г/л) нейтрального химизма засоления солончаковых почв из них почти полностью удаляются легкорастворимые соли, а полив этой же водой незасоленных почв ведет к их постепенному осолонцеванию и засолению (Г. А. Стрельникова, 1984; Б. Г. Розанов и др., 1985).

Неоднозначность взаимодействия оросительных вод с почвами обусловлена различием ионообменных свойств почв, связанных с емкостью катионного обмена (ЕКО) и коэффициентами селективности (КС).

Известно, что ЕКО может изменяться от 5...10 до 50...60 мг·экв/100 г в зависимости от гранулометрического и минералогического состава, содержания, а также от состава органического вещества, характеризуя общий запас обменных поглощенных катионов, что определяет способность почвы противостоять изменению под воздействием оросительной

воды. КС определяют распределение катионов между поровым раствором и почвенным поглощающим комплексом (ППК). Изменение ППК приводит к тому, что при одном и том же составе раствора в почвах с разными КС формируется разный состав обменных катионов.

Вместе с тем экспериментальных определений КС почв практически нет, а рассчитанные по Гапону через SAR для разных почв неодинаковые. Например, в сероземах, по данным Г. Н. Кочетковой (1986), $K_{Na-Ca-Mg} = 0,005$ (моль/л)^{-1,2}, в почвах светло-каштановых и каштановых солонцовых комплексов $K_{Na-Ca-Mg} = 0,007 + 0,020$, в черноземах Ростовской области, по данным Е. Г. Моргуна и Я. А. Пачепского (1984), $K_{Na-Ca-Mg} = 0,0095$, в слитых черноземах Ставрополья $K_{Na-Ca-Mg} = 0,015 + 0,028$ (моль/л)^{-1,2}. Таким образом, видна определенная тенденция увеличения КС от сероземов к черноземам. Кроме того, КС для одной и той же почвы изменяются в зависимости от долевого содержания обменного натрия. Это явление отмечалось Е. Г. Моргуном и Я. А. Пачепским (1984) для чернозема, Г. Н. Кочетковой (1986) — для сероземов. То же установлено нами для каштановых почв и солонцов Поволжья и Ставрополья.

Следовательно, использование одних значений SAR при оценке пригодности воды для орошения без учета КС орошаемых почв недостаточно, поскольку ведет к ошибкам.

Вторая проблема, которую предстоит решить при почвенно-мелиоративной оценке пригодности воды для орошения, — установить зависимость физических и некоторых химических свойств почвы от состава ионно-солевого комплекса. Проведенные в разных странах исследования показали, что долевое содержание обменного натрия и минерализация порового раствора влияют на водопроницаемость и водоудерживающую способность почв, набухание, на их впитывающую и испаряющую способность, фильтрационную гетерогенность, диффузионные процессы, структурное состояние (деагрегирование и коагуляция, коркообразование, заиливание поверхности).

Накопление обменного натрия при небольшой минерализации почвенного раствора способствует диспергации почвенных частиц и деагрегации почв, тогда как высокая минерализация почвенного раствора вне зависимости от содержания обменного натрия способствует коагуляции почвенных частиц. Существование этой особенности определяется гранулометрическим и минералогическим составом почв, присутствием в них карбонатов (а также другими свойствами и условиями) и указывает на возможность изменения их физических свойств в процессе орошения, что, в свою очередь, может повлиять на водный режим и в конечном счете через определенный промежуток времени — на урожайность возделываемых культур.

Важное значение имеет инерционность (замедленность) взаимодействия оросительных вод с почвами, которая обуславливает изменение состава воды после того, как она впитывается в почву и становится почвенным раствором (после взаимодействия с ионно-солевым

комплексом почв). Инерционность взаимодействия тем выше, чем меньше изменяется природный (исходный) ионно-солевой комплекс почвы под воздействием поступающей поливной воды.

Эта особенность наиболее ярко проявляется на черноземах при поливах слабоминерализованными водами, когда содержание натрия и магния в оросительной воде незначительно по сравнению с запасами обменного кальция в почве. Поэтому в первые годы орошения, как правило, не обнаруживают достоверных изменений как по составу обменных оснований, так и по ряду других свойств. Урожайность возделываемых культур также сохраняется на высоком уровне за счет подачи дополнительных объемов воды. Однако со временем изменения накапливаются и проявляются прежде всего через разрушение агрономически ценной структуры, осолонцевание и засоление. Такие примеры широко распространены в Молдавии, на юге Украины, на Северном Кавказе (в Ростовской области и Краснодарском крае), в Центрально-Черноземной области.

Что касается обратимости и необратимости указанных выше процессов, то это явление в настоящее время наименее изучено, но имеющегося материала достаточно, чтобы обратить на него внимание. Ионообменные реакции традиционно считаются обратимыми (Б. П. Никольский, В. И. Парамонова, 1939; Ю. А. Кокотов, В. А. Пасечник, 1970, и др.). Однако имеются сведения, когда наблюдается явная необратимость обменных реакций (В. В. Чернов, 1940; Л. В. Рыжова, 1980; Е. Г. Моргун и Я. А. Пачепский, 1984). Например, в почвах с высоким содержанием органического вещества в процессе насыщения ППК магнием и натрием часть органики теряется. Это приводит к изменению ионообменных свойств почв и к фактической необратимости процесса, хотя состав обменных катионов восстанавливается.

Вопрос об обратимости изменений физических свойств почв под воздействием изменения ионно-солевого комплекса также остается неизученным. Вместе с тем необходимо отметить, что проявление рассмотренных выше особенностей различно в зависимости от мелиоративных условий, в частности от способов, норм и режимов орошения, уровня и минерализации грунтовых вод. Например, при поливе дождеванием, причем небольшими нормами, агрофизические, физико-химические и другие свойства почв изменяются преимущественно в верхних горизонтах (пахотном и подпахотном), при поверхностных поливах большими нормами — как в верхних, так и в более глубоких (до 0,5...0,7 м от поверхности). Глубокие горизонты почв отличаются иными свойствами и составом и требуют специальных исследований для определения как природных характеристик, так и изменений под влиянием поливной воды. Однако технология химических и агрофизических мелиораций этих горизонтов остается научно необоснованной и предстоит их разработка с учетом качества воды и ее пригодности для орошения.

Таким образом, проблема почвенно-мелиоративной оценки качества оросительной воды сводится к необходимости выяснения ее пригодности по комплексу показателей:

для орошения сельскохозяйственных культур в зависимости от их солеустойчивости;

для повышения плодородия орошаемых почв путем сохранения и улучшения их физических и физико-химических свойств;

для выбора оптимальных систем мелиорации;

для согласования полученных частных оценок.

Исходя из этих положений, общий принцип почвенно-мелиоративной оценки пригодности воды для орошения можно сформулировать следующим образом. Оценка качества воды должна быть комплексной, конкретной и согласованной с учетом солеустойчивости сельскохозяйственных культур, свойств и режимов почв, техники и технологии орошения, мелиоративного состояния орошаемых земель.

Обсуждаемая проблема находится в начальном этапе научного поиска. Намечившаяся стратегия комплексной почвенно-мелиоративной оценки пригодности воды для орошения нуждается в дальнейших разработках прежде всего применительно к различным природным зонально-фациальным свойствам почв (черноземных, каштановых, сероземных).

Необходим также сбор и систематизация данных по составу обменных катионов в почвах различного химизма засоления с целью определения ионообменных характеристик почв и влияния долевого содержания кальция, магния и натрия на их селективные свойства.

На этой же методической основе предстоит систематизация научных и производственных данных по использованию минерализованной воды, ее влиянию на основные свойства почв, а также разработка методов прогнозирования процессов их засоления, осолонцевания и слитизации в различных хозяйственно-мелиоративных условиях.

В связи с этим требуется научно-теоретическое и экспериментальное обоснование предельно допустимых (опасных) параметров основных свойств почв, предупреждающих их переход в разряд менее плодородных и тем более деградированных. Установленные ранее пороговые критерии уровня содержания солей, обменного натрия и магния, токсичной щелочности и другие показатели, свидетельствующие о неблагоприятных изменениях свойств почв и переходе их из одной категории в другую, не обеспечивают достаточной надежности и достоверности прогноза. Объясняется это прежде всего тем, что эти параметры были определены на качественно-количественном уровне и предназначались для оценки природных (естественных) свойств почв, сформированных под влиянием вековых процессов почвообразования. Для количественной же оценки современных процессов и свойств почв, формирующихся за 1...3, максимум 5...7 лет, а также для сезонно-годовой динамики их изменения требуются специальные разработки.

Кроме того, в настоящее время появились новые данные о ряде физико-химических показателей, которые существенно уточняют старые, а некоторые ставят под сомнение. Например, хорошо известный критический параметр содержания обменного натрия как показатель начальной и последующих стадий осолонцевания: более 3% емкости для черноземов, более 5% — для каштановых почв и более 10% — для сероземных. Кроме того, выделяют солонцы малонатриевые (менее 10%), средненатриевые (10...25%) и многонатриевые (более 25%). В зарубежной литературе для диагностики солонцов установлен уровень 15% емкости содержания обменного натрия.

Установлено, что все эти показатели занижают оценку как начальной, так и последующих стадий осолонцевания орошаемых почв. Высказывают предположения, что более точные данные можно получить, если оценивать этот процесс не по общему содержанию обменного натрия, а по его активности и с учетом активности ионов кальция (Н. К. Крупский, Л. А. Чаусова, 1981; Т. Н. Хохленко, 1987, и др.).

Не менее сложно решается вопрос о критическом содержании обменного магния. До сих пор эта проблема остается нерешенной, предельно допустимое содержание обменного магния в почве не установлено. Условно принято, что его содержание в количестве до 25...30% емкости не оказывает отрицательного влияния на плодородие почв, а в количестве 50...60% является критическим, снижающим уровень плодородия.

Критические параметры состава и концентрации почвенных растворов также претерпели значительные изменения. Долгое время считалось, что критическая концентрация почвенных растворов для аридных почв находится в пределах 10...12 г/л (В. А. Ковда, 1947). Затем, по мере накопления новых экспериментальных данных, это значение снизили в два-три раза. В настоящее время установлено, что для хлопковой зоны критическая концентрация почвенного раствора в весенне-летний период составляет 2,5...3,5 г/л при сульфатно-хлоридном химизме засоления и 3,5...4,5 г/л при хлоридно-сульфатном (В. А. Молодцов, 1985).

Для почв сухостепной зоны эти показатели оказались еще более низкими. В частности, для каштановых орошаемых почв критическая концентрация почвенных растворов не превышает в среднем 2,0...2,5 г/л при хлоридном составе солей и 2,5...3,0 г/л при сульфатном. Соответственно другие уровни засоления (слабое, среднее, сильное) также имеют более низкие значения по сравнению с уровнями засоления, установленными для почв хлопковой зоны (Б. А. Зимовец, З. Н. Кауричева, 1979, 1985). Установлено также, что при использовании этих показателей для прогнозирования изменений солевого состояния почв под влиянием орошения требуется обязательное их преобразование с учетом термодинамических характеристик растворов, в частности активности ионов (Э. Бреслер, Б. А. Макнил, Д. Л. Картер, 1987). Кинетика процессов изменения ионно-солевого состава почв (ППК, ПР и др.) под влиянием водных и химических мелиораций остается также слабо разра-

ботанной, особенно для щелочных почв, и в современных прогнозных моделях практически не учитывается.

Таким образом, оценка качества поливной воды по установленным ранее отдельным показателям остается несовершенной и приводит к определенным ошибкам. Требуется учет всех этих показателей во взаимосвязи между собой и свойствами почв, о чем уже отмечалось в печати (Я. А. Пачепский, 1984, 1987; И. П. Айдаров, 1983, 1985; Б. А. Зимовец, Н. Б. Хитров, 1987). В связи с этим возникает острая необходимость в разработке как общих методических положений в определении пригодности воды для орошения, так и специальных проработок по определению критических параметров свойств и состава почв и оросительных вод.

Первый вариант методики оценки пригодности воды для орошения почв, видимо, можно разработать на основе физико-математической модели влагосолепереноса и ионного обмена (Я. А. Пачепский, 1984, 1987).

Можно предложить иной вариант. В неорошаемых почвах в зависимости от природных условий формируется определенный солевой режим и ионно-солевой состав. Поливная вода будет способствовать их изменению, особенно в верхних горизонтах. Причем чем больше отличия ионно-солевых составов воды и верхнего горизонта почвы, тем сильнее возможны изменения свойств почвы. Поэтому для оперативной экспертной оценки пригодности воды для орошения почв предлагаем использовать критерии, основанные на различии ионно-солевых составов воды и почвенного раствора (ПР) пахотного горизонта почвы. Они представляют собой отношения $SAR_{\text{воды}}/SAR_{\text{пр}}$, $C_{\text{воды}}/C_{\text{пр}}$ (где C — минерализация, г/л). Соотношение минерализаций воды и почвенного раствора не должно превышать 1–1,5. При использовании величин SAR оценку следует осуществлять дифференцированно. При $SAR_{\text{пр}}$ меньше единицы $SAR_{\text{воды}}$ не должен быть выше единицы. При $SAR_{\text{пр}}$ больше или равного единице соотношение $SAR_{\text{воды}}/SAR_{\text{пр}}$ не должно превышать единицу. При орошении территорий, имеющих комплексный почвенный покров, что характерно для сухостепной зоны, в качестве $SAR_{\text{пр}}$ следует использовать средневзвешенную величину для всего почвенного комплекса с учетом площади каждого компонента.

УДК 631.6.03.631.452 (477)

ВЛИЯНИЕ ДЛИТЕЛЬНОГО ОРОШЕНИЯ МИНЕРАЛИЗОВАННЫМИ ВОДАМИ НА ТЕМНО-КАШТАНОВЫЕ ПОЧВЫ УКРАИНЫ

Ю. Е. КИЗЯКОВ, доктор сельскохозяйственных наук

Всесоюзный научно-исследовательский институт кукурузы

Зона сухих степей УССР характеризуется наличием богатых тепловых ресурсов и недостаточным атмосферным увлажнением. Средние

годовые показатели составляют: температура воздуха $9,5 \dots 10^{\circ}\text{C}$, осадки — $389 \dots 491$ мм, испаряемость — $813 \dots 944$ мм, коэффициент увлажнения по Н. Н. Иванову — $0,47 \dots 0,56$. Типичны резкие колебания погодных условий. За 12 лет (1974–1985 гг.) годовое количество осадков варьировало в пределах $218 \dots 496$ мм, испаряемость — $478 \dots 911$ мм, коэффициент увлажнения — $0,28 \dots 1,03$. Жесткие гидротермические условия значительно ограничивают возможности богарного земледелия. Очень неустойчива продуктивность озимой пшеницы, а нередко получение ее всходов возможно только на паровых участках. Урожайность зеленой массы кукурузы не превышает $7 \dots 10$ т/га, ее возделывание на зерно исключено. Невозможно также выращивание многолетних трав, кормовой свеклы и многих других культур. Расширение масштабов орошения в развитии сельскохозяйственного производства играет в этой зоне решающую роль. Ввиду ограниченности ресурсов пресных вод на площади свыше 200 тыс. га используют подземные и речные воды, содержащие $0,5 \dots 3,0$ г/л солей хлоридно-натриевого и реже сульфатно-натриевого состава с участием соды.

Первые попытки орошения подземными водами предпринимались на Украине в конце XIX в. В. В. Докучаев предупреждал тогда, что в артезианской воде много солей и полив ею полей обратит их в солонцы. В дальнейшем работами многих ученых было установлено, что орошение минерализованными водами вызывает засоление и осолонцевание почв.

Разработаны методические подходы к оценке качества поливных вод и приемы ослабления их неблагоприятного воздействия на почвы. Короткий период интенсивного применения минерализованных вод в орошаемом земледелии страны (15–20 лет) и непродолжительные временные опыты по изучению эффективности приемов мелиорации не позволили решить ряд актуальных вопросов. Не выявлено, в частности, насколько объективны и обоснованы предложенные подходы к оценке качества поливной воды, слабо изучены особенности почвенных процессов в условиях орошения солеными водами, изменения состава и свойств почв, их водного, солевого и пищевого режимов, возможности направленного регулирования эволюции и плодородия почв.

А. М. Можейко и Т. К. Воротник (1958) отмечали, что снижение плодородия каштановых почв Украины при орошении их минерализованными водами объясняется, как правило, осолонцеванием и реже избыточным накоплением солей. Обследование темно-каштановых почв Украины, орошаемых водами минерализацией $0,5 \dots 4$ г/л в течение 5–15 лет на площади 38 229 га, показало, что площадь почв с сильным засолением составила всего 15 га, со средним — 684 и слабым — 11 763 га. На 67,1 % площади орошаемых земель засоления не было.

Процессы, протекающие в темно-каштановых почвах Украины при орошении водами минерализацией $1 \dots 3$ г/л, а также эффективность различных приемов мелиорации изучались нами в стационарных полевых опытах, заложенных на Генической опытной станции в 1973 г. и

в колхозе им. Шевченко Генического района Херсонской области в 1974 г. Установлено, что систематическое чередование, а во время поливов и сочетание засоления и рассоления почв приводят к перестройке состава почвенного раствора в пользу натриевых солей. Это обуславливает активное внедрение натрия в поглощающий комплекс не только пахотного, но и горизонтов, лежащих глубже.

Сопряженные исследования солевого режима и динамики состава поглощенных катионов на фонах с различным составом поливных вод и широким спектром мелиоративных воздействий показали, что этот процесс начинается при отношении в катионной части почвенного раствора $Na : Ca = 1,5 : 1$ и $Na : Ca + Mg = 1,1 : 1,0$. Внедрение натрия в ППК сопровождается вытеснением кальция и выщелачиванием его в глубокие горизонты, дезагрегацией почв, ухудшением их физических свойств.

Активно протекают также процессы вертикального (профильного) и горизонтального (поверхностно-эрозионного) элювирования. Последнее заметно проявляется в осенне-зимнее время и зависит от выраженности микрорельефа, температур и количества осадков в этот период. Дожди и талые воды вследствие низкой проницаемости застаиваются на поверхности, дезагрегированная почвенная масса образует водную суспензию, крупные частицы быстро оседают, а тонкие фракции перемещаются к отрицательным формам рельефа. В результате на повышенных участках формируется микропрофиль солонца.

Поливы минерализованными водами и высокая эвапотранспирация в весенне-летнее время тормозят процессы элювирования. Микропрофиль солонца в процессе механических обработок разрушается и перераспределяется в пахотном слое. Со временем этот слой полностью дезагрегируется и под ним формируется иллювиальный горизонт. При орошении хлоридно-натриевыми водами с минерализацией 2,8 г/л такое явление отмечалось нами через 6...7 лет. Конечную ступень прогрессирующего процесса представляют солонцы, для которых характерны полная дезагрегация пахотного слоя, накопление поглощенного натрия в слое 0...60 см и глубже — до 15...20% емкости обмена, перераспределение илистой фракции по профилю и четко оформленные элювиальный и иллювиальный горизонты.

Степень развития осолонцевания почв определяют качество поливных вод, длительность и режим орошения, гидротермические условия местности, состав и свойства почв и другие факторы. Одному из них — качеству поливной воды — уделяется много внимания в отечественной и зарубежной литературе. Учитываются общая минерализация, соотношение катионов и активная реакция. Использование значения pH как одного из основных критериев качества поливной воды недостаточно обосновано. Активная реакция воды является не причиной, а следствием, так как она не определяет, а отражает солевой состав. Установлено, что поливы слабокислыми хлоридно- и сульфатно-натриевыми водами вызывают осолонцевание почв. Степень его опре-

деляется не только соотношением катионов в поливной воде, но и анионным составом натриевых солей*. Нами предложены коэффициенты, отражающие роль аниона: сульфат-натрия — 1,0; хлорид — 1,9; карбонат — 2,3; гидрокарбонат — 3,1, основанные на изучении интенсивности накопления поглощенного натрия и дезагрегации темно-каштановых почв. С их помощью можно определять условное общее количество ионов натрия, соотношение которого с суммарным содержанием ионов кальция и магния будет служить более объективным критерием оценки качества поливных вод.

Установлено, что при орошении в течение 12 лет хлоридно-натриевыми водами минерализацией около 1 г/л осолонцевание почв проявляется слабо. В годы с обильным выпадением осенне-зимних осадков или после ливневых дождей (например, 1976 г.) наблюдалось запыливание и осолодение поверхности почв. При содержании солей 2,8 г/л уже через 2 года почвы сильно запыливаются весной и на микроповышениях формируется короткий солонцовый профиль. С увеличением длительности орошения мощность и скорость формирования этого профиля в течение осенне-зимнего времени увеличиваются.

Через 6 лет в пахотном слое произошла почти полная дезагрегация почвенной массы, плотная ее упаковка. Хорошо проявляется подвижность органо-минеральных и минеральных компонентов, перемещение их вглубь. В переходном горизонте (30...40 см) в меньшей, но существенной мере выражены разрушение микроагрегатов, оптическая ориентировка плазмы и по краям отдельных пор — тонкие пленки светло-бурой глины, переместившейся из пахотного слоя.

Материалы макро- и микроморфологических исследований согласуются с результатами изучения динамики микроагрегатного состава. Быстрее всего разрушаются агрегаты размером 1...0,25 мм, содержащие повышенные количества поглощенного натрия. Значительно увеличивается количество водно-пептизируемого ила и повышается его емкость поглощения в слое 0...20 см с 33,3 до 47,2, 30...40 см — с 30,9 до 46,3 мг · экв/100 г. В составе поглощенных катионов илистой фракции доля натрия возрастает соответственно по слоям с 7,8 до 46,3% и с 7,4 до 53,1%, а доля кальция уменьшается с 73,3 до 43,4% и с 71,8 до 35,2% суммы. Значительное насыщение ила поглощенным натрием обуславливает его высокую подвижность.

Орошение минерализованными водами при высоком агрофоне способствует увеличению запасов гумусовых веществ, но их групповой и фракционный состав ухудшаются. В гумусе пахотного слоя заметно суживается отношение $C_{г.к} : C_{ф.к}$ за счет увеличения количества фульвокислот, в составе которых значительно возрастает содержание фракции свободных и связанных с подвижными полуторными окислами.

*Пояснительная записка к карте степени и типов засоления верхнего метрового слоя и зоны опробования почвогрунтов Каховского массива орошения. Каховская ГГМЭ, Новая Каховка, 1978.

Существенно снижается количество фульватов кальция и нерастворимого остатка. В переходном горизонте (30...40 см) при повышении общего содержания гумуса относительное содержание нерастворимого остатка не изменяется. Отношение $C_{г.к} : C_{ф.к}$ несколько увеличивается. Новообразованные гуминовые кислоты связываются преимущественно с глинистыми минералами, а также подвижными и устойчивыми полуторными окислами. В группе фульвокислот значительно возрастает количество 2-й фракции, связанной с гуматами кальция, и снижается содержание других фракций.

Установлено, что даже при сравнительно невысоком содержании натрия в поливной воде происходит прогрессирующее его накопление в ППК до глубины 60 см и больше. Очень сильное ухудшение состава поглощенных катионов произошло при орошении водами повышенной минерализации (2,8 г/л). Значительное увеличение количества поглощенного натрия и выщелачивание кальция вызвали повышение рН почвенного раствора пахотного слоя с 7,63 до 8,41, а слоев 30...40 и 40...60 см — с 7,79 до 8,87.

В опытах выращивали озимую пшеницу и кукурузу. Поливы под эти культуры назначали с учетом поддержания запасов влаги в слое 0...70 см в пределах 70...100% запасов при НВ. Средняя годовая оросительная норма при возделывании пшеницы составила 2350 м³/га, кукурузы на силос — 2480, на зерно — 2900 м³/га, амплитуда колебаний в зависимости от погодных условий — соответственно 900...3500; 1400...3500 и 2300...4000 м³/га. Результаты изучения водного режима почв показали, что такой режим орошения обеспечил достаточное увлажнение почвы до глубины 150 см в течение всего периода вегетации обеих культур.

После уборки озимой пшеницы в полутораметровой толще оставалось в среднем 51...77 мм, кукурузы на силос — 93...141 и на зерно — 55...75 мм продуктивной влаги. В слое 150...300 см количество влаги варьировало в пределах 80...103% ее запасов при НВ, а в отдельные годы (1978) отмечалось даже заметное переувлажнение слоя 20...60 см.

Полученные материалы позволяют сделать вывод, что при выращивании озимой пшеницы и кукурузы, занимающих около 60% орошаемых земель сухостепной зоны, необходимо уменьшать оросительные нормы. Очень важно, чтобы к концу осени на полях, где будут размещаться яровые культуры, в верхних слоях почвы оставалось небольшое количество продуктивной влаги. Это позволит экономнее расходовать поливные воды, лучше использовать осенне-зимние осадки, предупреждать глубокое промачивание и элювирование почв. Регулировать запасы влаги в почве можно путем сокращения оросительных норм под основные культуры, насыщения севооборотов многолетними травами, покосных и пожнивных посевов с умеренными поливами.

Касаясь водного режима орошаемых почв и особенно почв, орошаемых минерализованными водами, следует подчеркнуть, что его изучению и регулированию в производстве не уделяется должного внимания. Математические расчеты, не подкрепленные эксперименталь-

ными данными, нередко приводят к ошибочным выводам. В частности, А. И. Болдырев (1981) предлагает увеличить оросительные нормы в зоне сухих степей СССР с 3000 до 4500...6000 м³/га. И. П. Айдаров и А. И. Корольков (1986) считают, что на черноземах для повышения урожайности зерновых и кормовых культур на 20% необходимо увеличить среднюю оросительную норму в 9-польном севообороте с 1978 до 5228 м³/га. Такие рекомендации могут нанести огромный вред орошаемому земледелию.

Орошение хлоридно-натриевыми водами вызывает заметное накопление солей в верхней полутораметровой толще и рассоление слоя 150...300 см. Последнее обусловлено, вероятно, выщелачиванием солей и их аккумуляцией с кристаллами гипса. В слое 0...150 см при орошении водами с минерализацией 2,8 г/л за 8 лет из поступавших с поливными водами 54,4 т/га солей закрепилось 16,5 т/га. При этом резко изменился состав солей. Количество нетоксичных гидрокарбоната и сульфата кальция уменьшилось, появился двууглекислый магний, значительно возросло содержание гидрокарбоната, сульфата и хлорида натрия.

Существенно изменяется пищевой режим темно-каштановых почв. Установлена миграция нитратов до глубины 300 см и больше, особенно сильно проявляющаяся в осенне-зимнее время. Значительно повышается нитрификационная способность почв, подвижность фосфатов и калийных соединений. В пахотном слое орошаемых почв в отличие от неорошаемых обнаруживается заметно больше фосфатов кальция, особенно одно- и двузамещенных. Аммонийсодержащие азотные удобрения, применяемые на орошаемых землях в больших дозах, существенно усиливают осолонцевание.

Длительное орошение хлоридно-натриевыми водами, как показано выше, резко изменяет природу темно-каштановых почв и снижает их плодородие. Вместе с тем строгое соблюдение технологии возделывания полевых культур позволяет получать удовлетворительные урожаи. Так, при орошении слабоминерализованными водами (1 г/л, Геническая опытная станция) на немелиорированных делянках урожайность зерна озимой пшеницы в среднем за 9 лет (1974–1982 гг.) составила 5,17 т/га, зеленой массы кукурузы в фазе МВС в среднем за 8 лет (1975–1982 гг.) – 49,2 т/га, зерна кукурузы в среднем за 3 года (1983–1985 гг.) – 7,56 т/га. При орошении водами повышенной минерализации (колхоз им. Шевченко) на немелиорированных делянках зерна озимой пшеницы в среднем за 7 лет (1975, 1976, 1978–1982 гг.) получено по 4,37 т/га, зеленой массы кукурузы МВС в среднем за 6 лет (1975, 1977–1981 гг.) – по 26,6 т/га.

В опытах изучалась эффективность различных приемов мелиорации: применение фосфогипса, глубокой плантажной вспашки и сочетание этих приемов, внесение навоза, замена аммиачной селитры на кальциевую селитру и азотную кислоту. Эти приемы способствовали повышению продуктивности полевых культур и существенному ослаблению осолонцевания почв, но не позволяли полностью предотвратить

этот процесс. Следовательно, поливы хлоридно-натриевыми водами должны рассматриваться как вынужденное мероприятие. При использовании таких вод строго обязательно применение разработанной системы агромелиоративных мероприятий, включающей: 1) улучшение качества поливных вод путем добавления азотной кислоты, а также нитрата кальция, фосфогипса и других калийсодержащих веществ; 2) глубокую плантажную вспашку и систематическое применение фосфогипса на ее фоне; 3) внесение навоза дозой 80 т/га один раз в 5 лет; 4) замену аммонийсодержащих азотных удобрений на более эффективные — кальциевую селитру, карбамид, нитрофос; 5) максимальное использование влаги в весенне-летнее время с целью как можно большего иссушения почв на полях, отводимых под яровые культуры, что позволит ослабить отрицательное влияние осенне-зимних атмосферных осадков; 6) полное исключение осенних влагозарядковых поливов под яровые культуры; 7) сокращение оросительных норм, замену редких обильных поливов на более частые нормами не выше 300..350 м³/га; 8) строгое соблюдение рекомендуемых видов и доз минеральных удобрений; 9) подбор солонцеустойчивых сортов и гибридов, обеспечение оптимальной густоты стояния растений и борьбу с сорной растительностью с целью максимального сокращения непроизводительных расходов почвенной влаги.

Внедрение этой системы в производство обеспечило высокий мелиоративный, агрономический и экономический эффект.

УДК 631.67.03:536.77

ПРИНЦИП ОЦЕНКИ ПРИГОДНОСТИ ЕСТЕСТВЕННЫХ И ТРАНСФОРМИРОВАННЫХ ВОД ДЛЯ ОРОШЕНИЯ ЮЖНЫХ ЧЕРНОЗЕМОВ

Т. Н. ХОХЛЕНКО

Одесский государственный университет

А. Г. КОРОВЕЛЬ

Райсельхозхимия, г. Татарбунары

Проблема качества оросительных вод приобретает особо важное значение. Это, с одной стороны, обусловлено тем, что практика орошения в степной зоне вскрыла ряд отрицательных моментов, в частности ощелачивание и осолонцевание черноземных почв при орошении вполне доброкачественными низкоминерализованными водами. С другой стороны, возникла необходимость ввиду дефицита пресной воды использовать для орошения черноземных почв воды повышенной минерализации — артезианские, опресненных морских лиманов, а также сточные городов Причерноморья.

Обычно для оценки пригодности вод для орошения используют результаты химического анализа ионного состава. Однако такой анализ не всегда дает правильное представление об истинном соотношении ионов, участвующих в реакциях взаимодействия между почвой и оросительной водой. Это связано с тем, что значительная часть ионов находится в оросительных водах не в свободном состоянии, а в виде комплексных ионов или ассоциатов. Ассоциированность ионов существенно сказывается на их физико-химической активности, и, следовательно, существенно изменяется механизм взаимодействия между почвой и водой. Известно, что степень ассоциированности воды зависит от химической природы ионов, валентности и ионного радиуса (Д. С. Орлов, 1985). Наиболее сильный ассоциат среди катионов — кальций, а наиболее слабый — натрий. При равных аналитических концентрациях способность участвовать в обменных реакциях у кальция и натрия может быть различной и соответственно различными будут соотношения концентраций двухвалентных и одновалентных катионов и соотношение их активных форм.

Степень ассоциированности ионов возрастает с повышением минерализации вод. Установлена прямая зависимость ассоциированности ионов от ионной силы растворов (О. А. Алекин, 1970). В низкоминерализованных водах ионной силой менее $0,02 \text{ г} \cdot \text{моль/л}$ (минерализация $0,3 \dots 0,6 \text{ г/л}$) ассоциированность ионов невелика и с определенной степенью достоверности можно ограничиться определением аналитических концентраций при оценке качества воды (табл. 1). Что же касается вод повышенной минерализации, ионная сила которых превышает $0,02 \text{ г} \cdot \text{моль/л}$, то здесь ассоциированность ионов выражена в сильной степени, и это необходимо учитывать при оценке пригодности вод для орошения и прогнозирования их влияния на свойства орошаемых черноземов.

Реальное представление о количестве ионов, участвующих в реакциях взаимодействия между оросительной водой и почвой, дает определение активностей ионов, т. е. эффективной концентрации. Активности практически определяются физико-химическими методами с применением ионно-селективных электродов и служат термодинамическими показателями качества оросительной воды.

Таким образом, процессы внедрения натрия в ППК, а также ошелачивание почв непосредственно связаны не с концентрацией ионов кальция, натрия и водорода, а с их активностями в равновесных почвенных растворах и оросительных водах. Направленность же процессов определяется не столько активностью отдельных ионов, сколько соотношением активностей одно- и двухвалентных катионов.

Соотношение активностей в равновесном почвенном растворе подчиняется закону действующих масс и выражает сущность данного почвообразовательного процесса. Согласно уравнению Б. П. Никольского (1939), отношение активностей ионов I и II рода в степенях их обратных валентностей есть функция количества одного из поглощенных катионов.

1. Ирригационная характеристика оросительных вод

$t, ^\circ\text{C}$	рН (по ГОСТу)	Сумма со- лей, г/л	Ионная си- ла μ , г·моль/л	Na/Ca*	SAR	
	8,0 (не бо- лее)			1 (не бо- лее)	8 (не бо- лее)	2 (не бо- лее)**
Воды р. Дунай						
17	7,90	0,400	0,017	0,40	0,88	0,88
26	8,85	0,327	0,012	0,80	1,15	1,15
28	8,90	0,324	0,012	0,40	1,57	1,57
Воды р. Днестр						
17	7,80	0,540	0,020	0,40	0,85	0,85
28	8,50	0,431	0,019	0,60	0,94	0,94
26	8,35	0,463	0,020	0,40	0,90	0,90
Воды оз. Сасык						
23	8,30	1,24	0,043	4,3	6,35	6,35
25	8,98	1,24	0,053	2,6	5,80	5,80
25	8,75	1,81	0,060	5,9	8,19	8,19
24	8,90	2,19	0,084	7,2	9,88	9,88

* По данным Н. Ф. Буданова.

** По данным И. П. Айдарова и А. И. Королькова.

Исходя из термодинамического представления о природе ионообменных реакций, процесс ощелачивания будет зависеть от соотношения активностей водорода и кальция $a_{\text{H}}/\sqrt{a_{\text{Ca}}}$, а процесс осолонцевания — от соотношения натрия и кальция $a_{\text{Na}}/\sqrt{a_{\text{Ca}}}$. Эти же процессы можно характеризовать качественно — через энергетические уровни ионного обмена и выразить математически как разность отрицательных логарифмов активностей ионов с учетом их валентностей. Тогда процесс ощелачивания будет характеризоваться выражением $\text{pH} = 0,5 \text{ pCa}$, которое устанавливает зависимость активности кальция от реакции среды и определяет энергетический уровень выхода кальция из ППК. В литературе он известен под названием *известковый потенциал* (Aslyng, 1954). Процесс осолонцевания по аналогии характеризуется *натриево-кальциевым потенциалом* $\text{pNa} = 0,5 \text{ pCa}$ как показателем энергетического уровня сорбции натрия.

С таких теоретических позиций были проведены режимные исследования по изучению механизмов взаимодействия оросительных вод с черноземными почвами. В качестве оценочных критериев для характеристики направленности процессов в сторону ощелачивания использовали предложенный нами известковый потенциал ($\text{pH} = 0,5 \text{ pCa}$), в сторону осолонцевания — натриево-кальциевый потенциал ($\text{pNa} = 0,5 \text{ pCa}$). Эти же критерии применяли для оценки ощелачивающего и осолонцовывающего действия оросительных вод на черноземные почвы. При этом учитывали свободную энергию связи катионов в воде, характеризующую ее потенциальную способность к ощелачиванию и осолонцеванию черноземных почв при орошении.

Как показали исследования, неорошаемые южные черноземы характеризуются определенными термодинамическими показателями, которые выражают сущность данного почвообразовательного процесса. Показатель pH варьирует в пределах 6,40...7,60, средний уровень активности кальция $pCa = 2,20...2,60$, натрий практически отсутствует, его значения выходят за пределы чувствительности натриевого электрода ($pNa > 3p$). Математический расчет энергетических уровней показал, что известковый потенциал варьирует в равновесных почвенных растворах от 5,0 до 6,5, а натриево-кальциевый — от 1,5 до 2,5.

Орошение не должно нарушать термодинамику почв, которая определяет процессы растворения, миграции солей, осадкообразования, ионообменные процессы, а также явления сорбции. Однако практика показала, что под влиянием орошения даже доброкачественными по существующим критериям, низкоминерализованными водами рек Дуная, Днестра, Днепра происходит поверхностное ощелачивание и осолонцевание черноземных почв, которое проявляется в некотором повышении pH и известкового потенциала, в существенном изменении уровня активности ионов натрия и понижении натриево-кальциевого потенциала до 1,15...1,70, что и явилось причиной осолонцевания почв. Особенно резкие изменения натриево-кальциевого потенциала произошли в черноземах при орошении их водой повышенной минерализации оз. Сасык. Он понизился до значений, свойственных солонцеватым почвам (0,40...0,80).

Чтобы выявить причину изменения термодинамики черноземных почв под влиянием орошения низкоминерализованными водами, одновременно детально исследовали режимы щелочности низкоминерализованных оросительных вод как функцию динамичной углекислокальциевой системы, а также определяли уровни активности водорода, кальция и натрия и потенциалы их взаимосвязи. В качестве обобщающей характеристики рассчитывали ионную силу (μ).

Как показали режимные исследования минерализованных оросительных вод (табл. 2), при естественном нагревании от ночных и утренних температур (17...20°C) до максимальных в середине дня (25...30°C) они трансформируются в результате нарушения углекислокальциевого равновесия, обусловленного уменьшением растворимости CO_2 (И. Н. Гоголев, Т. Н. Хохленко, 1978) по схеме: $2HCO_2^- \rightleftharpoons CO_2 + H_2O + CO_3^{2-}$. Появление свободных карбонатных ионов в воде создает дефицитную протонную ситуацию, что и служит причиной повышения щелочности при недостатке в воде кальция. Часть ионов, связавшись с кальцием, переходит в осадок или образует ассоциаты в виде ионных пар, что приводит к изменению соотношений катионов в неблагоприятном направлении.

В этой связи нами были исследованы воды утреннего отбора температурой 17...20°C и дневного отбора температурой 25...28°C (см. табл. 1 и 2). Анализ воды проводили сразу же после отбора при тех же температурах. Как видно из таблиц, низкоминерализованные воды рек Дуная и Днестра, ионная сила которых не превышает 0,02 г·моль/л,

2. Изменение ионной структуры дунайских вод из разных точек оросительной сети при отборе в разное время суток

Время и место отбора	$t, ^\circ\text{C}$	pH	Сумма солей, г/л	CO_3^{2-}	HCO_3^-	Cl^-	SO_4^{2-}	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Na^+
				мг · экв/л						
6 ч										
Магистральный канал	17	7,85	0,40	Нет	3,18	1,80	2,12	4,20	1,20	1,70
Распределительный канал	17	7,80	0,39	„	3,04	2,10	1,86	3,80	1,60	1,60
Временный ороситель	18	7,90	0,41	„	3,04	2,20	2,06	4,10	1,40	1,80
Дождевальный агрегат	20	8,05	0,41	„	3,40	2,20	1,90	4,00	1,50	1,60
16 ч										
Распределительный канал	27	8,85	0,37	0,40	2,40	1,66	2,04	3,20	1,58	1,62
Временный ороситель	28	8,84	0,35	0,40	2,50	1,78	1,66	2,86	1,52	1,96
Дождевальный агрегат	26	8,60	0,35	0,40	2,58	1,85	1,53	2,94	1,56	1,84

при естественном нагревании трансформируются. В них появляются свободные карбонатные ионы, уменьшается количество бикарбонатных ионов и кальция. Такое изменение соотношений компонентов углекислого кальция системы приводит к резкому подщелачиванию низкоминерализованных вод. Из нейтральных и слабощелочных они переходят в категорию щелочных ($\text{pH} > 8$) и сильнощелочных ($\text{pH} > 8,5$). Трансформированная вода опасна с точки зрения ошелачивания и осолонцевания и согласно ГОСТ 25900—83 непригодна для орошения черноземных почв. Это обстоятельство необходимо учитывать и проводить анализ воды сразу же после отбора при тех же температурах, чтобы судить о ее качестве.

3. Термодинамическая характеристика оросительных вод

$t, ^\circ\text{C}$	$\mu, \text{г} \cdot \text{моль/л}$	pH	pCa	$a_{\text{Ca}^{2+}}$, мг · экв/л	γ_{Ca}	pNa	a_{Na^+}	γ_{Na}	$\frac{a_{\text{Na}^+}}{\sqrt{a_{\text{Ca}^{2+}}}}$	$\text{pNa} = -0,5 \text{pCa}$	$\text{pH} = -0,5 \text{pCa}$
<i>Воды р. Дунай</i>											
17	0,017	7,90	2,80	3,04	0,88	2,92	1,20	0,98	0,70	1,52	6,40
26	0,012	8,85	3,06	1,74	0,86	2,87	1,35	0,95	1,03	1,34	7,32
28	0,012	8,90	3,05	1,76	0,89	2,86	1,38	0,96	1,04	1,34	7,48
<i>Воды р. Днестр</i>											
17	0,020	7,80	2,78	3,32	0,87	2,94	1,48	0,98	0,45	1,55	6,33
28	0,019	8,50	2,87	2,70	0,82	2,70	2,02	0,96	1,23	1,27	7,07
26	0,020	8,35	2,85	2,82	0,86	2,80	1,62	0,94	0,97	1,46	6,89
<i>Воды оз. Сасык</i>											
23	0,043	8,30	2,96	1,80	0,60	1,96	10,92	0,86	8,14	0,48	6,82
25	0,053	8,98	2,87	2,70	0,59	1,95	11,18	0,88	6,82	0,50	7,55
25	0,060	8,75	3,03	1,87	0,58	1,80	15,56	0,82	11,44	0,29	7,24
24	0,084	8,90	3,03	1,87	0,55	1,72	19,11	0,79	13,90	0,21	7,39

Исследованиями оросительных вод по термодинамическим показателям (см. табл. 3) установлено, что их значения близки к таковым в равновесных почвенных растворах орошаемых этими водами почв, а, следовательно, орошаемые почвы потенциально стремятся к термодинамическому равновесию с оросительными водами.

Этот вывод подтверждается результатами модельного опыта, в котором несколько навесок одной и той же почвы (южного неорошаемого чернозема) обрабатывали оросительными водами из разных источников, имеющих разную ионную силу и разные значения потенциалов (табл. 4).

4. Влияние оросительных вод из разных источников на интенсивность и степень сорбции натрия чернозема южного

Варианты опыта	Оросительная вода		Почва	
	μ , г · моль/л	$pNa =$ $=0,5 pCa$	$pNa =$ $=0,5 pCa$	поглощенный натрий, %
Исходная почва — чернозем южный неорошаемый			2,25	0,22
Почва + вода р. Дунай	0,02	1,61	1,60	0,80
Почва + вода Дмитриевского водохранилища	0,03	1,12	1,29	0,90
Почва + вода оз. Китай	0,09	0,62	0,64	4,2
Почва + вода оз. Сасык	0,07	0,51	0,58	5,8
Почва + вода р. Кагильник	0,10	0,26	0,28	10,0

Поскольку процесс ощелачивания зависит от соотношений компонентов углекислокальциевых систем в оросительных водах и орошаемых почвах, относящихся вследствие наличия обратной связи к саморегулируемым системам, то его можно отнести к „моментальным” процессам, которые в сильной степени проявляются, например, сразу после полива в жаркое время суток трансформированной водой. В межполивной период наблюдается нормализация кислотно-основных свойств, хотя в целом тенденция к ощелачиванию орошаемых почв остается.

Необратимое последствие ощелачивания — развитие процесса осолонования при орошении черноземных почв. Интенсивность развития определяется значением натриево-кальциевого потенциала. Как видно из данных таблицы 4, при достижении термодинамического равновесия в системе „почва — вода” в условиях модельного опыта одна и та же почва (южный чернозем) достигает различных значений натриево-кальциевого потенциала, свойственных соответственно тем водам, которыми обрабатывали навески.

Таким образом, сущность почвообразовательного процесса не будет изменяться, если значение потенциалов в оросительных водах не будет выходить за рамки граничных значений потенциалов, свойственных определенному генетическому типу почв.

В каждом конкретном случае вода не будет оказывать ощелачивающее действие, если известковый потенциал в ней будет меньше верхнего граничного значения такового в почве, т. е. $(pH = 0,5 pCa) \leq (p'H = 0,5 p'Ca)$ почвы.

Осолонцовывающее действие воды не будет проявляться, если натриево-кальциевый потенциал в воде $(pNa = 0,5 pCa)$ будет больше нижнего граничного значения потенциала $(p'Na = 0,5 p'Ca)$ в почве. Пригодными для орошения черноземных почв с точки зрения ощелачивания и осолонцевания следует считать воды, известковый потенциал которых $(pH = 0,5 pCa) \leq 6,5$, а натриево-кальциевый — $(pNa = 0,5 pCa) \geq 1,5$.

Таким образом, в качестве оценочных критериев для характеристики ощелачивающего и осолонцовывающего действия оросительных вод предлагается использовать не условные, экспериментально установленные соотношения одно- и двухвалентных катионов, а реальное, закономерное соотношение, свойственное определенному генетическому типу почв, предназначенных для орошения.

Применение единых критериев для оценки качества вод и состояния орошаемых почв позволяет повысить степень точности оценочных критериев и дает возможность на качественно новом уровне прогнозировать почвенные процессы.

Предложенная нами качественная характеристика оценки пригодности вод для орошения по учету свободной энергии связи катионов в электролите может быть дополнена при необходимости количественной, выраженной соотношением активных форм согласно формуле: $a_{Na}/\sqrt{a_{Ca}}$. Расчет активностей натрия устанавливают по таблице антилогарифмов согласно равенству

$$pNa = -\lg aNa;$$

$$pCa = -\lg aCa.$$

Термодинамический метод оценки позволяет объяснить причину ранее установленного факта — поверхностного ощелачивания и осолонцевания черноземов при орошении их низкоминерализованными водами за счет изменения термодинамики почв. Орошаемые почвы следует мелиорировать из расчета выравнивания потенциалов энергетических уровней до оптимальных, свойственных неорошаемому. Исследования показали, что внесение гипса или фосфогипса в несолонцеватые южные черноземы один раз в ротацию — эффективный метод регулирования кислотно-основных свойств и повышает уровень активности кальция.

Как показали исследования в условиях производственно-лабораторного опыта, наиболее эффективный метод мелиорации сасыкской воды — комплексный с применением кислования и гипсования, когда натриево-кальциевый потенциал в воде возрастает почти в два раза — от 0,52 в исходной до 1,0 — в мелиорированной. Трехкратный полив такой водой южного чернозема в наименьшей степени повлиял на термодинамические свойства почвы по сравнению с исходной и мелиори-

рованной другими способами водой оз. Сасык. Однако тенденция к осолонцеванию черноземных почв остается (табл. 5).

5. Влияние полива водой о. Сасык и мелиорированной водой на термодинамические характеристики южных черноземов (для горизонта 0...25)

Варианты исследования	pH	pCa	pNa	pH= =0,5 pCa	pNa= =0,5 pCa
Вода оз. Сасык (исходная)	8,98	2,87	1,95	7,55	0,52
Вода + кислота	7,56	2,82	1,98	6,35	0,57
Вода + фосфогипс (2 г/л)	8,50	2,22	1,92	7,39	0,81
Вода + кислота + фосфогипс	7,18	2,08	2,04	6,40	1,00
Неорошаемая почва (исходная)	7,00	2,40	3,20	5,80	2,00
Почва + вода оз. Сасык	7,25	2,46	2,10	6,10	0,87
Почва + вода + кислота	6,90	2,32	2,30	5,75	1,14
Почва + вода + фосфогипс	6,90	2,16	2,40	5,82	1,32
Почва + вода + кислота + + фосфогипс	6,65	2,10	2,45	5,32	1,40

При оценке качества мелиорированных вод оз. Сасык традиционными методами по соотношению концентрации натрия и кальция (по Буданову) гипсованные и мелиорированные комплексным способом воды оцениваются как вполне пригодные для орошения черноземов (отношение Na/Ca соответственно равно 0,6; 0,5).

Таким образом, для достоверного прогноза направленности почвенных процессов под влиянием орошения необходимо пользоваться термодинамическими критериями оценки качества вод с целью своевременного выявления и предотвращения возможных негативных последствий.

УДК 631.4 : 631.6

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ОРОСИТЕЛЬНЫХ ВОД НА ПЛОДОРОДИЕ ПОЧВ СЫРТОВОГО ЗАВОЛЖЬЯ

Н. М. РЕШЕТКИНА, доктор геолого-минералогических наук

В. А. БРАУН, кандидат сельскохозяйственных наук

*Всесоюзный научно-исследовательский институт
гидротехники и мелиорации*

Многолетний опыт орошения и выявленные при этом изменения свойств почв определили ряд требований к качеству поливных вод. В одних регионах, преимущественно в аридной зоне и на гипсованных почвах, качество воды оценивают на основании показателей общей минерализации и содержания ионов хлора. В других регионах, особенно на черноземных почвах, требования к качеству оросительных вод воз-

растают. При этом принимают во внимание не только ирригационную оценку воды, но и ее физико-химические взаимодействия с почвой, в первую очередь с ППК. Это связано с тем, что для черноземов характерны высокая емкость поглощения, обусловленная наличием в мелкодисперсной части минералов монтмориллонитовой группы, а также высоким содержанием гумуса и ила.

Интенсивное орошение черноземов оказывает существенное влияние не только на их солевой режим, но и на физико-химические свойства вследствие смещения гидрохимического равновесия в системе „почвенный раствор — почвенный поглощающий комплекс”, растворения и выноса кальция, гуминов и других питательных веществ. Отмечено (В. В. Егоров, Б. А. Зимовец, 1977), что на черноземных почвах стадия засоления при орошении может сопровождаться осолонцеванием, которое проявляется при более низкой концентрации солей в грунтовой воде и при меньшем содержании натрия в ППК, чем в неорошаемых почвах.

С целью исследования влияния качества поливных вод на солевой режим и водно-физические свойства почв были проведены модельные опыты с использованием вод различного химического состава. Эксперименты проводили в насыпных колонках и монолитах с ненарушенным сложением, традиционно используемых в почвоведении и мелиорации. Изучали закономерности изменения содержания водорастворимых солей и обменных оснований в почвенно-поглощающем комплексе обыкновенных и южных черноземов.

Влияние поливной воды благоприятного химического состава (аналог волжской воды) на солевой режим обыкновенных тяжелосуглинистых малогумусовых и маломощных черноземов Сыртового Заволжья исследовали на монолитах высотой 1 м и сечением 20X20 см с ненарушенным сложением (место отбора — водораздел орошаемого участка одного из совхозов Куйбышевской области).

В процессе эксперимента воду подавали нормой 5 тыс. и 20 тыс. м³/га, анализировали изменения водно-солевого режима черноземов под влиянием воды гидрокарбонатно-кальциевого состава.

Мелиоративная оценка качества воды не вызывает опасений ни с точки зрения возможности засоления, ни с точки зрения осолонцевания почв (табл. 1).

1. Химический состав поливных вод и их ирригационная оценка

Вода	Сумма солей, г/л	HCO ₃	Cl	SO ₄	Ca	Mg	Na	pH	SAR <10	SAR* <6
		мг·экв/л								
Гидрокарбонатно-кальциевая	0,4	2,0	1,0	2,5	5,0	0,5	0,5	7,0	0,4	0,7
Сульфатно-натриевая (пруд совхоза им. Ленина)	0,8	3,0	3,5	5,5	3,5	3,0	5,5	8,2	3,9	8,2
Грунтовая гидрокарбонатно-натриевая	0,5	7,0	0,7	2,2	2,9	2,1	5,0	7,2	4,3	—

2. Изменение содержания поглощенных оснований обыкновенных черноземов в результате инфильтрации поливной воды, мг · экв/100 г

Глубина см	Ca			Mg			Na		
	I	II	III	I	II	III	I	II	III
0...10	30,0	31,0	31,0	8,0	7,0	10,0	0,3	0,6	0,8
10...20	30,0	30,0	30,0	8,0	7,0	8,0	0,5	0,6	0,5
20...30	30,0	29,0	30,0	9,0	10,0	8,0	0,5	0,6	0,7
30...40	25,0	26,0	26,0	11,0	10,0	10,0	0,5	0,7	0,7
40...50	21,0	21,0	20,0	11,0	11,0	11,0	0,8	0,7	0,7
50...60	18,0	19,0	17,0	11,0	10,0	12,0	1,0	0,9	0,8
60...70	16,0	16,0	18,0	11,0	12,0	14,0	1,5	1,3	0,9
70...80	15,0	14,0	17,0	13,0	12,0	14,0	1,9	1,5	1,2
80...90	13,0	14,0	14,0	12,0	14,0	14,0	2,0	2,0	1,9
90...100	13,0	14,0	15,0	10,0	15,0	15,0	2,9	2,6	1,9

Примечание. I — исходное содержание; II — содержание после инфильтрации воды 5 тыс. м³/га; III — то же, 20 тыс. м³/га.

Результаты опыта (табл. 2) показывают, что с нарастанием объема профильтровавшейся воды через почвенные монолиты закономерно уменьшается общее количество солей в почве. Так, если исходное содержание солей в метровом слое было 0,126%, то после подачи воды 5 тыс. м³/га оно составило 0,115 %, а при норме 20 тыс. м³/га их содержание снизилось до 0,103%. Причем степень выноса отдельных ионов определяется растворимостью солей и химическим составом воды. Гидрокарбонатно-кальциевая вода оказывает мелиорирующее влияние при промывном режиме на ионно-сорбционные процессы, что способствует стабильности содержания иона кальция в ППК. Одновременно уменьшается содержание поглощенного натрия, особенно в нижних горизонтах. Однако даже такая вода, отвечающая требованиям инфильтрации больших объемов, способствует повышению в 1,5...2 раза общего содержания водорастворимого и на 0,3...0,5 мг · экв/100 г поглощенного натрия в верхнем (0...10 см) горизонте почвенного монолита. Несмотря на то что эти значения малы, они свидетельствуют об однозначности процесса.

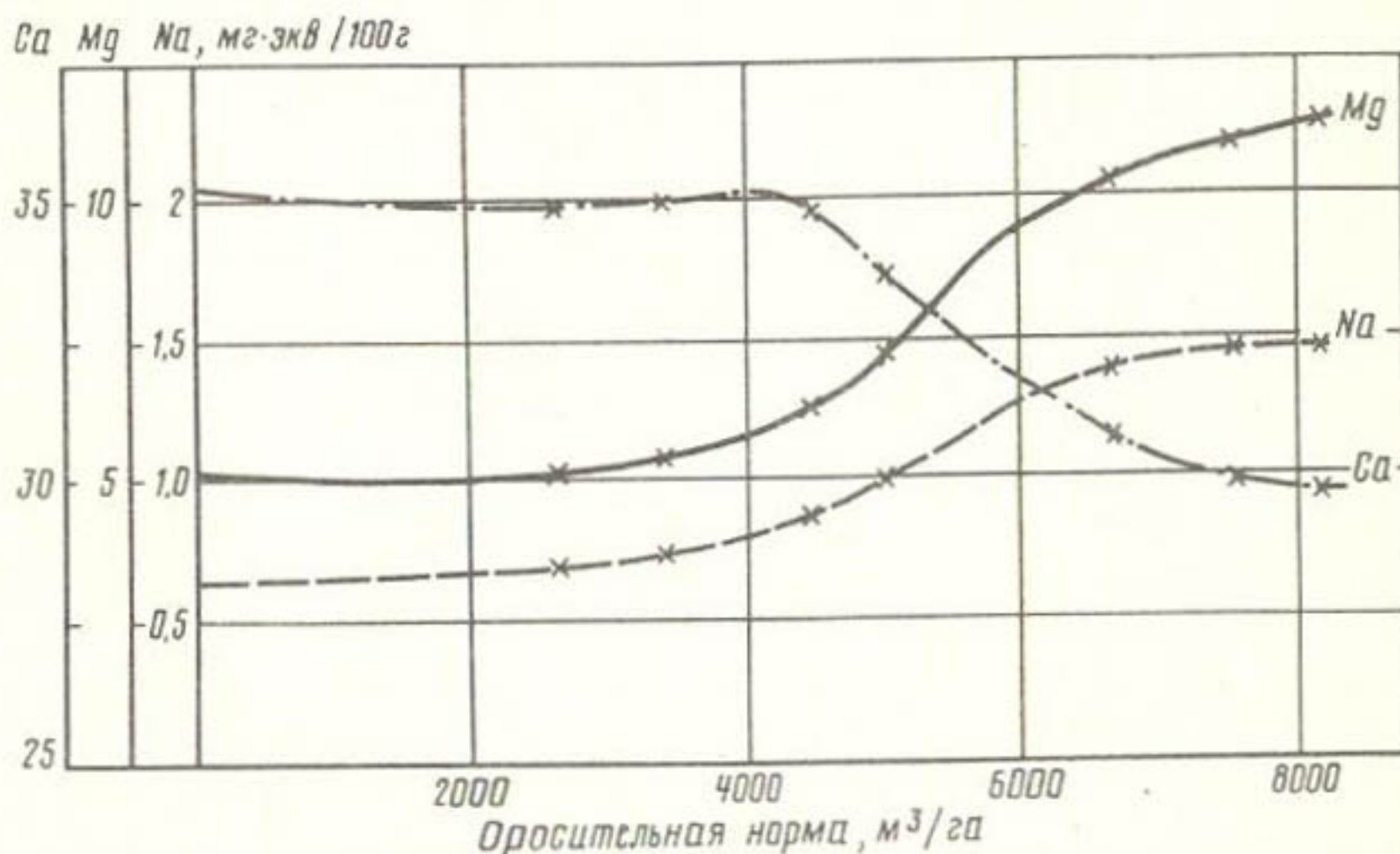
Одновременно наблюдаются закономерные изменения скорости фильтрации. Так, если при норме 5 тыс. м³/га она не изменяется, то при 20 тыс. м³/га снижается на 0,054 м/сут. Такой, явно отрицательный эффект, по-видимому, связан, с одной стороны, с пептизацией почвенных коллоидов под влиянием изменения физико-химического состава порогового раствора (на что указывает изменение водорастворимых солей и поглощенных оснований почв), с другой — с уменьшением количества средних и крупных пор под воздействием суффозии почвенных частиц.

Влияние орошения водами сульфатно-натриевого состава (из пруда) на процессы засоления и осолонцевания пахотного слоя обыкновенных черноземов исследовали в насыпных колонках. Для этого использовали виниловые трубки, в которые набивали одну и ту же почву до

плотности, равной плотности пахотного слоя естественного сложения. Воду подавали последовательно нарастающим объемом с последующим разбором колонок и анализом изменений водорастворимых солей и поглощенных оснований.

Установлено, что под влиянием химического состава воды в почве накопились гидрокарбонат- и сульфат-ионы. Содержание иона хлора не изменилось, но отмечено накопление иона натрия. Сухой остаток возрастал постепенно — по мере увеличения объема профильтровавшейся воды. Содержание водорастворимого натрия оставалось практически на уровне $0,31 \dots 0,36$ мг · экв/100 г при инфильтрации воды $4400 \text{ м}^3/\text{га}$, после чего подача дополнительного объема воды нормой $1000 \text{ м}^3/\text{га}$ привела к скачкообразному увеличению содержания водорастворимого натрия до $0,64$ мг · экв/100 г. Такое явление, по-видимому, связано с изменением физико-химического равновесия в почве и ослаблением ее буферной способности. Дальнейшее увеличение водоподачи (до $8400 \text{ м}^3/\text{га}$) привело к постепенному нарастанию концентрации натрия до $1,14$ мг · экв/100 г.

На фоне общего увеличения содержания солей отмечается существенное изменение обменных оснований в ППК. Под действием поливной воды поглощенный кальций уменьшается и одновременно повышается содержание магния и натрия (рисунок). Несмотря на то что содержание магния в водном растворе в процессе водоподачи не увеличивается, заметен его рост в ППК, что, по-видимому, связано с большой растворимостью солей магния.



Результаты модельного опыта (на почвенных колонках) изменения ППК при глубинном просачивании ($4,5$ тыс. $\text{м}^3/\text{га}$) воды сульфатно-натриевого состава ($0,8$ г/л) в слое $0 \dots 20$ см обыкновенных черноземов

Выявлено адекватное изменение содержания водорастворимого и поглощенного натрия при инфильтрации воды объемом 4400 м³/га. После взаимодействия с водой его содержание, равное 0,65 мг · экв/100 г, увеличилось до 15 мг · экв/100 г, а степень солонцеватости достигла 3,7% поглощенных оснований.

Соотношение кальция и магния в ППК после инфильтрации 6400 м³/га изменилось с 7 : 1 до 3 : 1.

Таким образом, исследования показывают, что вода прудов в Сыртовом Заволжье имеет неблагоприятный химический состав, который при невысокой общей минерализации (0,8 г/л) отрицательно действует на почву: повышается содержание водорастворимых солей, изменяются обменные основания в ППК при накоплении в нем натрия, что приводит к развитию процессов осолонцевания.

Южные черноземы – другой распространенный подтип почв Сыртового Заволжья. Образцы почв южных черноземов были отобраны на середине склона юго-восточной экспозиции по профилю разреза на глубину 1,4 м, шаг отбора 20 см. Эксперимент в насыпных колонках проводили методом фильтрации воды из расчета 4400 м³/га. Каждый слой почвы (высотой 20 см) подвергали воздействию воды гидрокарбонатно-натриевого состава (см. табл. 1) – модели для орошения опресняли грунтовыми водами. Выбор такого состава воды основывался на предположении, что в процессе орошения и дренажа произойдет опреснение грунтовых вод до 0,5 г/л с сохранением преимущественного натриевого состава.

Исследования показали (см. табл. 3, 4), что использование вод указанного состава приводит к накоплению токсичных солей. Слабое общее увеличение содержания водорастворимых солей отмечено в основном в верхних горизонтах почв, где исходное засоление не превышало 0,075 %.

После инфильтрации пресной воды общее содержание солей увеличилось до 0,103%. В связи с высоким содержанием в воде натрия по отношению к другим катионам наблюдается его увеличение в почве, приводящее к дестабилизации системы „почвенный раствор – почвенно-поглощающий комплекс”. Следствием является внедрение натрия в ППК, освобождение и вымывание обменного кальция. Этот процесс ярче выражен в верхних горизонтах, где исходное содержание поглощенного натрия менее 1,6 мг · экв/100 г, тогда как в нижних горизонтах отмечается преимущественное внедрение в ППК ионов магния.

Таким образом, исследования влияния пресных вод различного химического состава на черноземы Сыртового Заволжья подтвердили полученные для других районов страны данные о возможных негативных процессах, приводящих к деградации черноземов при использовании оросительной воды неблагоприятного состава.

При взаимодействии с водами сульфатно-натриевого состава (вода из пруда) ионно-сорбционные процессы идут в два-три раза интенсивнее в зависимости от уровня насыщенности растворов ионами натрия.

3. Изменение состава водорастворимых солей южных черноземов при взаимодействии с водой гидрокарбонатно-натриевого состава

Глубина, см	Сухой остаток, %	HCO ₃	Cl	SO ₄	Ca	Mg	Na
		мг · экв/100 г					
Исходное содержание							
0... 20	0,074	0,70	0,05	0,20	0,52	0,12	0,32
20... 40	0,079	0,70	0,05	0,16	0,49	0,26	0,16
40... 60	0,075	0,78	0,06	0,18	0,25	0,26	0,50
60... 80	0,089	0,95	0,05	0,27	0,15	0,23	0,91
80...100	0,113	1,10	0,05	0,39	0,10	0,26	1,21
100...120	0,138	1,10	0,11	0,54	0,10	0,13	1,52
120...140	0,225	1,00	0,50	0,54	0,18	0,23	2,73
Содержание после инфильтрации воды							
0... 20	0,103	1,14	0,05	0,25	0,67	0,19	0,58
20... 40	0,096	1,03	0,05	0,25	0,54	0,24	0,54
40... 60	0,107	0,97	0,08	0,41	0,40	0,35	0,65
60... 80	0,084	1,07	0,09	0,27	0,20	0,26	0,98
80...100	0,083	1,08	0,11	0,22	0,11	0,16	1,14
100...120	0,118	1,24	0,11	0,25	0,11	0,16	1,35
120...140	0,103	1,29	0,20	0,20	0,09	0,11	1,35

Осолонцевание охватывает прежде всего нижние горизонты, где сумма поглощенных оснований менее 25...30 мг · экв/100 г и насыщенность ППК кальцием 40...50% суммы катионов, постепенно захватывая верхние горизонты. Поэтому „эффект“ снижения плодородия в связи с деградацией черноземов проявляется как бы „неожиданно“, способов восстановления плодородия пока не разработано.

4. Изменение содержания поглощенных оснований южных черноземов при взаимодействии с водой гидрокарбонатно-натриевого состава, мг · экв/100 г*

Глубина, см	Поглощенные основания		
	Ca	Mg	Na
0... 20	41,26/40,11	2,05/ 3,20	0,39/0,95
20... 40	31,28/33,53	9,62/ 9,70	0,39/0,39
40... 60	31,50/24,90	13,89/ 9,70	0,73/1,47
60... 80	20,35/20,50	13,89/16,20	1,60/1,65
80...100	18,16/20,80	13,89/14,14	2,52/2,39
100...120	20,30/20,80	11,67/18,58	3,00/3,00
120...140	22,55/20,90	9,62/18,58	3,91/3,05

* В числителе — исходное содержание, в знаменателе — после инфильтрации воды.

Результаты модельных исследований, а также литературные данные свидетельствуют, что к черноземам, особенно Сыртового Заволжья, следует подходить весьма осмотрительно. На Высоких Сыртах обязательно строгое нормирование качества оросительной воды. Учитывая, что черноземы имеют благоприятный естественный водно-солевой режим, орошение не должно носить промывной характер (как в Средней Азии), т. е. требуется регулирование в пределах 0,7...0,8 ППВ (Сб. Русский чернозем. 100 лет после Докучаева. — М.: Наука, 1983; И. П. Айдаров,

1985). Вода должна иметь преимущественно кальциевый состав и минерализацию не выше 0,5 г/л. Волжская вода отвечает этим требованиям, однако без специальных мер трудно ожидать, что ее качество сохранится в процессе транспортировки к основным массивам орошения, после того как многие десятки километров она пройдет путь в грунтах разной засоленности.

Это еще одна из важных причин необходимости надежной гидроизоляции открытой подводящей сети.

Особое внимание также должно быть уделено развитию происходящих в воде летом микробиологических процессов, которые приводят к повышению общей щелочности оросительной воды.

Очевидно также, что периодическое внесение в почву небольших доз гипса, органо-минеральных удобрений и общая высокая агрокультура будут залогом сохранения плодородия черноземов.

УДК 631.445.56:631.02.(575.1)

ВЛИЯНИЕ ОРОШЕНИЯ СЛАБОМИНЕРАЛИЗОВАННЫМИ ВОДАМИ НА ЛУГОВЫЕ ПОЧВЫ УЗБЕКИСТАНА

Т. П. ГЛУХОВА
З. Ж. САБИТОВА

*Институт почвоведения и агрохимии
Академии наук УзССР*

Обеспечение орошаемых земель поливной водой хорошего качества и в необходимом количестве приобрело в последнее время для Узбекистана очень большую актуальность. Ежегодно на сельскохозяйственные нужды безвозвратно расходуется 95 км³ воды. Ее источники — реки бассейнов Сырдарьи и Амударьи. Сейчас водные ресурсы Сырдарьи полностью исчерпаны. В бассейне Амударьи есть еще резервы при условии многолетнего регулирования ее стока.

Водные ресурсы республики истощились вследствие значительного расширения орошаемого фонда, вовлечения в сельскохозяйственный оборот естественных засоленных земель, требующих для освоения грузных промывных поливов, а также усиления дренированности орошаемых территорий и интенсификации на них рассолительных мероприятий.

Кроме общеклиматических причин, недостаток воды может быть обусловлен состоянием оросительных систем. Часть из них требует реконструкции — расширения, очистки, армирования, установки более совершенных водоотделительных устройств. Например, Шахрудская система в Бухарской области.

В создавшейся ситуации необходимо использовать все имеющиеся в регионе водные ресурсы, пригодные для орошения. Реальным их

пополнением служат воды дренажных систем. Их объемы значительны. Так, Туркмения отводит 5 млрд м³, а Узбекистан — до 20 км³/год. Но качество этих вод различно. В большинстве своем они содержат легкорастворимые соли.

Степень минерализации дренажных вод зависит от давности освоения территории. В районах старого орошения они преимущественно слабоминерализованные. В Узбекистане это воды, отводимые из Ферганской долины, старой зоны Голодной степи, Бухарского и Хорезмского оазисов. Из вновь освоенных территорий обычно поступают средне- и сильноминерализованные воды. Примером таких территорий могут служить зоны нового орошения Голодной и Каршинской степей.

В Узбекистане орошение ведется в восьми крупных регионах, значительно различающихся по почвенно-мелиоративным и геохимическим особенностям. Это нашло свое отражение и в химизме дренажных вод. Так, для вод Ферганской долины характерно небольшое содержание хлоридов и преобладание сульфата натрия, а в водах Бухарского оазиса при низких концентрациях хлорида натрия доминирует сульфат магния. Повышенной хлоридностью отличаются подземные воды Голодной степи и Шерабадской депрессии. Такое разнообразие химизма необходимо учесть при разработке ГОСТа на воду. Для этого надо использовать имеющиеся в республике шкалы оценок минерализованных вод для ирригации.

Возможность использования дренажных вод изучают в Узбекистане многие научные и проектные учреждения. Однако в их рекомендациях нет единства.

Институт почвоведения и агрохимии АН УзССР много лет изучает процессы, происходящие в почве при замене пресной оросительной воды минерализованной. Опыты проведены в нескольких регионах республики, в том числе в старой зоне орошения Голодной степи.

Эта территория орошается более 70 лет. Основным источником поливной воды — Кировский канал, берущий начало из Сырдарьи. До середины 50-х годов воды было достаточно. Но в связи с освоением новых земель, часто сильнозасоленных, ее стало не хватать, так как оросительные системы не реконструированы. Тогда стали использовать слабоминерализованные воды отдельных коллекторов. Так, интенсивно откачивали воды из коллекторов Кендык и Койботкан, дренажный сток из Шурузякского коллектора использовали слабее. Некоторые освоенные дренажной водой засоленные земли Шурузякского понижения до настоящего времени поливают этой водой. Давность орошения их, таким образом, достигает 25..30 лет.

За двумя такими участками ведутся наблюдения. Воду берут из коллекторов Кендык и Шурузяк. Вода в них слабоминерализованная, но различается по химическому составу. В Кендыке она сульфатная с высоким содержанием сульфатов щелочноземельных катионов, особенно сульфата магния, в Шурузяке — хлоридно-сульфатная с концентрацией хлорида натрия в два раза большей, чем в Кендыке. Щелочность

1. Содержание сухого остатка и солей в дренажной воде г/л

Полив	Сухой остаток	HCO_3'	Cl'	SO_4''	Ca''	Mg''	Na'
<i>Коллектор Кендык</i>							
Первый	2,130	0,203	0,191	1,021	0,200	0,101	0,266
(16...17.06)	2,570	0,250	0,210	1,423	0,310	0,122	0,250
Второй	2,270	0,237	0,217	1,164	0,230	0,115	0,305
(16...18.07)	2,190	0,207	0,227	1,119	0,230	0,109	0,288
	2,360	0,244	0,210	1,143	0,230	0,122	0,280
Третий	2,380	0,201	0,210	1,212	0,212	0,155	0,331
(27...29.07)	2,410	0,201	0,203	1,262	0,242	0,134	0,283
	2,430	0,213	0,203	1,253	0,240	0,134	0,279
Четвертый	2,868	0,207	0,203	1,469	0,320	0,176	0,300
(17...18.08)	2,940	0,225	0,215	1,555	0,230	0,199	0,368
<i>Коллектор Шурузяк</i>							
Первый	3,230	0,195	0,530	1,448	0,270	0,146	0,520
(19...20.06)	2,910	0,189	0,483	1,300	0,260	0,122	0,470
Второй	2,890	0,207	0,427	1,300	0,260	0,140	0,391
(6...8.07)	2,980	0,195	0,420	1,328	0,260	0,140	0,416
	2,870	0,183	0,406	1,329	0,260	0,146	0,393
Третий	2,880	0,189	0,420	1,349	0,300	0,122	0,413
(21...22.07)	3,090	0,262	0,455	1,332	0,290	0,140	0,456
Четвертый	3,200	0,140	0,455	1,534	0,250	0,152	0,461
(17...18.08)	2,940	0,219	0,476	1,304	0,220	0,128	0,522

вод обоих коллекторов низкая, так как в них высоко содержание гипса. В поливной период минерализация и химический состав дренажных вод меняются незначительно (табл. 1).

Как показали ранее проведенные исследования, орошение такими водами вызывает преимущественно слабое засоление почв.

Почва, орошаемая дренажной водой Кендыка, была луговой, слабо-засоленной, с небольшим количеством гипса. Пахотный и подпахотный горизонты ее были тяжелосуглинистыми, а нижерасположенная толща — среднесуглинистой. Среди фракций механического состава преобладала крупная пыль, составлявшая 30...50% массы почвы. На участке возделывали хлопчатник. Состояние растений в течение вегетационного периода было хорошим. Их высота к созреванию в среднем составляла 106,2 см, а число коробочек — 6...7 шт. на куст. Урожай хлопка-сырца был 3,06 т/га. Как видно из данных таблицы 2, поливы слабоминерализованными водами коллектора Кендык не привели к угнетению растений. Это следствие слабовыраженного соленакопления в корнеобитаемой толще.

До начала орошения почва была достаточно хорошо промыта. В пахотном горизонте наблюдалась слабая аккумуляция хлорида натрия — соединения очень подвижного. Его концентрация находилась в пределах, позволяющих по последним проработкам Средазгипроводхлопка получить нормальные всходы хлопчатника. И, действительно, они были получены без особых осложнений.

В период проведения поливов засоление держалось на уровне очень слабого и, конечно, не могло повлиять на состояние хлопчатника. В кон-

2. Содержание солей в метровом слое луговой почвы,
поливавшейся дренажной водой коллектора Кендык, г/л

Период наблюдения	Глубина см	Сухой оста- ток	HCO ₃ '	Cl'	SO ₄ ''	Ca''	Mg''	Na'
До начала поливов	0... 20	0,940	0,028	0,031	0,520	0,155	0,037	0,031
	20... 45	0,975	0,023	0,017	0,566	0,180	0,024	0,038
	45... 60	1,350	0,017	0,013	0,819	0,280	0,043	0,002
	60...100	1,140	0,017	0,014	0,697	0,235	0,043	0,003
В период вегетации	0... 20	0,824	0,021	0,014	—	—	—	0,027
	20... 40	0,792	0,023	0,017	—	—	—	0,028
	40... 60	1,174	0,017	0,014	—	—	—	0,026
	60...100	0,936	0,016	0,013	—	—	—	0,027
После окончания поливов	0... 25	1,080	0,021	0,064	0,633	0,190	0,037	0,043
	25... 45	0,616	0,022	0,014	0,354	0,104	0,018	0,925
	45... 60	1,340	0,015	0,013	0,817	0,248	0,028	0,033
	60...100	0,760	0,018	0,013	0,419	0,133	0,012	0,038

це вегетации содержание солей в почве несколько увеличилось, в основном за счет хлорида натрия. Накопления других легкорастворимых солей не отмечено.

Особенность засоления почвы, поливавшейся водой коллектора Кендык, — присутствие гипса. В пахотном и подпахотном горизонтах его было немного, но влияние на геохимическую обстановку почвы он, безусловно, оказывал. В почвогрунтах присутствовал в небольших количествах сульфат магния. Стабильное его содержание в водных вытяжках определяется наличием магния в почвенном поглощающем комплексе.

Другой участок поливали дренажной водой из Шурузяка. Почва на участке также была луговой гипсоносной, слабозасоленной, пахотный и подпахотный горизонты — тяжелосуглинистые. Ниже шли средние и легкие суглинки. Так же как и на Кендыкском участке, среди фракций механического состава преобладала крупная пыль.

Состояние посева хлопчатника было удовлетворительным, а местами из-за солевых пятен — плохим. Высота растений в среднем составляла 60,3 см, а число коробочек — 4..5 шт. на куст, урожайность — 1,82 т/га. Таким образом, поливы водой коллектора Шурузяк привели к некоторому угнетению хлопчатника и к заметному по сравнению с другим участком снижению урожая.

Как и следовало ожидать, орошение дренажными водами Шурузякского коллектора привело к усилению засоления почвы. До начала поливов она была слабозасолена с повышенным содержанием хлора, что свидетельствует о недостаточной осенне-зимней промывке (табл. 3). В период вегетации и особенно к ее концу количество солей в почве стало значительным, хотя засоление согласно классификации оставалось слабым.

Высокая концентрация в дренажной воде хлора привела к значительному накоплению хлоридов в почве. Их содержание за поливной период увеличилось в два раза, что отрицательно сказалось на хлопчат-

3. Содержание солей в метровом слое луговой почвы, поливавшейся водой коллектора Шурузяк, г/л

Период наблюдения	Глубина, см	Сухой остаток	HCO_3'	Cl'	SO_4''	Ca''	Mg''	Na'
До начала орошения	0... 20	1,236	0,021	0,046	0,710	0,230	0,046	0,026
	20... 40	1,260	0,023	0,042	0,720	0,240	0,033	0,042
	40... 60	1,290	0,021	0,038	0,642	0,175	0,058	0,028
	60...100	1,465	0,016	0,038	0,876	0,280	0,096	0,041
В период вегетации	0... 20	1,308	0,021	0,078	—	—	—	0,115
	20... 40	1,624	0,016	0,064	—	—	—	0,135
	40... 60	1,564	0,011	0,059	—	—	—	0,102
	60...100	1,358	0,013	0,042	—	—	—	0,077
После окончания поливов	0... 20	1,493	0,021	0,095	0,876	0,225	0,049	0,137
	20... 40	1,795	0,021	0,098	1,000	0,245	0,043	0,187
	40... 60	1,710	0,012	0,074	1,002	0,270	0,037	0,152
	60...100	1,585	0,011	0,057	0,940	0,280	0,027	0,118

нике. Рассмотренные данные четко показывают, что для правильной оценки качества воды одного значения минерализации, как часто делают в производственных условиях, мало. Необходимо учитывать особенности химического состава воды и почвы. Для зоны гипсонакопления, к которой относились опытные участки, следует в первую очередь обращать внимание на содержание хлора и магния.

Таким образом, следствием орошения дренажными водами во всех случаях было засоление почвогрунтов. Оно зависело от минерализации и химического состава воды. Засоление почвы поддается регулированию путем создания промывного режима, в результате которого его можно стабилизировать на уровне слабого. При этом можно получать удовлетворительные урожаи. В возможности регулировать засоление и держать продуктивность почв на определенном уровне продолжительное время состоит одна из основных особенностей среднеазиатских почв, позволяющих длительно использовать минерализованные воды на орошение.

Для создания промывного режима определяющее значение имеет водопроницаемость почвы. Поэтому под поливы дренажными водами не рекомендуется отводить тяжелые, плохо фильтрующие почвы и почвы с водонепроницаемыми прослоями. Однако под влиянием орошения минерализованными водами водопроницаемость снижается, что обусловлено изменениями в составе поглощенных оснований. Даже в гипсоносных почвах идет частичная замена обменного кальция преимущественно на магний, содержание которого достигает 50...60% емкости обмена. Одновременно повышается доля одновалентных катионов. В почвах опытных участков она составляла 8...25%.

На фоне засоления меняется доступность для растений элементов питания. Хлопчатник на опытных участках получал только минеральные удобрения. Азот вносили в виде аммиачной селитры, фосфор — в виде аммофоса, калий не давали, так как почва была им обеспечена (табл. 4).

4. Содержание гумуса и элементов питания в луговых почвах, орошаемых водой из коллекторов Кендык и Шурузяк

Глубина, см	Кендык				Шурузяк			
	гумус, %	азот (валовой), %	усвояемые формы, мг/кг		гумус, %	азот (валовой), %	усвояемые формы, мг/кг	
			фосфор	калий			фосфор	калий
0... 20	1,28	0,092	15,2	412	1,51	0,109	21,2	434
20... 40	1,18	0,084	9,2	373	1,58	0,107	12,6	386
40... 60	0,52	0,046	1,7	347	0,96	0,070	3,2	270
60...100	—	—	2,3	383	—	—	Следы	176

Кроме того, калий вносился с дренажной водой. Поступление его составляло 45...60 кг/га за поливной период. Вносимые азотные удобрения интенсивно вымывались в грунтовые воды, в которых концентрация нитрат-иона достигала 70 мг/л.

Под влиянием длительного орошения дренажными водами количество гумуса в почвах уменьшается вследствие увеличения его подвижности и вымывания в нижние горизонты. В составе гумуса возрастает группа свободных фульвокислот, а количество гуминовых кислот уменьшается, причем растет нерастворимый осадок.

Из элементов питания наибольший интерес представляет поведение фосфора. По содержанию легкодоступных растениям фосфатов почвы участков, орошаемых дренажными водами, должны быть отнесены к категории низкообеспеченных (см. табл. 4). Однако они имеют большие резервы фосфора, которые могут сравнительно быстро перейти в легкодоступную форму. По данным последовательных углеаммонийных вытяжек такой резерв значителен (табл. 5).

5. Запасы усвояемого фосфора в почвах

Вода из коллекторов	Глубина, см	Общие запасы P_2O_5 , мг/кг	% $(NH_4)_2CO_3$ от общих запасов по отдельным вытяжкам			
			1-я	2-я	3-я	4-я
Кендык	0... 20	67,6	35	28	18	19
	20... 40	44,3	30	27	22	21
	40... 60	42,2	51	27	22	Следы
	60...100	12,2	48	27	25	„
Шурузяк	0... 20	42,4	45	30	25	„
	20... 40	27,6	32	34	34	„
	40... 60	17,3	54	23	23	„
	60...100	9,3	48	26	26	„

Использование для орошения более хлоридных вод (оз. Шурузяка) привело к снижению запасов усвояемых фосфатов, что мы связываем с большей растворимостью карбоната кальция и переходом кальциевых фосфатов в более основные формы. Однако мобильность доступных фосфатов выше в почве Шурузякского участка, что также может быть результатом большего содержания в ней хлорида натрия, который, таким образом, оказывает на фосфаты двойное действие.

Фосфаты, извлекаемые слабым раствором углекислоты, рассматривают как ближний резерв усвояемого фосфора (Ф. В. Чириков). Их содержание выше, чем в последовательных вытяжках углекислого аммония (табл. 6).

6. Содержание фосфора в луговых почвах по данным различных растворителей, мг/кг

Вода из коллекторов	Глубина см	Р ₂ О ₅ извлекаемый		
		Н ₂ СО ₃	СН ₃ СООН	НСl
Шурузяк	0... 20	179,2	668,7	1496,5
	20... 40	109,1	462,5	1501,8
	40... 60	97,0	296,9	1128,3
	60...100	119,1	358,7	1049,8
Кендык	0... 20	187,9	750,0	1618,6
	20... 40	181,8	700,0	1533,2
	40... 60	122,6	500,0	1271,2
	60...100	104,4	306,2	1388,0

Почвы, поливаемые из коллектора Шурузяк, были несколько беднее всеми формами фосфатов, фракционируемых по схеме Ф. В. Чирикова. Из метрового слоя почвы, поливаемой водой Кендыка, уксуснокислой вытяжкой, содержащей преимущественно фосфаты кальция, извлекалось 512,5 мг Р₂О₅ на 1 кг почвы, а из почвы Шурузякского участка — 429,1 мг/кг. Солянокислая вытяжка из этого же слоя содержала соответственно 1440 и 1245 мг/кг Р₂О₅. Таким образом, при орошении минерализованными водами поглощение фосфора почвами усиливается в сторону необратимых процессов, особенно в присутствии повышенных концентраций в воде хлорида натрия. Роль этого соединения в связывании подвижных форм фосфора можно наглядно проследить по данным модельного опыта с чистыми солями. Так, при длительном взаимодействии почв с фосфорными удобрениями (около 300 сут) содержание наиболее подвижных, усвояемых растениями форм фосфора снижалось в присутствии хлорида натрия в 7 раз, сульфата натрия — в 4..5 раз, сульфата магния — в 1,7 раза по сравнению с незасоленным фоном.

В заключение отметим, что изучение последствий систематических поливов дренажными водами показало их значительное воздействие на свойства, продуктивность почв и на урожайность хлопка. Эти исследования приобретают еще большую значимость в условиях, когда орошение минерализованными водами вышло за рамки использования дренажного стока. В настоящее время более половины орошаемых земель Узбекистана поливают слабоминерализованными речными водами (минерализация 1...2 г/л). С ними на поля поступают большие количества солей, что требует изучения солевого баланса орошаемых территорий и выработки соответствующих мелиоративных мероприятий. Отсюда следует, что круг вопросов, связанных с использованием минерализованных вод, расширяется и постоянно находится в поле зрения почвоведов и мелиораторов.

СОСТОЯНИЕ И ТЕНДЕНЦИЯ ИЗМЕНЕНИЯ КАЧЕСТВА ВОДЫ ИСТОЧНИКОВ ОРОШЕНИЯ В УССР

И. И. ТИМЧЕНКО, кандидат сельскохозяйственных наук

И. Г. ЕНАКИ, кандидат сельскохозяйственных наук

Е. М. ШМАТЬКО

Институт гидробиологии АН УССР

Общая характеристика источников орошения в УССР обусловлена естественно-историческим развитием гидрографической сети, а также хозяйственной деятельностью в бассейнах рек.

По течению рек минеральный состав и актуальная кислотность воды меняются от пресных до вод с повышенным содержанием солей; от слабокислой среды до нейтральной со сдвигом в сторону щелочной и вновь в сторону подкисления вод в зонах заболачивания устьевых комплексов рек. Основные черты трансформации речных систем в условиях антропогена: сокращение стока в устьях; зарегулирование стока; дивергенция гидрографов с образованием каналов; увеличение распаханности земель и заиление русла продуктами водной эрозии; повышение базиса эрозии; осушение и орошение земель с активизацией процессов выветривания почвогрунтов; качественное истощение водных ресурсов под влиянием сброса сточных вод и др.

Трансформация речных систем под влиянием хозяйственной деятельности изменяет естественные процессы формирования качества воды источников орошения. Однако изменение качества воды в руслах основных рек с точки зрения ирригации остается достаточно толерантным под воздействием поглотительной способности почв и донных отложений, высокого уровня продукционно-деструкционных процессов, нейтрализации кислотно-щелочных агентов гидробионтами, общей устойчивости экосистем крупных речных бассейнов к внешним воздействиям.

Анализ изменения качества источников орошения в руслах основных рек УССР (Днепра, Днестра, Южного Буга, Дуная, Северского Донца) показывает, что с 1956 г. (т. е. до начала крупномасштабного орошения) повсеместно увеличивается рН, минерализация воды, ее агрессивность по отношению к бетону и металлам, способность оросительной воды вызывать засоление, осолонцевание почв, а также обрастание поверхностей трубопроводов и арматуры. Наиболее выражены отрицательные свойства оросительных вод в зоне нового и перспективного орошения (Дунай-Днестровское и Днепровско-Бугское междуречья). В 2000–2014 гг. тенденция ухудшения качества вод источников орошения в руслах основных рек сохранится.

Оценка состояния качества воды источников орошения была проведена по ключевым створам, расположенным вблизи крупных водозабо-

ров оросительных систем на основных реках и водохранилищах. Расчеты выполняли для четырех периодов (уровней): I — 1955—1969 гг. — относительный гидрохимический фон; II — 1970—1984 гг. — современный уровень состояния водоемов; III — 1985—1999 гг. — уровень состояния на ближайшую перспективу; IV — 2000—2014 гг. — уровень состояния на отдаленную перспективу. Прогноз концентрации компонентов и критериев качества воды составлен на основании анализа временных гидрохимических рядов, представленных линейными уравнениями ($y = ax \pm b$). Прогнозируемые вероятные величины могут быть близки к действительным при сохранении тенденции роста антропогенных и гидробиологических факторов, которые действовали в 1955—1984 гг.

Для оценки качества оросительных вод использовали SAR — натриевое адсорбционное отношение; ESP — коэффициент обменного натрия; I_S — индекс насыщения Ланжелье; I_R — индекс Ризнера. При $SAR \leq 6$ и $ESP \leq 9$ вода считается пригодной для орошения; при $I_S < -0,5$ — вызывает коррозию; при $I_S > +0,5$ вызывает биообрастание конструкций оросительных систем. При интервале $I_S = 6...7,5$ вода считается безопасной для систем орошения; снижение I_R до 5...6 ведет к слабому, а до 4...5 — к интенсивному образованию карбонатных отложений в системах орошения. Повышение I_R более 7,5 вызывает коррозию материалов при орошении (табл. 1).

Несмотря на то что воды основных рек УССР на перспективу остаются пригодными для орошения почв всех типов, при их использовании заметно осложняется эксплуатация оросительных систем. Исследования скорости обрастания материалов труб и арматуры оросительных систем в условиях орошения водами Каховского водохранилища (Е. М. Шматько, 1986) показали, что уже на вторые сутки экспонирования скорость биообрастания составляла для индикаторных стекол $1,2 \text{ г/м}^2 \cdot 100 \text{ г}$, полиэтилена труб — 0,8, полиэтилена капельниц — 1,04, резины капельниц — $12,5 \text{ г/м}^2 \cdot 100 \text{ г}$. При этом фактический расход воды в системах капельного орошения в течение первых двух лет эксплуатации снижался в капельницах на 27...32% и составлял в среднем 3,5...3,7 л/ч, в полиэтиленовых трубопроводах — на 23...31%. Осадок, образующийся в трубопроводах и капельницах, на 23,7% состоял из органических и на 76,3% из минеральных веществ, в которых на долю железа приходилось 12,5%. Наметившаяся тенденция к усилению агрессивности воды снижает надежность оросительных систем и требует все большей защиты оросительных сетей и арматуры от коррозии.

В малых реках урбанизированных районов УССР качество поливных вод заметно ухудшается. Наиболее напряженная ситуация складывается в Донбассе, где насчитывается свыше 230 рек и речек, многие из которых в засушливые периоды года пересыхают и обеспечивают водой только половину потребностей промышленного производства (Т. Л. Рева, Л. И. Бондаренко, 1976).

В результате изменений качества атмосферных осадков, гидрогеологической обстановки на орошаемых массивах, количества и со-

1. Изменение основных показателей качества поливных вод
в руслах рек СССР

Река и створ	Расчетные уровни	pH	Сумма солей, мг/л	SAR	ESP	I_S	I_R
Дунай, ниже г. Килия	I	8,10	305	0,62	0,97	+0,30	7,56
	II	8,20	406	0,68	0,99	+0,32	7,54
	III	8,30	507	0,73	1,04	+0,39	7,52
	IV	8,40	608	0,77	1,12	+0,45	7,48
Днестр, пос. Маяки	I	7,60	496	0,95	1,70	+0,10	7,64
	II	7,80	578	1,59	2,90	+0,20	7,44
	III	8,00	660	2,10	3,80	+0,44	7,12
	IV	8,20	742	2,50	4,50	+0,64	6,92
Южный Буг, ниже пос. Новая Одесса	I	7,60	951	2,44	4,40	+0,10	7,64
	II	7,65	1276	3,68	7,00	+0,15	7,30
	III	7,70	1366	4,75	9,50	+0,32	7,05
	IV	7,75	1458	5,70	11,70	+0,45	6,91
Днепр, Каховское во- дохранилище у г. Но- вая Каховка	I	7,30	325	1,88	3,00	0,01	7,80
	II	7,52	416	3,00	4,20	-0,10	7,90
	III	7,75	458	2,90	4,10	-0,20	8,20
	IV	7,97	508	3,90	3,90	-0,30	8,70
Северный Донец, ни- же г. Рубежное	I	7,42	1183	2,20	4,40	+0,35	7,10
	II	7,60	1275	2,14	4,20	+0,53	6,80
	III	7,78	1366	2,12	4,40	+0,69	6,60
	IV	7,95	1458	2,10	4,60	+0,77	6,50

става сточных вод, распашки земель наблюдается непрерывный рост минерализации и ухудшение оросительных свойств речных вод.

Исследования качества воды существующих и проектируемых водозаборов оросительных систем (И. И. Тимченко, С. В. Пельтихин, И. М. Соболева, В. Г. Гандзюк, 1983) показывают, что в Донбассе нет малых рек с пресными водами, и лишь р. Каменка, минерализация вод в которой около 1,3 г/л, может считаться рекой с удовлетворительными мелиоративными свойствами. Основная группа малых рек Донбасса характеризуется минерализацией 1,3...2 г/л, высоким содержанием сульфатов, хлоридов и бикарбонатов и поэтому нуждается в улучшении минерального состава вод. Значительная группа рек характеризуется содержанием водорастворимых солей >2 г/л, неблагоприятным соотношением одновалентных и двухвалентных катионов ($Na^+ : Ca^{2+} > 1$). Особенно неблагоприятны показатели качества воды в р. Лозовая (минерализация >3 г/л), в которую поступают большие количества шахтных и сточных вод промышленных предприятий.

Химический состав загрязненных вод Донбасса в местах водозаборов на оросительные системы (среднее за три года) колеблется в пределах, мг/л:

Ca	Mg	K ⁺	Na ⁺	(Na ⁺ + K ⁺)
20...267	27...174	3...17	185...350	190...3339
CO ₃	SO ₄	Cl	Минеральный остаток	
158...482	118...824	236...1175	1241...3369	

В отличие от других районов страны, где сброс сточных вод в реки увеличивает их минерализацию, в Донбассе наблюдается разбавление и снижение минерализации речных вод биологически очищенными городскими стоками при водоснабжении городов пресными водами из р. Днепр. Неблагоприятные мелиоративные показатели воды характерны также для малых рек Причерноморья и Крыма.

В лиманно-устьевых комплексах рек Причерноморья происходит засоление вод. Антропогенное воздействие усиливает и значительно сокращает во времени естественные процессы деградации устьевых областей под влиянием вод Черного моря. Так, в Днестровском лимане за последние 20 лет заметно возросла минерализация и произошла смена класса воды от гидрокарбонатно-кальциевого до хлоридно-натриевого (табл. 2).

2. Изменение минерализации воды Днестровского лимана для лет 75%- и 95%-ной обеспеченности, г/л (средние значения)

Год	Обеспеченность стока %	Часть лимана			Лиман в целом
		северная	средняя	южная	
1977	75	2,39	4,56	8,48	4,05
	95	3,34	5,69	9,85	5,07
1980	75	2,42	4,53	8,55	4,71
	95	3,69	6,27	11,04	5,68
1985	75	3,16	5,58	9,79	4,85
	95	4,03	6,92	11,58	6,34
1990	75	3,36	5,88	10,22	5,20
	95	4,13	7,06	11,71	6,47
2000	75	3,87	6,63	11,02	5,93
	95	4,49	7,55	12,17	6,94

Для получения ирригационно-пригодных вод в Причерноморских лиманах существуют проекты их реконструкции с целью создания пресноводных водохранилищ. Эти проекты наиболее дискуссионны. Основное препятствие при создании водохранилищ в лиманно-устьевых комплексах Причерноморья — тенденция к ухудшению качества в них воды в результате прекращения обмена с морскими водами и прогрессирующего накопления загрязняющих веществ, поступающих со стоком. Реконструкция Причерноморских лиманов под водохранилища (как показал опыт распреснения лимана Сасык) ведется довольно медленно. Так, в Сасыкском водохранилище через шесть лет после его сооружения минерализация воды понизилась с 15,4 до 1,2 г/л, однако она остается хлоридно-натриевой и представляет опасность засоления и осолонцевания орошаемых почв (табл. 3).

В СССР источниками орошения служат преимущественно поверхностные водоемы и водотоки — реки, а также каналы, водохранилища, пруды и озера, иногда подземные воды. Сточными водами орошают 3% от площадей орошения, и основной их объем поступает в поверх-

3. Изменение содержания главных ионов, мг/л,
и минерализация воды, г/л, лимана Сасык (до перекрытия)
и Сасыкского водохранилища (средние значения)

Год	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺ + +K ⁺	HCO ₃ ⁻	CO ₃ ²⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	Σ _и	Индекс воды
1978–1979	227	595	4636	220	18	1564	8157	15.4	Cl ^{III} Na
1980	105	209	1381	164	25	660	2289	5,1	Cl ^{III} Na
1981	72	82	492	203	23	406	628	1,9	Cl ^{III} Na–S, Cl ^{II} Na, Ca
1982	75	92	479	186	15	475	605	1,9	Cl ^{II} Na
1983	64	66	305	171	16	298	393	1,3	Cl ^{III} Na–Cl ^{II} Ca
1984	86	99	538	192	19	511	700	2,1	Cl ^{III} Na–Cl ^{II} Na
1985	50	80	300	146	17	350	657	1,5	Cl, SNa–S ^{II} Na
1986	60	70	290	170	15	300	295	1,2	Cl ^{II} Na–S ^{II} Na

ностные воды. При этом взаимодействие сточных и природных вод характеризуется состоянием „депной реакции” – сброс сточных вод ухудшает качество водоисточника, что ведет к потреблению воды и образованию жидких отходов более худшего качества.

По характеру доминирующих загрязнений сточные воды подразделяются нами на три группы: *А* – минеральные соли, *Б* – биогенные вещества, *В* – токсические примеси. После соответствующего кондиционирования их можно широко использовать для орошения. Оросительные свойства вод природных источников и сточных вод в условиях антропогенного пресса и совершенствования работы очистных сооружений выравниваются (табл. 4).

Нами выделены оросительные свойства сточных вод, которые необходимо учитывать при их использовании: 1) степень опасности засоления и осолонцевания почв; 2) степень загрязнения почв и почвенно-грунтовых вод; 3) способность повышать продуктивность растений или оказывать на них токсическое воздействие; 4) зональная и антропозональная эффективность орошения; 5) способность снижать качество продукции; 6) агрессивность по отношению к бетону и металлам; 7) наличие механических помех для оросительных сетей.

В зоне черноземов орошение сточными водами в отличие от орошения пресными водами повышает персистентность почв против элювирования за счет привнесения минеральных солей, илестых и коллоидных фракций, органического вещества, биологической массы микроорганизмов. Солевой режим в незасоленных почвогрунтах формируется по типу сточных вод. Образуются слабосолонцеватые почвы. В целом возникает необходимость применения более дифференцированных приемов мелиоративного улучшения орошаемых почв.

4. Сравнительная оценка свойств природных и сточных вод

Источник орошения	Пригодность для орошения по критериям					
	SAR	ESP	Na/(Ca+Mg)	EC	IS	IR
<i>Природные воды</i>						
р. Дунай, ниже г. Ки- лия	0,85	0,90	0,68	0,82	0,10	8,2
р. Днестр, с. Маяки	1,60	2,95	0,47	1,17	0,30	7,4
р. Днепр, Каховское во- дохранилище, г. Новая Каховка	3,00	4,20	0,70	0,98	-0,10	7,9
р. Северский Донец, г. Рубежное	2,80	4,70	0,85	2,38	0,67	6,51
р. Лугань	6,20	14,10	1,10	2,90	0,57	6,56
р. Ольховая	4,50	10,90	0,80	2,40	0,82	6,16
р. Кальмиус	4,60	9,60	0,95	1,50	0,08	7,24
<i>Шахтные воды</i>						
Шахты им. Челюскин- цев	8,30	18,60	1,10	12,50	1,30	5,85
Шахты Петровская	6,90	15,90	1,00	10,20	1,30	5,78
<i>Сточные воды</i>						
г. Киева	2,18	4,20	0,65	1,82	0,74	6,64
г. Харькова	4,03	6,75	1,41	1,99	0,28	7,44
г. Донецка	3,28	5,90	0,88	2,70	0,61	6,98
г. Одессы	3,90	7,96	0,91	3,70	0,04	7,32
г. Евпатории	4,50	10,00	1,10	4,00	0,63	6,54
Животноводческих ком- плексов:						
крупного рогатого скота, совхоз им. XXV съезда КПСС	11,90	39,50	2,10	10,20	1,42	4,66
колхоз им. Петров- ского	12,00	22,60	1,50	10,30	0,44	7,05
свинооткормочных Кременского Воро- шиловградской обла- сти	3,80	8,80	0,70	4,80	0,01	7,87
то же, Калитянско- го Киевской обла- сти	4,90	12,20	1,40	3,90	0,82	6,56

В условиях ухудшения качества поливных вод и увеличения их разнообразия задача ирригации — разработка более дифференцированных методов повышения эффективного плодородия земель, а также конструкций оросительных систем с учетом качества вод, используемых для орошения.

ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ПРОЦЕССОВ САМООЧИЩЕНИЯ В МАЛЫХ РЕКАХ ПРИ СНИЖЕНИИ ТОКСИЧНОСТИ СБРОСНЫХ ВОД

Н. А. ДУБОВА

Л. И. ВОЛИК

Ю. В. ГОНТАРЬ, кандидат технических наук

Укркоммунниипроект

Орошаемое земледелие наряду с промышленностью — наиболее водоемкая отрасль народного хозяйства. В некоторых регионах страны оно зачастую определяет общий уровень использования водных ресурсов. Являясь важным звеном агропромышленного комплекса и одним из существенных факторов интенсификации сельскохозяйственного производства, орошаемое земледелие будет неуклонно развиваться.

Один из основных источников ирригационной воды во многих областях страны — малые реки. В течение последних десятилетий заметно проявляется тенденция к существенному уменьшению их водности и ухудшению гидрохимического и санитарно-гигиенического качества речной воды. Среди множества факторов, вызывающих неудовлетворительное состояние малых рек, к числу основных следует отнести все увеличивающийся отбор воды на разнообразные народнохозяйственные цели и загрязнение сточными водами. Зачастую малые реки, протекающие через крупные промышленные центры, фактически превращаются в коллекторы сточных вод. При использовании воды таких источников для орошения на сельскохозяйственные угодья неизбежно попадают недостаточно разбавленные сточные воды.

Основную роль в процессах самоочищения почвы от загрязнений играют микроорганизмы, почвенная микрофлора. Но и растениям приходится вступать в контакт с веществами, не свойственными требованиям их организма, т. е. не являющимися необходимыми для нормального роста и развития выращиваемых растений. В результате неметаболического поглощения эти вещества попадают в сельскохозяйственные культуры. Способность к самоочищению почвы и растений не безгранична, поэтому далеко не всякая вода может быть использована для орошения (В. Т. Додолина и др., 1976). Именно поэтому проблемы качества поливной воды, ее санитарно-гигиеническая и токсикологическая безопасность приобретают в последние годы все большую остроту.

Качество воды водных объектов, испытывающих значительные антропогенные нагрузки, зависит от интенсивности протекающих в них процессов самоочищения. Охрана водоемов и водотоков от загрязнения должна быть прежде всего направлена на сохранение происходящих в них биологических процессов, обеспечивающих восстановление качества

воды. Степень загрязненности рек и водохранилищ растет, одновременно снижается их способность к самоочищению. Генеральный путь решения проблемы „чистой воды” — снижение антропогенных нагрузок путем форсированного строительства локальных очистных сооружений и повышения эффективности их работы. Это позволяет резко сократить расходы речной воды на разбавление очищенных сточных вод, обеспечить оптимальный уровень функционирования экосистем, ответственных за самоочищение речных вод, и тем самым предотвратить вполне реальную перспективу истощения водных ресурсов в недалеком будущем.

Необходимость повышения качества очистки промышленных сточных вод определяется высокой токсичностью содержащихся в них многих сотен химических веществ. Причем, кроме индивидуальной токсичности различных веществ, содержащихся в жидких промышленных отходах, токсичными часто оказываются комбинации компонентов сточных вод различных производств при их смешении в общем потоке. Оценить степень токсичности городских сточных вод, содержащих стоки множества промышленных предприятий, только по химическим показателям не представляется возможным. Для этого потребовалось бы применение чрезвычайно сложных и дорогостоящих аналитических методик с целью выявления всех токсических компонентов стоков и учета их возможных комбинаций. В связи с этим гораздо более эффективными представляются *методы интегральной токсикологической оценки* качества воды. Токсикологический контроль в интегральной форме характеризует качество воды в отношении ее пригодности для жизни водных организмов.

В нашей стране для токсикологического контроля используется следующий набор тестов.

Один из самых распространенных тестов — оценка влияния стоков на гидрохимические показатели (газовый и солевой состав, рН, содержание органических веществ и др.). В частности, органическое загрязнение сточных и природных вод водопользователи и органы санитарного надзора оценивают по БПК. Этот показатель характеризует биологическое потребление кислорода обитающими в воде микроорганизмами. Однако следует учитывать, что в присутствии токсикантов их жизнедеятельность подавляется и в этом случае низкие значения БПК свидетельствуют не о чистоте воды, а ее токсичности. Это еще раз демонстрирует недостаточность одних только химических методов контроля загрязнения.

Следующая группа тестов — оценка влияния загрязнений на продукты; т. е. на водоросли и другие зеленые растения, обитающие в воде.

Кроме изучения поведения растительных тест-объектов, все большее внимание уделяется изучению функционального состояния водного объекта в целом. Это связано с тем, что многие токсиканты способны ингибировать фотосинтез планктона и тест, в котором учитывается интенсивность фотосинтеза, может быть очень четким индикатором токсичности воды.

Далее следуют тесты, характеризующие влияние токсикантов на консументы, т. е. на потребителей созданной зелеными растениями органики. В качестве тест-объектов используют организмы зоопланктона, зообентоса, рыбы и др.

И, наконец, тесты, оценивающие влияние на последнее звено биологического круговорота веществ в водоеме — редуцентов (бактерий и сапрофитов).

В течение ряда лет в нашем институте проводят токсикологические исследования в двух направлениях: оценка токсичности городских сточных вод на разных ступенях очистки и речных вод, принимающих сточные воды, на участках с разной степенью загрязненности. При этом используют принятый как в нашей стране, так и за рубежом в качестве стандартного тест-объекта рачок Дафния магна. Его применяют для установления степени токсичности речной и сточной воды, а также отдельных веществ в кратковременных испытаниях (2...4 сут). Обитают эти рачки повсеместно, а по чувствительности к токсичным веществам не уступают икре рыб, малькам и наиболее чувствительным рыбам. Кроме того, они легко культивируются в лабораторных условиях, не требуют больших объемов воды и имеют короткий цикл развития. Кроме дафний, нами используется микроводоросль Сценедесмус как тест-объект с более низкой чувствительностью. Критерий токсичности — выживаемость. Токсичность оценивается по 4-балльной системе:

4 балла — вода очень токсична. Организмы погибают в течение 2 сут (здесь и далее идет речь о гибели 50% организмов);

3 балла — вода токсична, организмы погибают в течение 5 сут;

2 балла — вода среднетоксична. Организмы погибают в течение 10 сут;

1 балл — вода слаботоксична или нетоксична. Организмы живут в течение 20 сут и более.

Результаты биотестирования показали, что как очищенная, так и неочищенная сточная вода обладает высокой токсичностью (3...4 балла) во все периоды года, что объясняется, на наш взгляд, низким качеством исходной воды, поступающей на городские очистные сооружения. Токсичность сточной воды для дафний после первичных отстойников была выше, чем после вторичных, т. е. полная биохимическая очистка снижала ее с 4 до 3 баллов. Однако в отдельные дни как в неочищенной, так и в очищенной сточной воде дафнии выживали и давали жизнеспособное потомство, так как в эти дни вода для тест-объекта была нетоксична. Таких дней было 20% общего числа за период наблюдений. При этом нами установлен день наименьшей токсичности — понедельник. По-видимому, это связано с уменьшением доли промышленных стоков в общем потоке городских сточных вод после выходного дня.

Таким образом, наши исследования показывают, что сточная вода может выступать в качестве токсиканта, так как обладает высокой степенью токсичности по отношению к тест-объекту Дафнии магна.

Токсичность городских сточных вод колеблется в течение года, месяца, недели и зависит от степени очистки. Дафния для биотестирования городских сточных вод — удобный и чувствительный тест-объект, так как ее выживаемость зависит только от качества воды.

Одновременно определяли токсичность речной воды и функциональное состояние принимающих сточные воды рек по динамике новообразования в них органического вещества в процессе фотосинтеза планктона и по динамике его разложения. Оценка активности и взаимосвязи этих процессов в водном объекте широко используется для выявления его реакции на загрязнение, способности к самоочищению и позволяет судить об уровне токсичных влияний.

Обследовали две реки. Вода одной оказалась нетоксичной в течение всего периода исследования. Токсичность воды другой реки колебалась в пределах 2...3 баллов. Остановимся на различиях в функциональном состоянии этих водотоков.

Река с токсичными водами характеризуется низкой активностью процессов образования и разложения органического вещества. Прежде всего об этом свидетельствует значительный дефицит кислорода, наблюдавшийся в течение всего периода исследований, что наглядно демонстрирует преобладание в водной толще процессов потребления кислорода по сравнению с его фотосинтетическим выделением. Внешне река производит впечатление чистой, вода в ней прозрачная, признаков явного загрязнения не наблюдается. Характерно также отсутствие функционального отклика экосистемы реки на поступление в нее городских сточных вод, выражавшееся в том, что как в створе смешения с этими сточными водами, так и в створах выше и ниже по течению характер и интенсивность процессов новообразования и разложения органики были практически одинаковыми. Это свидетельствует о серьезном нарушении самоочистительной способности реки.

Совершенно иная картина была обнаружена при обследовании другой реки. Прежде всего обращает на себя внимание резкое различие в протекании процессов, связанных с фотосинтезом, на участках с разной степенью загрязненности. Хотя река на всем протяжении характеризуется высокой степенью антропогенной нагрузки, на выбранном нами в качестве „условно чистого участка” самоочистительная способность воды высока. Интенсивность фотосинтеза и активность процессов разложения органики на высоком уровне в течение всего периода исследования.

На участке, куда речные воды поступают, пройдя крупный промышленный район и испытав значительное загрязнение, уровень процессов новообразования органического вещества существенно снижен, но процессы минерализации идут с той же интенсивностью, что и на первом створе. Несмотря на то что река здесь сильно обеднена по составу растительного планктона и значительно загрязнена по химическим показателям, функционально она еще способна к самоочищению, и эти процессы идут в ней достаточно активно.

Станция, расположенная ниже сброса городских сточных вод, характеризуется самыми высокими показателями разложения органики по всему ходу обследования, и они часто превышали показатель новообразований в процессе фотосинтеза. Это вполне естественно для участка с поступлением больших количеств органических веществ в виде биологически очищенных сточных вод. Однако необходимо отметить, что фотосинтез планктона даже на этом участке не был полностью подавлен, хотя суточные значения фотосинтетической продукции были невелики. Наши данные о нетоксичности речной воды в этом створе хорошо согласуются с этими наблюдениями. По-видимому, качество очистки городских сточных вод и степень их разбавления речной водой позволяют экосистеме реки адаптироваться к этому хроническому загрязнению и сохранять способность к активному фотосинтетическому продуцированию, которое является основой самоочистительных возможностей любого водного объекта. Хотя, безусловно, качество речной воды в этом створе по химическим и биологическим показателям значительно хуже по сравнению со створами, расположенными выше по течению от централизованного сброса городских сточных вод.

Таким образом, прослеживается зависимость самоочищающей способности малых рек от качества сбросных вод, и в первую очередь их токсичности, понимаемой с точки зрения пригодности воды для жизни водных организмов.

Еще раз необходимо подчеркнуть важность нетоксичности сбросных вод для фотосинтезирующих обитателей, так как в основном они ответственны за самоочистительные возможности водного объекта.

В связи с этим основное направление интенсификации процессов самоочищения в малых реках, используемых для сброса городских сточных вод, — максимально возможное снижение токсичности этих вод для водорослей и других зеленых водных растений.

С этой целью необходимо:

- повысить качество воды, сбрасываемой локальными очистными сооружениями предприятий для снижения токсичности стоков, поступающих на городские очистные сооружения;

- на городских очистных сооружениях ввести дополнительную очистку сточных вод на песчаных фильтрах после полной биологической очистки;

- применять токсикологический контроль на всех ступенях очистки с использованием в качестве тест-объекта Дафнии магна.

Снижение токсичности сточных вод, сбрасываемых в малые реки, способно повысить интенсивность протекающих в этих водотоках процессов самоочищения и улучшить качество воды в них. Это, в свою очередь, означает значительное расширение возможностей народно-хозяйственного использования воды малых рек, в том числе расходуемой на ирригационные цели.

НОВЫЕ ИНЖЕНЕРНЫЕ МЕТОДЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ КАЧЕСТВА ВОДЫ В РЕКАХ

Э. П. КОВАЛЕНКО

*Центральный научно-исследовательский институт
комплексного использования водных ресурсов*

Интенсивная хозяйственная деятельность приводит к изменению условий формирования стока в бассейнах рек, их гидравлического, теплового и гидрохимического режимов, самоочищающей способности по отношению к загрязнению, заилению и антропогенному эвтрофированию водохранилищ, прудов и т. д. Такие изменения часто приводят к отрицательным экономическим, экологическим и социальным последствиям. Чтобы избежать этого, необходимо шире применять комплексное регулирование водного потока, включая интенсификацию или замедление химических и биологических процессов, определяющих качество воды; процессов переноса теплоты, взвешенных и влекомых частиц; диффузии примесей; изменения температуры и содержания кислорода в потоке и т. д. При этом, как правило, необходимо одновременно регулировать если не все, то большинство этих показателей.

Орошаемое земледелие является в настоящее время и остается на перспективу наиболее крупным потребителем воды в стране. Оно также становится одним из крупнейших загрязнителей водных ресурсов. Существующие инженерные методы регулирования водного потока не всегда удовлетворяют предъявляемым к ним требованиям, в том числе из-за потребности большого количества энергии, получаемой из невозобновляемых источников.

Принимая это во внимание, в ЦНИИКИВР разработаны технические решения, позволяющие регулировать глубину, скоростную структуру и сопротивление движению потока для интенсификации процесса разбавления в водотоке сбрасываемых в него загрязненных вод за счет энергии самого потока (а. с. № 1013550, 1066744).

Ухудшение кислородного режима рек и водоемов вследствие их эвтрофирования, химического, биологического и теплового загрязнения, а также заиления требует разработки комплекса мероприятий, направленных на восстановление, поддержание и улучшение их кислородного режима, так как только при этом условии могут быть интенсифицированы процессы самоочищения (А. К. Рябов, 1982). Для обогащения воды кислородом предложены устройства, работающие на энергии ветра (а. с. № 853148) и низкопотенциальной энергии воды (а. с. № 1126711). Эти же устройства могут быть использованы для борьбы с заилением и водоподъемом. Они работают на возобновляемой энергии, просты по конструкции и нетребовательны к техническому обслуживанию.

Для очистки водотоков от плавающих загрязнителей, включая нефть и водоросли, вызывающие „цветение” воды и ее самозагрязнение, разработано устройство, также не требующее для работы энергии извне.

В нашей стране и за рубежом идут интенсивные поиски способов использования энергии перепадов температур в воде и между водой и окружающей средой, прежде всего воздухом. Использование энергии перепадов температур в 10°C и выше экономически более рентабельно, чем использование двигателей внутреннего сгорания для производства электроэнергии по освоенной технологии ее преобразования (А. В. Корнеев, 1984).

В ЦНИИКИВР разработаны способы и устройства для использования низкопотенциальной тепловой энергии перепадов температур (а. с. № 1100422, 1137237). Они позволяют регулировать температуру водного потока, в том числе при тепловой мелиорации и борьбе с „тепловым” загрязнением, и одновременно за счет низкопотенциальной тепловой энергии регулировать поток по другим показателям, включая обогащение воды кислородом, флотацию и водоподъем. Новые технические решения могут быть также использованы для создания в водных потоках вторичных и конвекционных течений, приводящих как к интенсификации тепло- и массообмена, требуемой направленности в воде, так и между водой и воздухом. В частности, возможно ограничение термоклина в водохранилищах и регулирование температуры воды, поступающей из них в водотоки, причем теплообмен между водой и воздухом можно осуществлять как с интенсификацией испарения воды, так и без испарения.

Как известно, в плоской однородной стенке плотность теплового потока равна

$$q = (\lambda / \delta) \Delta T, \quad (1)$$

где λ — коэффициент теплопроводности; δ — толщина проводящей теплоту стенки; ΔT — разница температур на поверхностях стенки.

Если стенка представляет собой лед, плавающий на поверхности воды, то за промежуток времени dt при плотности теплового потока q толщина льда увеличится на

$$d\delta = qdt/C, \quad (2)$$

где C — теплота фазового превращения воды в лед на единицу его объема.

Подставив значение q из (2) в (1), имеем

$$\delta d\delta = (\lambda \Delta T / C) dt. \quad (3)$$

Проинтегрировав (3), при $\Delta T = \text{const}$ получим

$$t = (C / 2\lambda \Delta T) \delta^2. \quad (4)$$

Из соотношения (4) следует, что время, необходимое для образования слоя льда, прямо пропорционально квадрату толщины слоя. Например, чтобы наморозить слой льда 10 см, требуется время (при одинаковом перепаде температур ΔT), в 100 раз меньшее, чем для получения слоя толщиной 1 м.

На основании этой закономерности в ЦНИИКИВР был разработан способ опреснения, накопления и хранения воды с использованием естественного холода. По этому способу для получения опресненного льда из минерализованной (соленой) воды в процессе его замораживания отводят незамерзший рассол, опускают в лед и подают новый слой воды многократно, причем лед опускают после каждого отвода незамерзшего рассола, затем смораживают верхний слой с нижележащим, после чего подают новый объем воды на верхнюю поверхность льда. Эту поверхность прогревают и за счет теплоты дополнительно опресняют вновь поданной водой. Часть этой воды одновременно замораживают, а оставшуюся отводят в виде рассола. По сравнению с существующими такой способ позволяет получить в период года с отрицательными температурами массив опресненного льда при значительно меньшей стоимости единицы объема опресненной воды (В. А. Клячко, 1971).

После намораживания массив льда термоизолируют. Размораживая массив по требуемому графику, получают опресненную воду и „холод“, необходимый для регулирования в определенных пределах минерализации и температуры воды в реке, а также содержание в ней кислорода в период года с положительными температурами.

Такое техническое решение можно использовать также для сезонного перераспределения воды и „холода“ с целью регулирования стока реки и температуры воды в ней в период орошения при хранении воды на непригодных для ведения сельского хозяйства землях.

УДК 556.18:626/628

О МЕТОДАХ УПРАВЛЕНИЯ ВОДНЫМИ РЕСУРСАМИ С УЧЕТОМ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ

В. Г. ПРЯЖИНСКАЯ, доктор технических наук

Институт водных проблем АН СССР

Интенсивное развитие производственной деятельности оказывает прогрессирующее отрицательное влияние на качество природных вод и режимы рек. Земельные ресурсы также восприимчивы к антропогенной деятельности. Рациональное развитие водного хозяйства может быть обеспечено правильным сочетанием использования водных ресурсов и учета их экологической роли.

Эффективными средствами исследований водных проблем служат математическое моделирование и электронная вычислительная техника. Свойства моделей водохозяйственных систем (ВХС) определяются следующими особенностями.

1. Сложность структуры систем из-за разнородности взаимодействующих элементов-водотоков, водохранилищ, каналов, гидроэлектростанций, промышленных предприятий, орошаемых массивов и т. д.

2. Межотраслевой характер использования водных ресурсов, приводящий к противоречиям между участниками водохозяйственного комплекса.

3. Динамичность развития системы в многолетнем плане с соответствующими изменениями структуры, параметров, изменчивостью поступления и отбора воды внутри года, что требует выработки специальных правил управления и исследования надежности принимаемых решений.

4. Необходимость оценки последствий антропогенного воздействия на природную и, в частности, водную среду и выработки мер, предотвращающих возможные отрицательные последствия функционирования ВХС, которые выражаются в загрязнении водных объектов, засолении и деградации почв, обмелении рек, эвтрофикации водоемов и т. д.

Реализация системного подхода позволяет при исследовании водохозяйственных задач структурировать проблему и построить дерево целей, ввести и использовать логические этапы решения.

Наиболее актуальные общие проблемы управления водными ресурсами связаны с сохранением качества окружающей среды. Географические и физические условия формирования водных ресурсов и взаимодействия водохозяйственных систем с окружающей средой очень сложны. Во многих районах водные ресурсы и земли сельскохозяйственного использования ограничены, водохозяйственный баланс напряжен. Поэтому проблемы формирования водных ресурсов на водосборе, рассмотрение таких характеристик, как топографические, почвенно-геологические и земельные, включая типы почв и масштабы развития землепользования, необходимы при обосновании методов управления водными ресурсами.

Для описания таких динамических процессов, как выпадение осадков, эвапотранспирация, поверхностный сток, подземный сток, изменение почвенной влаги и другие, широко используются методы дистанционного наблюдения. Такие наблюдения служат основой базы данных по водным ресурсам для решения задач их планирования и оперативного управления ими.

Сложность управления водными ресурсами вызвана также влиянием экономических условий. Водохозяйственные системы развиваются в рамках общенациональных планов и программ экономического и социального развития. Задачи же управления водными ресурсами часто носят ведомственный характер. Эффективность использования водных ресурсов для целей орошения и борьбы с эрозией почв зависит от того,

насколько вовлечены в управление ими сельскохозяйственные предприятия. Чтобы методология управления водными ресурсами носила практический характер, она должна быть составлена с учетом экономических и политических особенностей страны, региона. От этого зависят масштаб и уровень детализации разрабатываемых методик.

Народное хозяйство страны в настоящем и будущем немыслимо без создания крупных водохозяйственных систем и их объединений, призванных решать проблемы водообеспечения различных отраслей и защиты окружающей среды.

Загрязнение поверхностных вод обусловливается как действием антропогенных факторов, так и природных особенностей. К последним относятся специфика рельефа, изрезанность территории, гидрогеологическая структура, состав и типы почв, гидрохимический и гидрологический режимы рек и водоемов, климатические условия.

Антропогенное воздействие проявляется в увеличении отборов воды на хозяйственно-бытовые нужды и сбросов загрязненных вод. В последние годы состояние качества вод многих речных бассейнов улучшилось в результате строительства очистных сооружений, внедрения водосберегающих технологий и замкнутых циклов водооборота.

Существенное место в формировании качества водных источников занимает орошаемое земледелие. Рост масштабов орошения сопровождается изменением структуры посевных площадей, более интенсивным применением удобрений и пестицидов. Рост урожайности сельскохозяйственных культур и производимых кормов приводит к увеличению концентрации поголовья животных, что усиливает опасность загрязнения водных источников. Сток с полей богарного земледелия также является источником загрязнения рек и водоемов за счет снеготаяния и ливневых дождей.

Управлять процессами выноса почв, удобрений, минеральных солей, пестицидов можно путем изменения характера сельскохозяйственной деятельности. Необходимые оценки и рекомендации могут и должны быть получены уже на стадии планирования использования земельных и водных ресурсов.

Как известно, задачи перспективного водохозяйственного планирования исследуются для разных уровней иерархии: оросительной системы, речного бассейна, крупного региона, страны в целом.

Для понимания масштабов процесса и экономического и организационного воздействия на него на каждом уровне планирования полезно иметь интегральные оценки показателей сельскохозяйственного загрязнения. В условиях речного бассейна или отдельного водосбора реально формализованное описание процессов формирования поверхностного стока, а также переноса и трансформации загрязняющих веществ. На основе таких закономерностей может быть построено управление процессами выносов загрязняющих веществ. Действительно, вынос с земельных угодий почв, биогенов или пестицидов неорганизованным поверхностным и внутрипочвенным стоком осуществляется

вследствие совместного действия эрозионных и диффузионных процессов при движении воды по поверхности и в поровом пространстве.

Эрозионный вынос включает смыв и транспортировку частиц почвы вместе с находящимися в ней биогенными веществами и определяется объемом смытой почвы и концентрацией в ней биогенов. Диффузионный вынос описывает переход подвижных форм биогенов из грунта в сток и поступление растворенных биогенов в водоем. Изменение концентраций биогенов в слое поверхностного стока может быть определено путем замеров или решения дифференциального уравнения диффузии для заданных условий. Процессы выноса имеют различную интенсивность в разное время года. Поэтому расчеты следует выполнять отдельно как для весеннего, так и для летне-осеннего половодья.

Периоду весеннего половодья ставится в соответствие расчетный гидрограф поверхностного стока, который, как правило, моделируют по некоторой принятой методике.

Выделяют также годы, характерные по распределению осадков. Серийные расчеты для ряда типовых условий позволяют выбрать годы с наибольшим суммарным выносом азота и фосфора с площади 1 га и установить их влияние на водные объекты, находящиеся в зоне воздействия выноса. Описанный прием расчета выноса биогенных веществ с земельных угодий в водные объекты разработан авторами соответствующих Временных методических указаний УралНИИВХ (1981).

В целом исследование процессов сельскохозяйственного загрязнения и управление ими базируется на исследовании различных моделей. Методы математического программирования, в частности линейные модели, применимы в задачах планирования, аппарат краевых задач дифференциальных уравнений в частных производных — при описании процессов выноса. Модели линейного программирования (ЛП) позволяют оценить влияние биологических, физических и экономических показателей.

На региональном уровне обобщенная формулировка задачи развития орошаемого земледелия (В. Г. Пряжинская, 1985) имеет вид

$$\text{Найти } \min[C_Q Q + C_Y Y + C_X X] \quad (1)$$

$$\text{при условиях} \quad A_1^1 X + A_1^2 Y = B_1; \quad (2)$$

$$A_2^1 X + A_2^2 Q \leq B_2; \quad (3)$$

$$X, Y, Q \geq 0. \quad (4)$$

Вектор ограничений B_1 включает задания по производству продукции, ресурсы земли, труда, удобрений и т. д., вектор B_2 — ограничения по водным ресурсам; матрицы $A_1^1, A_1^2, A_2^1, A_2^2$ включают технико-экономические нормативы: урожайность товарных культур и продуктивность кормовых угодий; продуктивность животноводства и потребности его в кормах; оросительные нормы и агротехнические коэффициенты; трудовые затраты. Уравнения выражают балансовые соотношения

использования воды, земли, кормов, удобрений и т. д. $C = \{C_X, C_Y, C_Q\}$ — коэффициенты функционала, составляющие векторы удельных затрат, где:

- C_X — сельскохозяйственные издержки, р. на 1 га, р. на 1 структурную голову;
- C_Y — приведенные удельные затраты на реконструкцию или подготовку новых площадей орошения, р. на 1 га;
- C_Q — приведенные удельные затраты на откачку подземных вод, регулирование и переброску стока, 1 р. на 1 м³.

Основные переменные задачи:

- X — площади возделывания богарных и орошаемых культур, га, поголовье скота при заданном варианте кормления, тыс. голов;
- Y — площади богарных и орошаемых земель (существующего и вновь вводимого орошения), площади реконструкции, га;
- Q — объемы используемого незарегулированного стока, полезная отдача водохранилищ, объем используемых подземных вод, объем перераспределяемого местного стока или из других бассейнов, м³.

Построению этой модели предшествует территориальное районирование региона по административному принципу с учетом почвенно-климатической однородности.

В модели на планируемый период решают задачу размещения водоемких производств в условиях реализации определенной технологии водопользования и водоподачи, оценивают объем водопотребления и его распределения внутри периода вегетации, годовой водохозяйственный баланс, объем возвратных вод и вынос почв и биогенных элементов.

При расчетах получают оценку следующие показатели планов ирригационного строительства: размещение орошаемых площадей по административным районам; соотношение между поливными и неорошаемыми землями; структура отраслей растениеводства и животноводства в каждой зоне; состав водохранилищ ирригационного назначения; воздействие орошения на земельные и водные ресурсы.

Характер воздействия водных мелиораций на окружающую среду определяется природными и хозяйственными факторами. Это ландшафт, почвы, климат, количество и состав используемых удобрений и пестицидов. Тип проектируемых оросительных систем определяет способы полива, потери воды в сети и на поле и связанные с этим смыв почв и вынос питательных веществ и пестицидов.

Воздействие развития орошения на окружающую среду в рамках описанной модели ЛП оценивают с помощью специальных уравнений, включающих показатели выноса и попадания почв, солей и загрязняющих веществ в водные объекты. Нормативные показатели получают из расчетов на математических моделях или на основании натурных экспериментов на стоковых площадках и действующих оросительных системах.

Цель подачи оросительной воды, внесения минеральных удобрений и пестицидов — получение заданного уровня урожайности, это управляемые факторы и их можно варьировать. Поэтому задачи экономи-

ческого обоснования состава культур, способов полива и других сельскохозяйственных проблем, которые исследуют в рамках задач ЛП, могут включать и вопросы управления неточечными источниками загрязнения.

Действительно, в формулировке задачи (1...4) уравнения по использованию, например, азотных удобрений имеют вид

$$\sum b_{ijk}^{\rho} x_{ijk}^{\rho} \leq (1 - \alpha)(B + \Delta B).$$

Здесь b_{ijk}^{ρ} — доза внесения удобрений на почвах типа ρ для культуры i при способе полива j и дозе удобрений k ; x_{ijk}^{ρ} — площадь возделывания; α — доля потерь удобрений в воздух; B — необходимый объем минеральных удобрений; ΔB — минеральные удобрения, получаемые за счет органики от животноводства; символ суммирования Σ — по всем указанным индексам.

Уравнения по затратам поливной воды имеют вид

$$\sum q_{ijk}^{\rho t} x_{ijk}^{\rho} - q^t = 0; \sum_t q^t \leq Q, t = \overline{1, T},$$

где $q_{ijk}^{\rho t}$ — поливная норма культуры i при способе полива j при удобрении дозой k на почвах типа ρ в период времени t ; Q — водные ресурсы для орошения; q^t — затраты воды на полив за время t периода вегетации; T — число выделенных интервалов времени.

Процессы выноса азота и фосфора достаточно сложны: так, для азота один из методов расчета включает его перенос и биохимические реакции в почве. Однако эти связи трудно включить в модели оптимизации. Достаточно проста оценка потерь минеральных удобрений для твердой и растворенной фаз. Эти потери существенно зависят от типа почв. Общие потери азота и фосфора прежде всего оценивают по разности между вносимым количеством и количеством, усваиваемым растениями, в том числе потери формируются за счет выноса в твердой фазе в эродированной почве и выноса азота и фосфора в стоках поверхностных и дренажных вод.

Коэффициенты выноса азота n_{ijk}^{ρ} определяют для вида культуры i и дозы вносимого удобрения k , способа и нормы полива j (вернее, нормы потерь q_{ijk}^{ρ} на поверхностный сток и дренаж) и типа почв ρ .

Вынос азота из почвы и объем возвратных вод записывают в виде уравнений

$$\sum n_{ijk}^{\rho} x_{ijk}^{\rho} = N;$$

$$\sum q_{ijk}^{\rho} x_{ijk}^{\rho} = Q.$$

Вынос фосфора P (норматив P_{ijk}^{ρ}) определяют аналогичным образом.

Потери почв L_i^{ρ} — функция типа почв, культуры и практики землепользования, местоположения участка, рельефа местности. Таким образом, с единицы площади

$$L^p = RK_p LS_p CM_{ip},$$

где R – коэффициент дождевой эрозии; K_p – показатель почвенной эрозионности; LS_p – топографический фактор; CM_{ip} – фактор хозяйственной деятельности.

Для управления процессами сельскохозяйственного загрязнения каждый показатель выноса азота, фосфора, почв, возвратных вод может быть ограничен определенным среднегодовым значением в расчете на 1 га посевов. Включение подобных ограничений в постановку задачи позволяет получить соответствующие экономические оценки типа: сокращение какого-либо (или нескольких) загрязняющего вещества – увеличение затрат на производство сельскохозяйственной продукции.

Естественно что программы управления неточечными источниками загрязнения должны быть выбраны такими, чтобы приводить к минимальным потерям дохода или сокращению объемов производства сельскохозяйственной продукции.

Рассмотрим три показателя загрязнения: азот, фосфор и почва. Модель ЛП типа (1...4), располагая достаточно доступной информацией, позволяет оценить объемы выносов этих элементов и дать им экономическую оценку. Модель можно использовать как в рамках отдельного хозяйства, так и в масштабе региона. Речь идет об оценочных расчетах, а не о моделях формирования урожая или процесса выноса, которые, как известно, достаточно сложны.

Использование указанной модели для крупной оросительной системы или региона позволяет получить интегральные оценки возможных масштабов сельскохозяйственного загрязнения. Эта постановка реализована для условий Северного Кавказа. Например, один из вариантов расчета на минимум затрат минеральных удобрений показал необходимость при этом существенного увеличения затрат водных ресурсов на развитие орошения.

Сопоставление затрат на строительство оросительных систем и поставку удобрений позволяет получить представление об остроте экологических аспектов проблемы. Применительно к задачам более низкого уровня иерархии уравнения выноса можно представить (по Д. Хейту, 1984) следующим образом.

Если норматив выноса почвы L_i^p , а L – допустимая норма выноса (например, $L = 2...3$ т/га), S_p – возделываемая почва типа p , то ограничение по выносу почв имеет вид

$$\sum L^p x_{ijk}^p \leq L \sum_p S_p.$$

Азот (N) и фосфор (P) рассматриваются в твердой и растворенной фазе. Пусть n_p и p_p – содержание азота и фосфора в выносимой почве, кг/т, $\bar{N}$ и $\bar{P}$ – допустимый вынос с 1 га (например, $\bar{N} = 5$ кг/га, $\bar{P} = 2,5$ кг/га). Управление выносами в твердой фазе:

$$\text{азот: } \sum n_{\rho} L_i^{\rho} x_{ijk}^{\rho} \leq \bar{N} L \sum S_{\rho};$$

$$\text{фосфор: } \sum p_{\rho} L_i^{\rho} x_{ijk}^{\rho} \leq \bar{P} L \sum S_{\rho}.$$

Вынос растворенных азота и фосфора с учетом летнего (rs_{ij}) и зимнего (rn_{ij}) поверхностного стоков, см, при максимально допустимых потерях в стоке — азота DN , фосфора DP , кг/га, и с учетом фактора перевода размерностей, принятого равным 0,1, регулируется уравнениями

$$\text{азот: } 0,1 \sum (rs_{ij} ns_{ij} + rn_{ij} nw_{ij}) x_{ijk}^{\rho} \leq DN \sum_{\rho} S_{\rho};$$

$$\text{фосфор: } 0,1 \sum (rs_{ij} ps_{ij} + rn_{ij} pw_{ij}) x_{ijk}^{\rho} \leq DP \sum_{\rho} S_{\rho}.$$

Здесь ns_{ij} , ps_{ij} — концентрации азота и фосфора в поверхностных стоках летнего периода, а nw_{ij} , pw_{ij} — зимнего периода, мг/л.

Средние значения концентраций азота и фосфора получаются на базе полевых опытов, объемы летнего и зимнего стоков оцениваются по данным почвоведов. Показатели летнего и зимнего поверхностного стоков часто соотносятся как 1 : 2.

Для примера в таблице приведены показатели выноса, используемые при формировании приведенных выше уравнений. Коэффициенты соответствуют малопродуктивным и песчаным почвам со слабыми уклонами. Выделены естественные пастбища и пахотные угодья, занятые 5-польным севооборотом, травы — зерновые (3 : 2).

Параметры выноса (Д. Хейт, 1984) *

Показатели	Пашня	Пастбище	Показатели	Пашня	Пастбище
Почвы, т/га	2,4... 4,8/2,2	0,5/1,0	Концентрация в стоке, мг/л		
Поверхностный сток, см:			азот:		
зимний	5/0,1	3,8/0	лето	1,6 —	2,0/ —
летний	8,2/0,4	7,8/0,1	зима	2,6/ —	3,0/ —
			фосфор:		
			лето	0,22/ —	0,3/ —
			зима	0,24/ —	0,3/ —

* В числителе — для обычных почв, в знаменателе — для песчаных.

Использование уравнений выноса позволяет наряду с решением технико-экономических задач обоснования производственной структуры сельского хозяйства и технологий возделывания исследовать процессы сельскохозяйственного загрязнения водных объектов.

ОЦЕНКА СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ РЕК ПРИ ПЛАНИРОВАНИИ ОРОШЕНИЯ

Т. В. БЕЛЯЕВА, кандидат географических наук

Институт водных проблем АН СССР

Одна из важнейших проблем, стоящих перед народным хозяйством страны, — рациональное использование водных ресурсов в орошаемом земледелии. Предусмотрено дальнейшее расширение орошения. Однако, создавая благоприятные условия для высокопродуктивного земледелия, орошение в ряде случаев отрицательно влияет на окружающую среду: сокращается сток пресных вод в водоемы, они загрязняются выносимыми с полей веществами. При больших масштабах орошения хозяйственное использование становится одним из главных звеньев круговорота воды и связанного с ним вещественного обмена, включая твердый, ионный и биогенный стоки.

При комплексном изучении антропогенного воздействия на водные системы суши важное значение имеет не только констатация гидрологических преобразований, но и оценка их дальнейшего развития с учетом особенностей хозяйственной деятельности на водосборах. В частности, в районах расширения орошения важное значение имеет оценка биогенного загрязнения поверхностных вод в условиях растущей химизации земледелия. Заблаговременное выявление возможных неблагоприятных последствий орошения при разработке водохозяйственных проектов способствует принятию более обоснованных вариантов мелиоративного строительства и выбору технологий орошаемого земледелия, рациональному использованию водных и земельных ресурсов.

Одна из причин изменения качества вод на орошаемых водосборах — усиление (по сравнению с неорошаемыми условиями) миграции биогенных веществ, пестицидов и минеральных солей от сельскохозяйственных полей к рекам-водоприемникам возвратного стока. Сложность прогнозирования этих изменений в новых районах ирригационного освоения заключается в недостаточном количестве данных натурных наблюдений и слабой изученности механизма действия природных и хозяйственных факторов на ирригационное загрязнение. В связи с этим трудно заранее оценить размеры возможного ущерба народному хозяйству от загрязнения и обосновать на ранних стадиях планирования целесообразность конкретного комплекса природоохранных мероприятий.

В этих условиях важно обосновать методику оценки воздействия орошения на качество поверхностных вод, приемлемую для экологического обоснования долгосрочных планов использования водных и земельных ресурсов в сельском хозяйстве.

Методика оценки ирригационного загрязнения поверхностных вод включает следующие этапы.

1. Определение удельных показателей, характеризующих формирование качества вод на сельскохозяйственных водосборах речных бассейнов для принятой территориальной схемы районирования, и оценка комплекса технологий использования водных и земельных ресурсов.

2. Расчет суммарного сброса загрязняющих веществ в водные объекты для различных вариантов развития орошения.

3. Оценка изменения качества речного стока под влиянием выноса загрязняющих веществ с орошаемых земель.

4. Определение экономического ущерба народному хозяйству от загрязнения речного стока.

5. Управление формированием сельскохозяйственного загрязнения в соответствии с принятыми природоохранными требованиями.

При реализации этой методики наиболее сложно из-за отсутствия достаточных исходных данных определение удельных показателей, характеризующих формирование загрязнения на сельскохозяйственных водосборах с поливными землями.

Гидрохимическая информация о качестве природных вод в большинстве районов отражает в основном совокупный эффект различных источников загрязнения и не позволяет выделить влияние орошения как один из видов антропогенных воздействий. Анализ зарубежных исследований позволяет расширить фактографическую основу для оценки сельскохозяйственного загрязнения и указывает на определяющую роль химизации и потерь поливной воды как основных факторов формирования загрязнения.

В районах богарного земледелия загрязнение рек биогенными веществами формируется главным образом под влиянием химизации. Например, регулярные наблюдения за биогенным загрязнением поверхностных вод в Венгрии показывают существенный рост за последние 10 лет концентрации биогенных веществ в речном стоке. За 1975—1984 гг. концентрация соединений азота и фосфора возрастала ежегодно в большинстве водотоков на 7...15%. Ухудшение качества воды по этим показателям отмечено на 82% створов проведенных наблюдений (всего мониторинг осуществлялся 300 станциями). Рост биогенного загрязнения поверхностных вод по времени совпадает со значительным расширением применения минеральных удобрений на пахотных землях — со 150 до 288 кг/га (G. G. Pinter, F. Hargitai, 1987).

В орошаемых районах процессы антропогенного воздействия на сток проявляются вследствие отборов воды на орошение и сбросов загрязненных возвратных вод. Одна из основных причин ирригационного загрязнения — нерациональное использование воды на оросительных системах. Например, в США существуют региональные различия в продуктивности использования воды, применения поливной техники и ирригационном загрязнении. Так, в северо-западных штатах при избы-

точных водных ресурсах и низком коэффициенте полезного использования воды (0,3...0,5) происходит заиливание водохранилищ в результате ирригационной эрозии и загрязнение рек удобрениями, смываемыми с полей.

Усиление нитратного загрязнения наблюдается при высокой химизации земледелия в районах с преобладающим возделыванием пропашных культур – кукурузы, сахарной свеклы, картофеля, хлопчатника (Т. В. Беляева, 1979). Основные хозяйственные факторы ирригационного загрязнения – состав культур, агротехника возделывания, дозы удобрений, размеры возвратного стока, а также поливная техника.

Географические факторы (климат, рельеф, почвы и др.) определяют формирование и развитие орошаемых природно-хозяйственных комплексов, а также характер процессов ирригационного загрязнения вод. Учет географических факторов при оценке ирригационного загрязнения заключается в выборе состава показателей для описания и определения значений этих показателей в соответствии с природными условиями.

На примере Северного Кавказа нами рассмотрены некоторые аспекты возможного изменения качества поверхностных вод в условиях возрастающего участия аграрного сектора в их загрязнении. В перспективе при дальнейшем росте орошения возможно увеличение возвратного стока, что приведет к усилению миграционных процессов в речных бассейнах, выносу биогенных веществ и твердого стока. Одна из проблем — рост в реках концентрации нитратов. Объем применения минеральных удобрений, одного из источников поступления нитратов, возрастает, что в перспективе способно вызвать дальнейшее ухудшение качества вод. В соответствии с предложенной методикой на первом этапе оценки были получены показатели выноса загрязняющих веществ с 1 га площади угодий.

Удельные оценки выноса загрязнений были основаны на выявлении общих закономерностей влияния химизации и орошения земель при различных почвенно-климатических условиях и применении различных технологий.

В состав показателей для оценки ирригационного загрязнения вод в реках Северного Кавказа включены показатели выноса азота, фосфора и смыва почв с сельскохозяйственных угодий. При решении задачи для одной из оросительных систем рассмотрен также вынос пестицидов и минеральных солей.

Учитывая недостаточное число региональных исследований на Северном Кавказе, на основании метода физико-географических аналогов были использованы также данные зарубежных исследований. В частности, проанализированы экологические проблемы развития орошения на территории Великих равнин (штат Небраска), а также в бассейнах рек Колумбия и Снейк (штаты Айдахо и Вашингтон, США). Сравнительный географический анализ видовых групп равнинных ландшафтов

этих районов и Северного Кавказа выявил их сходство по природным предпосылкам воздействия орошения на окружающую среду. Картографические и гидрохимические материалы по районам-аналогам показали характер связи нитратного загрязнения природных вод с особенностями использования орошаемых земель.

Показатели выноса загрязняющих веществ с орошаемых угодий определяют обычно на основе данных натурных наблюдений и применения расчетных зависимостей. Вынос биогенных веществ формируется за счет действия эрозионных процессов при движении воды по поверхности почвы и транспортировке частиц почвы вместе с находящимися в них биогенными веществами, а также при растворении подвижных форм биогенных веществ и их внесении в водоемы внутрипочвенным и дренажным стоком. Азот выносится с сельскохозяйственных угодий преимущественно в растворенном виде, а фосфор — в составе твердого стока.

Из всего многообразия факторов, влияющих на сельскохозяйственное загрязнение, не все могут быть с одинаковой степенью учтены при принятом уровне агрегирования информации. Был выбран ряд наиболее существенных факторов и упрощенных зависимостей, позволивших увязать коэффициенты выноса с другими нормативными коэффициентами, представленными в модели. Эти зависимости сводятся к следующему:

вынос минеральных удобрений пропорционален дозам их внесения; интенсивность выноса минеральных удобрений и смыва почв пропорциональна непроизводительным потерям поливной воды;

потери поливной воды устанавливаются в зависимости от применяемой поливной техники и норм удельного водопотребления каждой из рассматриваемых в модели сельскохозяйственных культур при заданных уровнях водообеспеченности;

изменения выноса биогенов учитывают в зависимости от типа сельскохозяйственных культур (пропашные, культуры сплошного сева, травы), а различных природоохранных мероприятий — путем соответствующего изменения КПИ поливной воды.

Из материалов региональных исследований на Северном Кавказе и в районах-аналогах получена расчетная зависимость, характеризующая вынос биогенных веществ с орошаемых земель под влиянием особенностей использования воды, удобрений, почвенно-климатических и геоморфологических условий:

$$u_g = F(\rho, a, q),$$

где u — удельный норматив выноса с орошаемых земель возвратным стоком q примеси g ; ρ — эмпирический коэффициент, зависящий от свойств почвы и агротехники; a — доза удобрений.

Выполнен сравнительный анализ формул расчета показателей выноса биогенных веществ по нескольким методикам. Сопоставлены

данные, полученные расчетным путем, с результатами имеющихся наблюдений. Обоснованы нормативы выноса азота, фосфора и смыва почвы на перспективу для различных способов использования земельных и водных ресурсов Северного Кавказа в орошаемых и неорошаемых условиях. Ежегодный вынос азота, по нашим оценкам, составил 1...20 кг/га, фосфора — 0,1...5 кг/га, смыв почв — 3...30 т/га.

Следующий этап — расчет массы сброса загрязняющих веществ с сельскохозяйственных водосборов и применением модели оптимизации использования водно-земельных ресурсов в сельском хозяйстве. Базовая модель, разработанная в ИВП АН СССР, модифицирована включением зависимостей, описывающих сельскохозяйственное загрязнение.

Для характеристики формирования загрязнения поверхностных вод на водосборах используют удельные показатели выноса биогенных веществ и смыва почв с земельных угодий, возделываемых в агроэкономическом районе по нескольким технологиям. (Подробнее постановка оптимизационной задачи, уравнения для описания выноса и управления его формированием описаны в статье В. Г. Пряжинской.)

При решении задачи оптимизации определяют массы сброса загрязняющих веществ с сельскохозяйственных угодий в соответствии с принятой схемой районирования территории для различных вариантов размещения производства, использования ресурсов и технологий.

Далее, используя коэффициенты попадания загрязняющих веществ, выносимых с водосборов в водные объекты, оценивают изменение гидрохимических показателей речных вод в результате ирригационного загрязнения. Коэффициенты попадания обосновывают по данным региональных ландшафтно-геохимических и геоморфологических исследований, ориентированных на определение выноса и миграции загрязняющих веществ из рассредоточенных источников на водосборах речных бассейнов. Изменение концентрации загрязняющих веществ в речном стоке под влиянием выноса с новых орошаемых массивов рассчитывают на основе уравнений баланса масс вещества. (Исходные концентрации примесей определены по результатам гидрохимического районирования рек Северного Кавказа, проведенного СтавНИИГиМом.)

Затем на основе полученных значений годовых масс сброса загрязняющих веществ с орошаемых земель по типовой методике (1987 г.) оценивают экономический ущерб народному хозяйству от ухудшения качества речного стока под влиянием ирригационного загрязнения.

Исходя из природоохранных требований, формулируют ограничения, которые представляют собой управляющие правила по предельным массам сброса загрязняющих веществ. В результате решения оптимизационной задачи с ограничениями на вынос отыскиваются варианты размещения производства и использования ресурсов, удовлетворяющие не только экономическим, но и экологическим требованиям. При сравнительном анализе результатов решения задачи с различными ограничениями на загрязнение оценивают народнохозяйственные затраты на выполнение требований природоохраны. Они выражаются приращением

приведенных затрат на выполнение плановых заданий или потерей части производимой сверхплановой продукции.

Эксперименты с моделями оптимизации использования земельных и водных ресурсов в сельском хозяйстве Северного Кавказа проведены для схем районирования различного уровня. На первом уровне Северный Кавказ рассматривался как экономический район. В экспериментах с моделью исследованы варианты использования водно-земельных ресурсов, а также производства продукции и загрязнения, соответствующие различным экономическим направлениям развития народного хозяйства в регионе до 2000 г.

На втором уровне для одного из вариантов региональной структуры производства было оценено распределение выноса загрязняющих веществ по речным бассейнам.

На третьем уровне изучали ирригационное загрязнение р. Б. Егорлык, находящейся под влиянием орошения в зоне Право-Егорлыкской оросительно-обводнительной системы.

Детализация состава удельных показателей выноса загрязняющих веществ и способы их определения различаются в зависимости от иерархических уровней планирования. На верхнем уровне для определения показателей ирригационного загрязнения применяют расчетные зависимости, обобщенно учитывающие природно-хозяйственные факторы. Для более детальных схем районирования возрастает значение учета ландшафтных факторов формирования загрязнения и данных натурных наблюдений. Географический анализ полученных на модели оценок выполняют с учетом особенностей каждого уровня планирования, масштаба решаемых задач, условий соответствующих природно-территориальных и водохозяйственных комплексов. Оценивают степень воздействия выноса загрязняющих веществ на конкретные водные объекты с учетом современного состояния их качества.

Исследованы несколько возможных экономических направлений развития сельского хозяйства и применения орошения, ориентированных на снижение приведенных затрат, получение максимального чистого дохода, максимально сверхплановое производство одного из видов продукции, экономное использование воды или выделяемых сельскому хозяйству минеральных удобрений. В соответствии с этими стратегиями развития в расчетах использовано несколько критериев оптимизации. Установленные на каждом уровне планирования ограничения по плановым заданиям, водным, земельным ресурсам и т. д. были постоянными.

В таблице показаны различные варианты структуры производства и использования водно-земельных ресурсов на Северном Кавказе (к 2000 г.), полученные в результате расчетов на оптимизационной модели. Наибольший вынос загрязняющих веществ со всей площади угодий оказался в варианте 2, ориентированном на минимизацию приведенных затрат: по разным показателям загрязнения он на 3...19% больше, чем при осуществлении стратегии максимального сверхпланового производ-

ства продукции (вариант 1), и на 6...27%, чем при экономном использовании оросительной воды (вариант 3).

Пересчет полученных результатов с использованием соотношений, описывающих попадание загрязняющих веществ в водные объекты, позволил получить представление о возможном изменении качества речного стока под влиянием развития орошения на водосборах. В бассейне Дона нитратное загрязнение будет наибольшим. В результате развития орошения притоки Дона по содержанию в них нитратов могут перейти из класса чистых в класс очень незначительно загрязненных (согласно классификации СЭВ). Кроме того, показано, что в маловодные периоды и годы возможно превышение ПДК.

При расчетах для оросительной системы наибольшее внимание было уделено гидрологическим аспектам обоснования перспективных оценок ирригационного загрязнения речного стока. Исследовано формирование качества стока под влиянием орошения на части водосбора р. Б. Егорлык. Источник питания Право-Егорлыкской оросительно-обводнительной системы – р. Кубань, а сброс осуществляется в р. Б. Егорлык и ее притоки. Оценка загрязнения для ПЕООС проведена на основании проектной структуры использования орошаемых площадей, а для одного из административных районов проведены оптимизационные расчеты и проанализированы несколько экономических стратегий развития на перспективу и соответствующие значения загрязнения.

Анализ полученных результатов показывает, что расширение орошения в зоне ПЕООС без осуществления водоохраных мероприятий может привести к усилению загрязнения поверхностных вод в бассейне р. Б. Егорлык. Например, вынос азота с сельскохозяйственных угодий по сравнению с существующим уровнем увеличится вдвое. С учетом попадания выносимого азота возможен рост среднегодовой концентрации нитратов в речном стоке на 1,7 мг/л.

В экспериментах с моделью регионального уровня исследованы последствия введения ограничений предельно допустимых значений выноса азота и смыва почв и их влияние на производство продукции, на затраты и использование ресурсов в сельском хозяйстве.

Суммарный вынос с сельскохозяйственных угодий ограничивался поэтапно от 3 до 25% по сравнению с вариантами без ограничения загрязнения (см. таблицу). Выполнение поставленных ограничений требует дополнительных затрат на сельскохозяйственное производство или ведет к потере части выпускаемой сверхплановой продукции.

Результаты расчетов показали, что при сохранении заданного набора технологий и способов возделывания выполнение природоохранных требований по мере их постепенного ужесточения становится для производства все более капиталоемким. Например, сокращение выноса азота на 15% требует увеличения приведенных затрат на 50%, роста водозабора на 18% или ведет к недобору 16% зерна. Кроме того, снижение на 20% смыва почв сопровождается усилением нитратного загрязнения из-за необходимости применения большего количества

Варианты использования ресурсов, производства продукции
и сельскохозяйственного загрязнения на Северном Кавказе

Показатели	Варианты*			
	1	2	3	4
Площадь сельскохозяйственных угодий тыс. га	24700	24700	24700	24700
Орошаемая площадь, тыс. га	4500	2942	3244	3578
В том числе:				
поверхностный полив	301	2942	301	303
дождевание	4199	—	2920	3275
Производство зерна, млн т	37,5	31,3	31,3	31,3
Расход воды, км ³	27,2	22,7	19,5	27,2
Приведенные затраты, млрд р.	12,0	6,2	8,2	8,7
Смыв почв, млн т	160,0	167,0	156,7	158,9
Вынос азота, тыс. т	69,9	71,8	63,6	63,7
Вынос фосфора, тыс. т	5,7	6,8	5,2	5,2
В том числе с орошаемых земель:				
смыв почв, млн т	43,3	26,7	31,4	28,3
вынос азота, тыс. т	31,0	27,9	31,8	25,7
вынос фосфора, тыс. т	2,4	3,2	1,8	1,8
Экономический ущерб от ирри- гационного загрязнения, млн р.	20,4	12,9	14,8	13,5

* Содержание критериев: 1 — максимум сверхпланового производства зерна; 2 — минимум приведенных затрат; 3 — минимум расхода оросительной воды; 4 — минимум расхода минеральных удобрений.

минеральных удобрений. Отметим, что описанный анализ проведен для условий использования традиционных технологий орошения.

При перспективном планировании для выполнения природоохран-ных требований набор обычных технологий земледелия недостаточен. В дальнейших исследованиях необходимо учитывать возможности применения почвозащитных и водоохраных технологий, а также со-вершенствования способов полива, управления режимами орошения, способы и формы внесения минеральных удобрений.

Сравнительный анализ экономического и экологического эффектов новых и традиционных технологий может быть выполнен с применением модели оптимизации использования водно-земельных ресурсов в сель-ском хозяйстве.

Проведенные исследования показали, что реализация описанной методики оценки ирригационного загрязнения поверхностных вод и управления его формированием при планировании развития орошения обеспечена разработанными математическими моделями, алгоритмами и программами. Однако для более успешного применения методики требуется совершенствование информационной базы моделирования, расширение наблюдений за выносом загрязняющих веществ на водо-сборах, которые в настоящее время в большинстве районов орошения нашей страны надлежащим образом не организованы.

Пример положительного решения проблемы имеется в Венгрии, где система мониторинга сельскохозяйственного загрязнения речного стока объединяет гидрологическое и агроэкономическое информа-

ционное обеспечение. На экспериментальных водосборах осуществляется регулярный отбор проб на качество воды в замыкающих створах, а на территории водосборов собирается информация по землепользованию, свойствам почв, внесению минеральных удобрений и урожаям сельскохозяйственных культур. Анализ этой информации позволил установить зависимости между выносом биогенных веществ и природохозяйственными факторами. На основе этой информации реализована система математических моделей, предназначенных для управления сельскохозяйственным производством и качеством водных ресурсов.

В систему моделей входят модели формирования стока и выноса биогенных веществ в зависимости от осадков и технологии земледелия, а также детерминированные и стохастические версии оптимизационных моделей сельскохозяйственного планирования с учетом контроля загрязнения.

Результаты моделирования на примере экспериментальных водосборов показали, что совершенствование размещения сельскохозяйственных культур и применяемых в земледелии технологий (в том числе внедрение контурной пахоты) позволит примерно на 20% снизить вынос азота и на 52% — вынос фосфора с сельхозугодий по сравнению с 1984 г. (G. G. Pinter, F. Hargitai, 1987).

УДК 628.394.1-97.18

О СОЗДАНИИ КОМПЛЕКСНО-ЦЕЛЕВОГО ПАКЕТА ПРОГРАММ ПО ПРОГНОЗУ КАЧЕСТВА ВОДЫ И УПРАВЛЕНИЯ СОСТОЯНИЕМ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ

З. В. ГУДЗЕНЧУК, кандидат технических наук

Е. Ю. САМУСЕВА

Союзгипроводхоз

Прогнозу качества воды в водоемах и водотоках посвящено значительное число теоретических разработок, методических положений, рекомендаций (Л. Н. Фальковская, В. С. Каминский, Л. Л. Пааль и др., 1982). Часть из них относится к проблеме регулирования параметрами водоохранной системы для достижения требуемого качества воды в водных объектах.

На практике уровень внедряемых разработок в этой области значительно отстает от теоретического, несмотря на довольно эффективное в ряде случаев использование ЭВМ. На современном этапе происходит переход от математического моделирования отдельных фрагментарных задач к созданию комплексных целевых пакетов, ориентированных на решение взаимосвязанных задач из рассматриваемой области. Эти попытки приводят пока к разработке первых версий пакетов. Над созданием подобных пакетов прикладных программ (ППП) работают

во Всесоюзном научно-исследовательском институте водоохраны (ВНИИВО, г. Харьков), в Институте прикладной геофизики (г. Таллинн) и Институте кибернетики АН УССР.

Версии пакетов ВНИИВО ориентированы на прогноз гидрохимического состояния водных объектов на перспективу с учетом планирования в народном хозяйстве. В их составе имеются блоки, которые учитывают процессы поступления загрязняющих веществ в водные объекты и блоки внутриводоемных процессов (Г. А. Сухоруков, 1984). В пакет входят также блоки поиска оптимальных вариантов параметров водоохранной системы на разных уровнях иерархии управления.

Разрабатываемый в Институте прикладной геофизики комплекс моделей ориентирован на учет следующих ситуаций: нефтяное загрязнение при аварийных разливах; тепловое загрязнение при сбросах подогретых вод электростанций в водоемы-охладители; распространение пассивных примесей, не оказывающих влияния на движение воды, т. е. на решение весьма специфического круга задач, рассчитанных на конкретного потребителя.

В Институте кибернетики АН УССР разработаны методы и алгоритмы определения способов управления, которые обеспечат требуемое количество воды в створах с учетом перспективного планирования развития промышленного региона. Подход основан на принципах самоорганизации сложных процессов, при этом результаты расчетов на большом временном интервале (при долгосрочном прогнозе) использованы в качестве балансовых критериев селекции моделей на малом временном интервале (при кратковременном прогнозе).

Из краткой характеристики указанных пакетов программ следует, что они ориентированы на разные типы задач.

Программно-целевой подход предполагает комплексное системное решение проблем и использование средств достижения целей, т. е. учет всех существенных для их достижений факторов, связей, ограничений.

С этой точки зрения необходимо первые версии пакетов совершенствовать в направлении расширения вычислительных возможностей системы программ или разработать новый пакет. Решение проблемы требует более глубокого ее рассмотрения.

Состав и содержание информационного обеспечения комплекса целевых программ определяются той информацией, которая требуется для реализации модульных программ при решении конкретной задачи из рассматриваемой области.

Для гибкого конструирования комплекса моделей необходимо располагать разными моделями описания процессов в водных объектах и на водосборе. Частные модели должны обеспечивать разнообразные возможности управления комплексом.

Отметим те недостатки, которых следует избегать во вновь разрабатываемом пакете. Условно разделим структуру пакета на подсистемы: „Обработка исходной информации“, „Внешние воздействия“, „Внутриводоемные процессы“, „Оптимальное регулирование“, которые

должны решать задачи из проблемной области. Другие подсистемы должны обеспечивать сопровождение процедур пакета — „База данных”, „Монитор”, „Планировщик”, „Диалоговый процессор”.

Цель работы блока „Обработка исходной информации” — устранение неопределенности оценки исходных данных. Результат работы — получение оптимальных оценок наблюдаемых показателей качества воды: комплексных — по набору параметров и интегральных — по времени и пространству. На практике же, как правило, этот вопрос в отчетах отсутствует, методика обобщения и анализа результатов многолетних гидрохимических анализов не освещена. Теоретически этот класс задач к настоящему времени наиболее разработан, в их решениях использован ряд методов регрессионного анализа. То же самое можно сказать и о прогнозных оценках той исходной информации, которая отражает изменения, соответствующие целям развития всего народного хозяйства, с показателями перспективных и текущих планов социального и экономического развития: рост населения, изменение структуры и размеров посевных площадей, появление новых ферм и животноводческих комплексов и др. Информация на перспективу по отношению к некоторому начальному периоду должна обрабатываться в этом блоке.

В блоке „Внешние воздействия” решаются задачи, интерпретирующие поступление в водотоки загрязнений, вызванное хозяйственной деятельностью человека. При этом возрастающее значение приобретают вопросы регулирования, отведения и улучшения качества возвратных вод мелиорации, промышленных площадок и сельскохозяйственных угодий.

Идеальный вариант — пакет, учитывающий все источники загрязнений, обладающий способностью адаптации к учету специфики реальных условий водного объекта. Обычно же на практике учитывают только сточные воды от промышленных предприятий, причем форма учета носит ориентировочный и методически несовершенный характер. Например, поверхностный сток с сельскохозяйственных угодий условно локализируют в створах, пренебрегая диффузионным характером поступления.

Для блока „Внутриводоемные процессы” теоретически разработаны сотни математических моделей, описывающих разные ситуации, поскольку комплекс задач, затрагивающих проблему качества воды, весьма разнообразен.

Блоки внутриводоемных процессов соответственно должны учитывать многообразие категорий водоемов и водотоков: река (малая, средняя, большая), канал, озеро, водохранилище и т. д., а также многообразие внутриводоемных процессов. Естественно, учесть все невозможно, поэтому следует определить разумные границы детализации рассматриваемой системы рамками существенных связей.

Функционирование внутриводоемных процессов можно ограничить блоками: смещение потоков; массообмен с дном; фотосинтез; трансформация веществ; самоочищение.

Первые версии пакетов имеют довольно „жесткую” структуру и ограниченные возможности адаптации к учету специфики реальных объектов. В них не предусмотрены блоки, описывающие массообмен с дном, влияние фотосинтеза на кислородный режим. Кроме того, в пакеты следует включить блоки оценок качества воды по санитарным и гидробиологическим показателям, являющиеся составной частью оценки нормирования качества природных вод.

Наиболее полная экологическая классификация качества воды разработана Институтом гидробиологии АН УССР (Л. Н. Фальковская, В. С. Каминский, Л. Л. Пааль и др., 1982). Она сочетает гидрофизические, гидрохимические, гидробиологические и бактериологические показатели с показателем биоиндикации сапробности воды.

Представляет интерес методика расчета комплексного показателя антропогенной нагрузки рек — КПАН (В. Н. Марков, 1986). Для расчета предлагается формула

$$\text{КПАН} = X + Y + Z,$$

где X — показатель загрязненности воды, учитывающий химическое и бактериальное загрязнение; Y — показатель степени использования речного стока по сравнению с оптимальной; Z — показатель, учитывающий прямое или косвенное воздействие нагрузки на реку, вызванное хозяйственной деятельностью.

Если

$$0 < \text{КПАН} \leq 3$$

и при этом не превышены частные нормативы по одному из показателей (X , Y , Z), то можно считать, что антропогенная нагрузка на реку в целом не превышает предельно допустимой.

В подсистеме „Оптимальное регулирование” находятся блоки поиска оптимальных параметров водоохранной системы, учитывающие также нормирование качества воды и по экономическим показателям — денежным затратам.

Существуют разновидности постановок задач оптимального регулирования состоянием водных объектов по разным признакам (территориальному, временному, приоритетности водопользователей и др.) в зависимости от уровней иерархии. Сложность таких задач заключается в основном в выборе пути поиска оптимального варианта. Преимущественно задача поиска при ограничениях на качество воды формулируется как задача линейного программирования. При этом отсутствует обоснованность такого пути решения. Регулируемые параметры — это в основном уровни очистки вод очистных комплексов отдельных предприятий или их группы. За рамками задачи оказывается учет комплекса мер по защите водных объектов от загрязнений диффузного характера.

Исследователями установлено, что связь ступеней очистки сточных вод с затратами носит нелинейный характер (Л. Н. Фальковская, В. С. Ка-

минский, Л. Л. Пааль и др., 1982; К. Х. Рекхау, С. К. Чапра, 1985), поэтому такой путь решения задачи с точки зрения получения экономически эффективных параметров управления качеством воды является некорректным.

Задачи оптимизации регулирования качеством воды базируются на предположениях о локальном управлении водоохраной, но с учетом удовлетворения различных интересов водопотребителей, в том числе экономических. Это связано с нерациональностью сосредоточения управления водоохраным комплексом в рамках централизованного государственного органа из-за невозможности своевременного сбора и переработки получаемой информации (В. А. Горелик, А. Ф. Кононенко, 1982).

Некоторые работы по оптимизации водоохраных процессов базируются на использовании дискретного динамического программирования. Применение последнего к поиску оптимума функции цели затруднительно из-за необходимости рассмотрения огромного числа вариантов. В качестве методической основы для разработки вопросов, связанных с задачей анализа и синтеза иерархических систем, в силу необходимости согласования интересов различных сторон предлагается теоретико-игровой подход, так как именно теория игр занимается изучением вопросов принятия решений в конфликтных ситуациях.

В общем виде модель управления качеством воды в водных объектах может быть представлена в виде векторного уравнения

$$I(C, U, D) \leq \bar{C}, \quad \exists \in [\exists_1, \exists_2],$$

где C — вектор качества воды; U — вектор управляющих параметров; D — вектор управляемых состояний системы; $\bar{C}$ — вектор нормативных требований к качеству воды; I — оператор, описывающий функциональную связь управления, состояния и качества воды; $\exists$ — целевой функционал по стоимости, ограниченный нижним $\exists_1$ и верхним $\exists_2$ возможными вкладами денежных средств.

Объект оптимизации водоохраных процессов — экологический показатель I и экономический показатель $\exists$, а не одна из этих величин при ограничениях на другую. Факторы I и $\exists$, как правило, находятся в конфликтном взаимодействии, и функция эколого-экономической ситуации $f(I, \exists)$ представляет собой компромиссный критерий. Необходимо упорядочить две пары, чтобы произвольные две пары $\Pi_1(I_1, \exists_1)$ и $\Pi_1(I_2, \exists_2)$ можно было сравнивать (хуже, лучше, равноценно). Для выбора оптимального варианта с точки зрения пользы необходима формулировка функции полезности, которая и будет критерием сравнения альтернативных вариантов. Данная функция не должна задавать ценность альтернатив, а лишь отражать уже имеющиеся предпочтения (В. А. Горелик, А. Ф. Кононенко, 1982).

Остановимся кратко на описании блоков сопровождения процедур системы программ.

„База данных“ содержит информацию о построении математических моделей, характерных для данной проблемной области. Доступ

к программным модулям при выборе пути решения совершается в диалоговом режиме на основе ключевых слов поиска.

Функционирование блока „Диалоговый процессор” в настоящее время — общепринятое обязательное условие, разработка которого облегчит общение с системой и позволит реализовать регламентированный диалог стандартных форм запросов и ответов на языке проблемной области.

„Планировщик” во время работы должен постоянно контактировать с пакетом прикладных программ и с базой данных. Из базы данных он черпает информацию о проблемной области и способах решения в ней тех или иных задач, а также сведения о возможностях автоматического синтеза программ.

„Монитор” управляет взаимодействием всех блоков.

Возникает, казалось бы, параллелизм в разработках этой проблемы. Однако сравнительный анализ трех моделей-конкурентов прогноза качества воды на примере пяти показателей (объект — р. Селенга) свидетельствует, что, несмотря на общность цели, результаты расчетов в некоторых случаях сильно расходятся (З. В. Гудзенчук, С. В. Васильев, С. Н. Шашков, 1987). Модели весьма чувствительны к учету или неучету тех или иных параметров.

Аналогичные результаты получили американские ученые для р. Блэк-уотер по четырем показателям (С. F. Forster, R. W. Crabtree, C. P. Crockett, I. D. Cbuckie, 1985).

Какая модель надежнее в отношении способности адекватно описывать моделируемую ситуацию — вопрос проблемный, но достаточно освещен в литературных источниках. Для практической реализации комплекса программ следует учесть мнение большинства специалистов: чем больше в пакете специфических особенностей, описываемых программными модулями, и чем больше явлений учитывает разрабатываемая система, тем больше вероятность получения надежных результатов.

УДК 631.6.650.1156

ИНФОРМАЦИОННАЯ СТРУКТУРА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ МЕЛИОРАТИВНОГО КАДАСТРА

О. В. ШЕСТОПАЛОВА
В. Н. РЕШЕТНИКОВ

*Всесоюзный научно-исследовательский институт
гидротехники и мелиорации*

Автоматизация процесса управления и принятия решений невозможна без математических моделей, учитывающих большое число ко-

личественных и качественных ограничений, относящихся к экономической, экологической, технической и другим сферам.

Решение задач такого класса предъявляет высокие требования к качеству информационного обслуживания, которое может быть обеспечено только путем обработки и анализа больших массивов информации на ЭВМ. Одним из важнейших компонентов информационного обеспечения задач управления и принятия решений в системе Минводхоза СССР должен стать Мелиоративный кадастр.

Мелиоративный кадастр (МК) — это систематизированный, постоянно пополняемый и периодически уточняемый свод данных о состоянии земель мелиоративного фонда, о видах и объемах проводимых мелиораций. Объекты МК — мелиоративные системы и земли мелиоративного фонда.

Кадастр имеет иерархическую структуру — наиболее полный объем информации накапливается на нижнем (локальном) уровне, а информация верхних уровней, как правило, получается в результате анализа и агрегатирования базовых данных, собираемых по областям в разрезе хозяйств и административных районов. Наиболее важная часть информационных фондов МК нижнего уровня — характеристики природной среды, подразделяющиеся на следующие крупные блоки: климатический, почвенный, гидрологический, гидрогеологический, геоморфологический, инженерно-геологический и биологический.

Основная масса информации МК должна храниться в автоматизированном банке данных, так как только таким образом можно на современном уровне обеспечить снабжение плановых, проектных и других организаций, принимающих участие в процессе управления и принятия решений, полной и достоверной информацией. Для наиболее полного удовлетворения информационных потребностей, возникающих в процессе управления и принятия решений, создается Автоматизированная информационная система ведения Мелиоративного кадастра (АИСМК).

Комплексное рассмотрение вопросов разработки баз данных для Автоматизированной системы МК до настоящего времени не являлось предметом специального научного исследования.

Наиболее важный этап создания методических основ АИСМК — разработка информационной структуры. Информационная структура АИСМК определяется главным образом двумя факторами: организационной концепцией МК и функциональным назначением системы.

АИСМК предназначена для накопления и обработки информации об объектах МК — мелиоративных системах и землях мелиоративного фонда — и обеспечивает следующие функции: ориентацию пользователей в предметной области на концептуальном уровне и в базах данных; помощь в формировании запросов; коллективный доступ в диалоговом режиме для формирования запросов и просмотра ответов; создание банка пользователей и генерацию отчетов.



Рис. 1. Структура АИСМК

При проектировании структуры и организации АИСМК (рис. 1) был выбран интегрированный подход к структурной организации информации (концепция банков данных). Основу этого подхода составляет независимость структурной организации всех данных рассматриваемой предметной области от информационных потребностей функциональных задач. Выбор подхода обусловлен спецификой задач принятия решений — использование ненаправленной информации, большая доля нетрадиционных задач.

В качестве базового математического обеспечения АИСМК использована информационная документально-фактографическая система АСПИД-5.

Один из важных принципов, лежащий в основе АИСМК, — автоматизация сбора информации, базирующаяся на возможности использования узкоспециализированных банков данных смежных отраслей. Согласно этому принципу подсистема „Ввод” представляет собой совокупность системных средств АСПИД-5, предназначенных для структуризации и ввода информации в базы данных в соответствии с организационной концепцией МК, а также программ-конвертеров, преобразующих информацию внешних баз данных в анкетно-позиционный формат. Каждому внешнему источнику информации в АИСМК соответствует своя база. „Ввод” также предусматривает режим „ручного” ввода данных, собранных индивидуально для определенной задачи.

Подсистема „Синтез” реализует следующие функции:

- 1) управление базами данных и поиск информации по запросам;
- 2) синтез информации, полученной из различных внешних источников для составления целостной картины по запросу пользователя;
- 3) манипуляция данными с использованием семантических отношений базы знаний для обеспечения дополнительных „интеллектуальных” возможностей системы;

4) обеспечение режима выполнения прикладных задач, хранящихся в банке моделей.

База знаний АИСМК организована для хранения полезной информации, собранной и систематизированной в процессе создания информационных структур МК, но не использованной при разработке схем баз данных: таблицы, содержащие обобщающие названия для определенных числовых диапазонов значений показателя; морфологические таблицы, определяющие семантические зависимости между различными показателями; рекомендуемые мелиоративные мероприятия, улучшающие условия для данного показателя; таблицы оптимальных значений показателя для определенных сельскохозяйственных культур.

Выявленные на основе этих таблиц семантические отношения между показателями баз данных служат объектами базы знаний АИСМК.

Дополнительные „интеллектуальные” функции, позволяющие устанавливать соответствие между числовыми и лингвистическими значениями: искать информацию по „размытым” запросам, выдавать советы по рекомендуемым мелиоративным мероприятиям, расширять диапазон пользователей АИСМК. Кроме того, способность представлять неточные данные и манипулировать ими даст возможность использовать АИСМК для создания основы экспертной системы.



Рис. 2. Структура подсистемы „Вывод”

Взаимодействие пользователя АИСМК с подсистемой „Синтез” осуществляется в интерактивном режиме средствами подсистемы „Вывод”, которая обеспечивает диалоговый доступ, интерфейс с задачами пользователя, генерацию отсчетов.

Подсистема „Вывод” (рис. 2) реализует диалоговый интерфейс конечного пользователя с базами данных и программными ресурсами АИСМК. При создании подсистемы использованы основные виды диалога в режимах „инициатор-система” и „инициатор-пользователь”: вопрос — ответ; ввод директив (команд); манипулирование таблицами; выбор альтернатив из „меню”, а также их возможные комбинации.

Базовым математическим обеспечением служат языковые и программные средства поддержки формоориентированных сценариев диалога информсистем АСПИД-5.

Концепция АИСМК не требует сложного организационного обеспечения для эксплуатации, поскольку функционирует как пакет прикладных программ.

АИСМК предназначена для использования в научно-исследовательских и проектных институтах системы Минводхоза СССР и является базовой моделью, легко адаптируемой для региона, обслуживаемого данным институтом. Применение системы позволит перейти на качественно новый уровень обеспечения пользователей своевременной, достоверной и точной информацией.

УДК 626.810

НОРМИРОВАНИЕ КАЧЕСТВА ВОДЫ В ИСТОЧНИКАХ ОРОШЕНИЯ ЛИТОВСКОЙ ССР

Р. И. АКСОМАЙТЕНЕ, кандидат сельскохозяйственных наук
К. М. ГАЙГАЛИС, кандидат географических наук
Ю. И. МАРЦУЛАНЕНЕ

*Литовский научно-исследовательский институт
гидротехники и мелиорации*

Для территории Литовской ССР характерно избыточное увлажнение вследствие превышения атмосферных осадков над испарением, транспирацией и инфильтрацией. Избыточно увлажненные почвы составляют 3613 тыс. га, или 55,8% территории республики. Поэтому основным мелиоративным мероприятием является осушение.

В настоящее время интенсивно осушено 77% фонда переувлажненных земель.

Неравномерность поступления и расхода влаги по годам и внутри вегетационного периода приводит к тому, что суммарное испарение в отдельные периоды года больше количества выпадающих осадков.

За май – август растения, особенно овощные культуры и многолетние травы, часто испытывают недостаток влаги. Для поддержания оптимальной влажности в отдельные годы недостает 1000...230 мм. В то же время наблюдается избыток тепловых ресурсов.

Урожайность этих культур в засушливые годы значительно снижается. Поэтому при наличии технических возможностей и экономической целесообразности применяют двустороннее регулирование водного режима почв, строят осушительно-увлажнительные мелиоративные системы.

Орошаемые земли в республике занимают 40 тыс. га, что составляет в среднем 0,8% общей территории. Основной способ орошения – дождевание. Примерно $\frac{2}{3}$ этих земель занято под культурными пастбищами и сенокосами и $\frac{1}{3}$ — под овоще-кормовыми севооборотами. Около 5 тыс. га многолетних трав орошают животноводческими стоками, а на 35 тыс. га для орошения используют маломинерализованные природные воды рек, озер и водохранилищ.

В 13% исследованных вод минерализация составляет до 550 мг/л, в остальных не превышает 1 г/л. Соотношение $\text{Ca}^{2+}/\text{Na}^{+}$ этих вод значительно выше 2. Исключение составляет вода наиболее загрязненных рек республики – Нямунаса, Нерис, Кульпе, где это соотношение равно 1,2...1,5, что позволяет отнести эти источники к второму классу орошения (по классификации С. Я. Бездниной).

Оросительная вода республики вполне удовлетворительна и по соотношению $\text{Ca}^{2+}/\text{Mg}^{2+}$, и по содержанию HCO_3^- , Ca^{2+} и Mg^{2+} . Среднее значение pH за вегетационный период в оросительных водах республики меняется от 7,5 до 8,5, в отдельных случаях оно достигает 9,02, но это неопасно для кислых почв, преобладающих в республике. Только для районов с типичными дерново-карбонатными почвами нужно более строгое регламентирование по отношению к pH.

Температура поверхностных вод как в начале, так и в конце вегетационного периода редко достигает 15°C; она равна температуре почвы или превышает ее на 1,6...3,4°C. Только в восточной части республики, где для орошения сельскохозяйственных культур используют воду из русел рек, питающихся холодной грунтовой водой, орошение целесообразно проводить в определенное время суток, чтобы уменьшить разницу между температурами почвы и воды (2...3°C).

Для всех поверхностных вод республики характерно повышенное содержание органических веществ гумусового происхождения. Это обуславливает и довольно высокие значения БПК₅ оросительных вод, которые колеблются от 1,7 до 7,2 мг O₂ на 1 л в водохранилищах и от 2,38 до 39,7 мг O₂ на 1 л в реках, из которых некоторые сильно загрязнены промышленными стоками.

Количество цинка и меди в оросительных водах невелико – не превышает тысячной доли мг/л и соответственно равно 0,4 и 0,9% допустимой нормы. Почвы республики не богаты микроэлементами, поэтому при орошении они получают небольшую часть рекомендуемой подкормки.

Концентрация железа в исследованных поверхностных водах Литовской ССР меняется от 0,23 до 4,5 мг/л. Количество железа, превышающее норму, допустимую для оросительных вод — 5,0 мг/л, обнаружено в некоторых пробах из рек, загрязненных стоками.

Концентрация NO_3 незначительна и составляет 0,7...3,4% предельно допустимой нормы.

Из веществ, содержание которых в воде допустимо в микроколичествах, в реках республики обнаружено наличие свинца, фенолов и СПАВ.

Концентрация свинца даже в загрязненных промышленными стоками водах не превышает сотых долей мг/л, а значит, допустимой для оросительных вод нормы 0,2 мг/л.

Содержание фенолов в 40% исследованных вод превышает предельно допустимую концентрацию (0,001 мг/л) и меняется от 0,001 до 0,003 мг/л даже в воде малых рек и водохранилищ, которые не загрязняются промышленными сточными водами. Часть фенолов в поверхностных водах природного происхождения образовалась в результате процессов разложения листьев, древесины; попавшие в почву в указанных выше количествах они будут метаболизированы почвенными микроорганизмами.

По данным Литовского республиканского управления по гидрометеорологии за 1987 г., максимальное содержание детергентов в реках республики (вода которых используется для орошения) не превышает 0,049 мг/л (предельно допустимая концентрация СПАВ в водоемах санитарно-бытового и рыбохозяйственного водопользования 0,1 мг/л).

Подлежат нормированию и частому контролю бактериологические показатели прежде всего в водах, используемых для орошения овощных культур. Колиндекс в поверхностных водах резко меняется, особенно в реках и водохранилищах, загрязненных промышленными стоками или стоками с территорий животноводческих ферм.

За вегетационный период с оросительной водой в почву в среднем поступает, кг/га: NO_3^- — 9; K^+ — 25; Na^+ — 8,9; Ca^{2+} — 150; Mg^{2+} — 76; SO_4^{2-} — 116; Cl^- — 61; HCO_3^- — 455.

Опасность натриевого, магниевоегo осолонцевания или развития процессов содообразования при орошении природными водами во влажном и относительно прохладном климате республики незначительна.

В условиях избыточного увлажнения с преобладанием промывного водного режима происходят значительное перемещение водорастворимых веществ почвы, потеря их из корнеобитаемого слоя, вынос поверхностными, дренажными и грунтовыми водами.

Вынос водорастворимых веществ дренажным стоком обуславливается в основном стоком и химическим составом этих вод. Дренажный сток составляет 25...45% годового количества осадков. При орошении на суглинистых почвах он увеличивается на 30...70%. Водоотведение составляет 5...10% потребляемой для орошения воды.

За год дренажными водами вымывается, кг/га: Cl^- — 17...95, SO_4^{2-} — 41...120; HCO_3^- — 196...780; NO_3^- — 0,1...34,0; Ca^{2+} — 75...213; Mg^{2+} — 11...64, Na^+ — 3...22; K^+ — 0,6...1,7; P — 0,5...0,8; C — 0,6...18.

Химический состав дренажных вод при орошении и без орошения существенно не различается. Возрастание выноса при орошении зависит от увеличения дренажного стока.

Вымывание водорастворимых веществ в течение года обуславливается ходом дренажного стока и его объемом. Зимой вымывается 29...45%, весной — 3,3...5,1, летом — 5,7...22,1, осенью — 37,6...53,4% вымытого за год количества.

Для сохранения питательных веществ в почвах орошаемых дождеванием лугов и пастбищ нормы полива, с тем чтобы не образовался сток, не должны превышать 25...30 мм на минеральных и 40...50 мм на торфяных почвах при соблюдении режима орошения.

По данным исследований, на легких и среднесуглинистых почвах средняя прибавка урожая многолетних трав от орошения составляет 3,01 т/га абсолютно сухого вещества.

Ведутся исследования с возрастающими нормами внесения удобрений при орошении многолетних трав. Варианты: I — $\text{N}_{180}\text{P}_{80}\text{K}_{100}$; II — $\text{N}_{270}\text{P}_{100}\text{K}_{120}$; III — $\text{N}_{360}\text{P}_{120}\text{K}_{140}$. Средние данные (1986–1988 гг.) урожая зеленой массы соответственно по вариантам — при орошении 58,7; 74,1; 76,6, на контроле 52,4; 59,4; 62,6 т/га. Прибавка 6,3; 14,7 и 14,0 т/га.

Урожай абсолютно сухого вещества в среднем за 1986–1987 гг. по вариантам при орошении составляет 11,06; 12,39; 13,00, на контроле 9,96; 10,86; 10,99 т/га. Прибавка 1,1; 1,53; 2,01 т/га.

Не наблюдается существенных различий в содержании N, P, K в кормах ни при орошении, ни при увеличении норм удобрений. Концентрация N — NO_3 при повышении норм внесения удобрений и при орошении возрастает.

По средним данным 1986–1987 гг., она соответственно составляла 640, 1190, 2350 мг/кг на контроле и 515, 1390, 2780 мг/кг при орошении. Отсюда видно, что при норме $\text{N}_{360}\text{P}_{120}\text{K}_{140}$ содержание нитратов в кормах превышает критическое значение (0,2%).

Совместными исследованиями ЛитСХА, ЛитНИИЗа и ЛитНИИГиМа определены рациональный режим увлажнения, нормы внесения удобрений, подготовлены технологии контроля за уходом и использованием орошаемых лугов и пастбищ.

Однако в большинстве хозяйств республики продуктивность орошаемых культурных лугов и пастбищ сравнительно низкая. Если возможная урожайность, достигаемая на опытных участках, составляет 8,0...10,0 т/га корм. ед., то в производственных условиях 5,0...6,0 т/га.

ЗАВИСИМОСТЬ УРОЖАЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР ОТ КАЧЕСТВА ОРОСИТЕЛЬНОЙ ВОДЫ НА МЕЛИОРИРОВАННЫХ ПОЧВАХ АРМЯНСКОЙ ССР

В. Н. НУРИДЖАНЫН, кандидат сельскохозяйственных наук

НИИ почвоведения и агрохимии Госагропрома Армянской ССР

Ограниченность водных ресурсов республики в значительной мере регламентирует развитие орошаемого земледелия и интенсификацию работ по химической мелиорации содовых солонцов-солончаков Араратской равнины.

В указанных условиях рациональное использование имеющихся и поиск новых водоисточников становятся важной народнохозяйственной задачей.

Использование различных групп вод для орошения и промывок связывается с соответствием их состава выработанным критериям, нарушение которых ведет к резкому падению урожайности или к вторичному засолению почв.

Таковыми группами вод для региона Араратской равнины (в порядке убывающей пригодности составов) являются: речные, артезианские, субартезианские, дренажные (из скважин вертикального дренажа) и коллекторно-дренажные. Первые четыре группы вод без каких-либо ограничений и негативных последствий используют при орошении и промывках. Следует отметить, что в силу большой слоистости Араратской равнины по вертикальному профилю не исключены случаи, когда промывные воды через гидрогеологические „окна” подпитывают подземные субартезианские воды (явление, названное нами вторичной мелиоративной напорностью в отличие от известной вторичной ирригационной напорности, возникающей только от профильтрации оросительных вод).

Естественно, что это ведет к временному (до окончания промывок) ухудшению их ирригационных качеств. В этих относительно редких случаях использование субартезианских вод связывается с непременным контролем их состава.

Состав последней группы подвержен изменениям во времени в зависимости от ряда факторов: характера напорности подземных вод, интенсивности промывок, режима орошения и параметров дрен.

Использование коллекторно-дренажного стока ограничивается специфическими гидрогеолого-мелиоративными условиями региона. В первую очередь использование дренажных вод обусловлено механическим составом почв; один и тот же состав может быть приемлем для почв с легким механическим составом и непригодным для тяжелых почв.

Дифференциация основных групп вод Араратской равнины по их пригодности для мелиоративных целей (промывка, орошение) была выполнена по различным оценочным критериям: коэффициенту ионного обмена SAR, классификации ВНИИГиМа, ирригационному коэффициенту.

Этот ряд оценок пригодности основных групп вод составлен по среднегодовым данным (см. таблицу). Общая минерализация, соотношение ионов в составе речных, артезианских, дренажных вод (вертикальный дренаж) не вызывают засоления или осолонцевания почв при их использовании для орошения. Первый состав относится к начальному периоду промывки почв, второй — к заключительной стадии. Дальнейшее разбавление дренажных вод, происходящее в коллекторе, превращает сток в пригодный для использования в мелиоративных целях. Прогнозы относительно вероятности засоления или осолонцевания почв, построенные на основе перечисленных критериев, в основном благоприятны и подтверждены данными полевых опытов.

Поливы, произведенные хлоридно-сульфатно-гидрокарбонатными водами дренажного стока и речной водой, обеспечили одинаковую урожайность сена люцерны в пределах 17,0 т/га, хотя, как видно из приводимых составов, минерализация дренажного стока вдвое выше речного. Примененные критерии пригодности констатируют преимущество состава речных вод. Нивелировку по конечным объективным урожайным данным следует объяснить промывным режимом орошения в случае использования вод коллекторно-дренажного стока на фоне стабильно функционирующей дренажной системы.

Химический состав основных групп вод Араратской равнины, мг·экв/л

pH	Сумма солей, г/л	CO ₃ ^{''}	HCO ₃ ['] (общ.)	Cl [']	SO ₄ ^{''}	Ca ^{''}	Mg ^{''}	Na ⁺ +K ⁺ (по разн.)	SAR
<i>Речные воды</i>									
7,90	0,576	0,60	5,00	3,00	3,02	3,95	3,05	4,02	2,1
<i>Артезианские воды</i>									
8,20	0,256	1,20	3,20	1,20	1,40	1,70	1,10	3,00	2,5
<i>Воды вертикального дренажа</i>									
8,00	0,522	0,80	3,40	2,90	0,85	2,50	2,00	2,65	2,8
<i>Дренажный сток</i>									
8,90	6,988	6,80	16,60	42,60	50,60	5,45	28,05	76,30	22,3
8,10	1,784	2,40	8,90	6,60	14,02	4,10	9,30	16,12	6,2
<i>Коллекторно-дренажный сток</i>									
8,35	1,088	2,00	7,10	5,30	6,53	3,85	6,10	8,98	3,7
<i>Грунтовые воды</i>									
8,70	1,856	8,80	26,80	3,90	2,77	0,90	1,55	30,42	27,4

Вместе с тем необходимо отметить, что более чем 25-летний опыт использования различных по составу групп вод для орошения и промывок, дающий основание для проверки степени применимости существующих многочисленных критериев пригодности составов для мелиоративных целей, указывает как на большую разноречивость прогнозных оценок, так и на их несоответствие фактическим положениям.

Указанное обстоятельство свидетельствует о многофакторности системы „вода — почва — растение” и необходимости научного обоснования применимости существующих систем оценки качества оросительной воды в условиях Армянской ССР.

СОДЕРЖАНИЕ

<i>Предисловие</i>	3
Регламентирование и улучшение качества оросительной воды. <i>Безднина С. Я.</i>	4
Некоторые методы и сооружения для регулирования качества коллекторно-дренажных вод. <i>Магомедов В. Г., Захарченко М. А.</i>	11
Задачи и возможности активации водных систем в интенсивных системах мелиорации. <i>Циприс Д. Б., Попов Ю. Д., Колосько Г. Г.</i>	17
О результатах орошения сельскохозяйственных культур водой, активированной магнитным полем. <i>Яковлев Н. П., Шушпанов И. А., Фомин Г. И.</i> . .	23
Улучшение качества оросительной воды методом униполярной обработки. <i>Духовный В. А., Даниелова Л. Н., Джалилов З. Х.</i>	35
Роль микро- и макроудобрений в улучшении оросительных свойств минерализованных вод. <i>Грамматикати О. Г., Аббаева А. А.</i>	41
Улучшение качества воды для систем микроорошения. <i>Журба М. Г.</i>	45
Улучшение качества поливной воды на оросительных системах Украинской ССР. <i>Хрустова Т. Н., Завалий Н. И., Черная Ж. А., Чабась В. А.</i>	53
Условия применения для полива вод повышенной минерализации. <i>Грамматикати О. Г.</i>	62
Использование минерализованных поверхностных и шахтных вод для орошения земель Южного Урала и Зауралья. <i>Мосиенко Н. А.</i>	68
Технико-экономические аспекты нормирования качества оросительной воды. <i>Журба М. Г.</i>	71
Нормирование и контроль качества оросительной воды и повторное использование коллекторно-дренажных вод. <i>Соколов С. А.</i>	77
Использование сточных вод при поливе сельскохозяйственных угодий в Нижнем Поволжье. <i>Сергиенко Л. И.</i>	86
Методические положения нормирования состава сточных вод для орошения. <i>Кутепов Л. Е.</i>	92
Проблемы почвенно-мелиоративной оценки качества поливной воды. <i>Зимовец Б. А., Хитров Н. Б.</i>	100
Влияние длительного орошения минерализованными водами на темно-каштановые почвы Украины. <i>Кизяков Ю. Е.</i>	107
Принцип оценки пригодности естественных и трансформированных вод для орошения южных черноземов. <i>Хохленко Т. Н., Коровель А. Г.</i>	113
Экспериментальные исследования влияния химического состава оросительных вод на плодородие почв Сыртового Заволжья. <i>Решеткина Н. М., Браун В. А.</i>	120
Влияние орошения слабоминерализованными водами на луговые почвы Узбекистана. <i>Глухова Т. П., Сабитова З. Х.</i>	126
Состояние и тенденция изменения качества воды источников орошения в УССР. <i>Тимченко И. И., Енаки И. Г., Шматько Е. М.</i>	133

Интенсификация процессов самоочищения в малых реках при снижении токсичности сбросных вод. <i>Дубова Н. А., Волик Л. И., Гонтарь Ю. В.</i>	139
Новые инженерные методы регулирования качества воды в реках. <i>Коваленко Э. П.</i>	144
О методах управления водными ресурсами с учетом сельскохозяйственного загрязнения. <i>Пряжинская В. Г.</i>	146
Оценка сельскохозяйственного загрязнения рек при планировании орошения. <i>Беляева Т. В.</i>	154
О создании комплексно-целевого пакета программ по прогнозу качества воды и управления состоянием водных объектов. <i>Гудзенчук З. В., Самусева Е. Ю.</i>	162
Информационная структура автоматизированной системы Мелиоративного кадастра. <i>Шестопалова О. В., Решетников В. Н.</i>	167
Нормирование качества воды в источниках орошения Литовской ССР. <i>Р. И. Аксомайтене, К. М. Гайгалис, Ю. И. Марцуланене</i>	171
Зависимость урожая сельскохозяйственных культур от качества оросительной воды на мелиорированных почвах Армянской ССР. <i>В. Н. Нуриджанян</i>	175
<i>Рефераты статей к сборнику „Повышение качества оросительной воды“</i>	181

ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА ОРОСИТЕЛЬНОЙ ВОДЫ

Сборник научных трудов

Зав. редакцией *А. И. Гераськина*

Художник *А. Е. Григорьев*

Художественный редактор *Н. А. Никонова*

Технический редактор *Т. Б. Платонова*

Корректор *Г. В. Абатурова*

ИБ № 6451

Сдано в набор 24.04.89. Подписано к печати 03.11.89. Т-13031. Формат 60 × 88¹/₁₆.
Бум. кн.-журн. имп. Гарнитура Пресс-Роман. Печать офсетная. Усл. печ. л. 11,76.
Усл. кр.-отт. 12. Уч.-изд. л. 14,16. Изд. № 041. Тираж 2500 экз. Заказ № 1410.
Цена 2 р. 40 к.

Ордена Трудового Красного Знамени ВО „Агропромиздат”, 107807, ГСП-6,
Москва, Б-78, ул. Садовая-Спасская, 18.

Московская типография № 8 Государственного комитета СССР по печати,
101898, Москва, Хохловский пер., 7

РЕФЕРАТЫ СТАТЕЙ К СБОРНИКУ
„ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА ОРОСИТЕЛЬНОЙ ВОДЫ“

УДК 626.810

Безднина С. Я. РЕГЛАМЕНТИРОВАНИЕ И УЛУЧШЕНИЕ КАЧЕСТВА ОРОСИТЕЛЬНОЙ ВОДЫ. – В кн.: Повышение качества оросительной воды/ Всесоюзн. акад. с.-х. наук им. В. И. Ленина. М., 1990, с. 4.

Изложены научно-методические основы регламентирования качества оросительной воды, дана классификация оценки качества воды для орошения. Рассмотрены принципиальные положения повышения качества рационального использования минерализованных, в том числе коллекторно-дренажных, вод.

Таблиц – 1.

УДК 628.394:556, 338:634.67

Магмедов В. Г., Захарченко М. А. НЕКОТОРЫЕ МЕТОДЫ И СООРУЖЕНИЯ ДЛЯ РЕГУЛИРОВАНИЯ КАЧЕСТВА КОЛЛЕКТОРНО-ДРЕНАЖНЫХ ВОД. – В кн.: Повышение качества оросительной воды/ Всесоюзн. акад. с.-х. наук им. В. И. Ленина. М., 1990, с. 11.

Рассмотрены возможности формирования качества коллекторно-дренажных вод на массивах орошения в зонах неустойчивого увлажнения. Предложен метод регулирования качества коллекторно-дренажных вод непосредственно в процессе их формирования на массивах орошения. Для зон интенсивного сельскохозяйственного производства и орошения сточными водами, а также для зон, где используются подземные воды, рассмотрена возможность применения биоинженерных сооружений регулирования качества воды, отличительная особенность которых искусственно созданный биогеоценоз.

Иллюстраций – 3.

УДК 626.810

Циприс Д. Б., Попов Ю. Д., Колосько Г. Г. ЗАДАЧИ И ВОЗМОЖНОСТИ АКТИВАЦИИ ВОДНЫХ СИСТЕМ В ИНТЕНСИВНЫХ СИСТЕМАХ МЕЛИОРАЦИИ. – В кн.: Повышение качества оросительной воды/ Всесоюзн. акад. с.-х. наук им. В. И. Ленина. М., 1990, с. 17.

Приведены результаты исследований эффективности активации водных систем. В связи с интенсификацией сельскохозяйственного производства мелиоративные системы становятся энергонасыщенными, что делает возможным их активацию – воздействие физических полей на воду и растворенные в ней вещества. Установлено: такая обработка способствует улучшению качества оросительной воды. Подчеркнуто, что лабораторные исследования по активации водных систем должны моделировать условия и технологию их применения.

Иллюстраций – 2.

Яковлев Н. П., Шушпанов И. А., Фомин Г. И. О РЕЗУЛЬТАТАХ ОРОШЕНИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР ВОДОЙ, АКТИВИРОВАННОЙ МАГНИТНЫМ ПОЛЕМ. — В кн.: Повышение качества оросительной воды/Всесоюзн. акад. с.-х. наук им. В. И. Ленина. М., 1990, с. 23.

Приведены результаты исследований эффективности орошения сельскохозяйственных культур водой, активированной магнитным полем. Представлена рабочая гипотеза, объясняющая механизм магнитной активации водных систем. Дано описание аппарата магнитной активации АМОВ-3 для использования на дождевальными машинах ДДА-100М (А), „Фрегат” и „Волжанка”. На основе лабораторных, лабораторно-полевых и полевых испытаний показано, что орошение омагниченной водой способствует развитию более мощного ассимиляционного аппарата и, как следствие, получению более высокого урожая сельскохозяйственных культур.

Таблиц — 5. Иллюстраций — 2.

Духовный В. А., Даниелова Л. Н., Джалилов З. Х. УЛУЧШЕНИЕ КАЧЕСТВА ОРОСИТЕЛЬНОЙ ВОДЫ МЕТОДОМ УНИПОЛЯРНОЙ ОБРАБОТКИ. — В кн.: Повышение качества оросительной воды/Всесоюзн. акад. с.-х. наук им. В. И. Ленина. М., 1990, с. 35.

Даны результаты лабораторных и полевых исследований по применению метода униполярной электроактивации с целью улучшения качества оросительных и коллекторно-дренажных вод. Установлено, что обработка в зоне отрицательного электрода повышает биологическую активность КВД и одновременно снижает их минерализацию; орошение униполяризованной водой ускоряет все фазы развития хлопчатника и повышает его урожайность.

Таблиц — 2.

Грамматикати О. Г., Аббаева А. А. РОЛЬ МИКРО- И МАКРОУДОБРЕНИЙ В УЛУЧШЕНИИ ОРОСИТЕЛЬНЫХ СВОЙСТВ МИНЕРАЛИЗОВАННЫХ ВОД. — В кн.: Повышение качества оросительной воды/Всесоюзн. акад. с.-х. наук им. В. И. Ленина. М., 1990, с. 41.

Приведены результаты опытов по снижению вредного действия солей, содержащихся в сбросных водах рисовых оросительных систем, на сельскохозяйственные культуры и почву путем внесения с оросительной водой микро- и макроудобрений. Показано, что при поливе люцерны водой, содержащей около 5,5 г/л солей, с одновременным внесением макроудобрений (160 кг/га аммофоски) и микроудобрений (меди, молибдена, бора, марганца и кобальта, всего 543 г/га) урожайность люцерны достигает 17 т/га, причем микроэлементы значительно повышают эффективность макроудобрений (урожайность без удобрений 12,3 т/га).

Таблиц — 4.

УДК 631.674 (478.9)

Журба М. Г. УЛУЧШЕНИЕ КАЧЕСТВА ВОДЫ ДЛЯ СИСТЕМ МИКРО-ОРОШЕНИЯ. – В кн.: Повышение качества оросительной воды/Всесоюзн. акад. с.-х. наук им. В. И. Ленина. М., 1990, с. 45.

Изложены основные причины, обуславливающие необходимость улучшения качества оросительной воды перед ее подачей в водораспределительные сети систем микроорошения. Приведены механические и технологические характеристики современных отечественных и зарубежных средств очистки оросительной воды и указаны перспективные направления дальнейшей интенсификации их работы.

Таблиц – 5.

УДК 631.67:628.386

Хрустова Т. Н. и др. УЛУЧШЕНИЕ КАЧЕСТВА ПОЛИВНОЙ ВОДЫ НА ОРОСИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМАХ УКРАИНСКОЙ ССР. – В кн.: Повышение качества оросительной воды/Всесоюзн. акад. с.-х. наук им. В. И. Ленина. М., 1990, с. 53.

Оценены качественный состав и пригодность оросительной воды; предложены способы подготовки ее к поливам, комплекс агромероприятий, направленных на сохранение и повышение плодородия земель при орошении минерализованными водами. Разработаны оптимальные параметры нейтрализации поливной воды серной кислотой; установлены эффективные нормы внесения гипса и фосфогипса при орошении. Исследованы содержание и фракционно-групповой состав гумуса черноземов южных, орошаемых водой хлоридно-натриевого типа, при условии включения в севооборот люцерны. Обнаружено перераспределение запасов общего гумуса и связанных с кальцием гуминовых кислот.

Таблиц – 2. Иллюстраций – 4.

УДК 626.810

Грамматикати О. Г. УСЛОВИЯ ПРИМЕНЕНИЯ ДЛЯ ПОЛИВА ВОД ПОВЫШЕННОЙ МИНЕРАЛИЗАЦИИ. – В кн.: Повышение качества оросительной воды/Всесоюзн. акад. с.-х. наук им. В. И. Ленина. М., 1990, с. 62.

Рассмотрены условия, при которых возможно использовать для орошения воды повышенной минерализации. Даны сведения о влиянии минерализованных вод на почву и растения. Подчеркнуто особое значение внесения одновременно с оросительной водой микро- и макроудобрений.

Таблиц – 2. Иллюстраций – 1.

Мосиенко Н. А. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МИНЕРАЛИЗОВАННЫХ ПОВЕРХНОСТНЫХ И ШАХТНЫХ ВОД ДЛЯ ОРОШЕНИЯ ЗЕМЕЛЬ ЮЖНОГО УРАЛА И ЗАУРАЛЬЯ. – В кн.: Повышение качества оросительной воды/ Всесоюзн. акад. с.-х. наук им. В. И. Ленина. М., 1990, с. 68.

На основе анализа природно-климатических условий степной зоны Южного Урала и Зауралья показана необходимость регулярного орошения. Рассмотрены вопросы использования минерализованных вод (поверхностных и шахтных) для орошения садово-ягодных и овощных культур на бедных южных черноземах легкого и среднего механического состава. Дан прогноз возможного засоления под влиянием орошения пресными (менее 1,0 г/л) и минерализованными (более 2,0 г/л) водами автоморфных почв этих регионов.

Журба М. Г. ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ НОРМИРОВАНИЯ КАЧЕСТВА ОРОСИТЕЛЬНОЙ ВОДЫ. – В кн.: Повышение качества оросительной воды/ Всесоюзн. акад. с.-х. наук им. В. И. Ленина. М., 1990, с. 71.

Даны решения оптимизационных задач по рациональному выбору средств водоочистки, конструкций и режима работы капельных водовыпусков, а также технологии промывки поливной сети, позволяющих снизить требования к качеству оросительной воды. Приведены расчетные формулы для определения времени стабильного действия капельниц и минимальных приведенных затрат на строительство и эксплуатацию систем. Рассмотрены структурные модели оптимизации режимов работы систем.

Иллюстраций – 3.

Соколов С. А. НОРМИРОВАНИЕ И КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА ОРОСИТЕЛЬНОЙ ВОДЫ И ПОВТОРНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОЛЛЕКТОРНО-ДРЕНАЖНЫХ ВОД. – В кн.: Повышение качества оросительной воды/ Всесоюзн. акад. с.-х. наук им. В. И. Ленина. М., 1990, с. 77.

Рассмотрены вопросы нормирования качества оросительных вод по показателям, влияющим на засоление, осолонцевание, проницаемость почвы и др. В качестве основы нормирования предложены рекомендации ФАО. Обоснована необходимость разработки региональных нормативов. Обсуждены основные проблемы контроля качества оросительных и дренажных вод. Показаны пути обеспечения пространственной и временной репрезентативности гидрохимической информации при одновременной оптимизации технических средств контроля. Описана расчетная математическая модель регулирования вторичного использования возвратного стока. Получены аналитические формулы для практических расчетов.

Таблиц – 3.

УДК 628.37

Сергиенко Л. И. **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СТОЧНЫХ ВОД ПРИ ПОЛИВЕ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ УГОДИЙ В НИЖНЕМ ПОВОЛЖЬЕ.** — В кн.: Повышение качества оросительной воды/Всесоюзн. акад. с.-х. наук им. В. И. Ленина. М., 1990, № 18, с. 86.

Даны критерии мелиоративной и агрохимической оценки поливных сточных вод основных категорий. Рекомендованы режимы орошения и мероприятия по борьбе с негативными явлениями, вызывающими ухудшение агрометрических свойств почвы и гидрохимического режима грунтовых вод в аридной зоне при орошении сточными водами.

УДК 628.312

Кутепов Л. Е. **МЕТОДИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ НОРМИРОВАНИЯ СОСТАВА СТОЧНЫХ ВОД ДЛЯ ОРОШЕНИЯ.** — В кн.: Повышение качества оросительной воды/Всесоюзн. акад. с.-х. наук им. В. И. Ленина. М., 1990, с. 92.

Отмечено, что при орошении как природными, так и сточными минерализованными водами почв, подверженных засолению и осолонцеванию, необходимо соблюдать режим орошения, обеспечивающий промывной режим при условии дренированности. Приведены допустимые концентрации азота, фосфора и калия в оросительные нормы при более высоком содержании этих и других элементов. Рекомендовано оценивать пригодность сточных вод по органическим загрязнениям путем биотестирования.

Таблиц — 3.

УДК 626.810

Зимовец Б. А., Хитров Н. Б. **ПРОБЛЕМЫ ПОЧВЕННО-МЕЛИОРАТИВНОЙ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ПОЛИВНОЙ ВОДЫ.** — В кн.: Повышение качества оросительной воды/Всесоюзн. акад. с.-х. наук им. В. И. Ленина. М., 1990, с. 100.

Рассмотрены современные проблемы оценки и использования минерализованных вод для орошения в различных почвенно-мелиоративных условиях. Показано, что почвенно-мелиоративная оценка пригодности воды должна учитывать прежде всего селективные свойства почв, непосредственно связанные с ионно-солевым составом.

УДК 631.6.03.631.452 (477)

Кизяков Ю. Е. ВЛИЯНИЕ ДЛИТЕЛЬНОГО ОРОШЕНИЯ МИНЕРАЛИЗОВАННЫМИ ВОДАМИ НА ТЕМНО-КАШТАНОВЫЕ ПОЧВЫ УКРАИНЫ. — В кн.: Повышение качества оросительной воды/Всесоюзн. акад. с.-х. наук им. В. И. Ленина. М., 1990, с. 107.

На основе многолетних режимных наблюдений показано, что при длительном орошении водами повышенной минерализации (1 ... 2 г/л) требуется применение фосфогипса, навоза, кальциевой селитры, азотной кислоты, глубокой плантажной вспашки. Установлено, что внедрение такой системы почвенно-мелиоративных мероприятий дает высокий агрономический эффект.

УДК 631.67.03:536.77

Хохленко Т. Н., Коровель А. Г. ПРИНЦИП ОЦЕНКИ ПРИГОДНОСТИ ЕСТЕСТВЕННЫХ И ТРАНСФОРМИРОВАННЫХ ВОД ДЛЯ ОРОШЕНИЯ ЮЖНЫХ ЧЕРНОЗЕМОВ. — В кн.: Повышение качества оросительной воды/Всесоюзн. акад. с.-х. наук им. В. И. Ленина. М., 1990, с. 113.

На основе термодинамического представления природы сорбции дана оценка пригодности естественных, трансформированных и мелиорированных вод для орошения южных черноземов. Для прогнозирования направленности процессов в сторону ощелачивания предложено использовать известковый потенциал ($pH=0,5pCa$). Показано, что под влиянием орошения низкоминерализованными водами, особенно трансформированными, в южных черноземах натрий-кальциевый потенциал понижается до значений, близких к критическим, и несколько повышается известковый потенциал. Поэтому целесообразно вносить в несолонцеватые черноземы в небольших дозах гипс. Применение комплексной химической мелиорации — внесение серной кислоты и гипса — значительно повышает энергетический уровень сорбции натрия.

Таблиц — 5.

УДК 631.4:631.6

Решеткина Н. М., Браун В. А. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ОРОСИТЕЛЬНЫХ ВОД НА ПЛОДОРОДИЕ ПОЧВ СЫРТОВОГО ЗАВОЛЖЬЯ. — В кн.: Повышение качества оросительной воды/Всесоюзн. акад. с.-х. наук им. В. И. Ленина. М., 1990, с. 120.

Рассмотрено влияние оросительных вод различного химического состава минерализацией менее 1 г на водно-солевой режим обыкновенных и южных черноземов Сыртового Заволжья. Показано, что применение воды с преобладанием натрия по сравнению с магнием и кальцием приводит к развитию процессов ионообменной сорбции и способствует увеличению содержания поглощенного натрия в ППК при общей незначительной минерализации.

Таблиц — 4. Иллюстраций — 1.

Линия отреза

УДК 631.445.56:631.02 (575.1)

Глухова Т. П., Сабитова З. Х. ВЛИЯНИЕ ОРОШЕНИЯ СЛАБОМИНЕРАЛИЗОВАННЫМИ ВОДАМИ НА ЛУГОВЫЕ ПОЧВЫ УЗБЕКИСТАНА. — В кн.: Повышение качества оросительной воды/Всесоюзн. акад. с.-х. наук им. В. И. Ленина. М., 1990, с. 126.

Показано, что систематическое применение вод повышенной минерализации (1...2 г/л) оказывает отрицательное влияние на продуктивность орошаемых почв и урожайность хлопчатника.

Таблиц — 6.

УДК 634.67.03

Тимченко И. И., Енаки И. Г., Шматько Е. М. СОСТОЯНИЕ И ТЕНДЕНЦИЯ ИЗМЕНЕНИЯ КАЧЕСТВА ВОДЫ ИСТОЧНИКОВ ОРОШЕНИЯ В УССР. — В кн.: Повышение качества оросительной воды/Всесоюзн. акад. с.-х. наук им. В. И. Ленина. М., 1990, с. 133.

Дан анализ изменения качества оросительной воды в руслах основных рек УССР начиная с 1956 г. Приведены характеристики поливных вод в малых реках региона, особенности трансформации качества воды в лиманно-устьевых комплексах рек Причерноморья, а также оросительные свойства сточных вод. Сделан вывод об ухудшении качества поливных вод и возрастании разнообразия их видов, что вызывает необходимость применения более дифференцированных систем орошаемого земледелия.

Таблиц — 5.

УДК 628.387.3+628.394

Дубова Н. А., Волик Л. И., Гонтарь Ю. В. ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ПРОЦЕССОВ САМООЧИЩЕНИЯ В МАЛЫХ РЕКАХ ПРИ СНИЖЕНИИ ТОКСИЧНОСТИ СБРОСНЫХ ВОД. — В кн.: Повышение качества оросительной воды/Всесоюзн. акад. с.-х. наук им. В. И. Ленина. М., 1990, с. 139.

Показано значение снижения токсичности сточных вод для восстановления качества воды в принимающих водных объектах. Приведены данные исследования влияния сточных вод разной степени токсичности на функциональное состояние двух малых рек, испытывающих значительные антропогенные нагрузки. Основным направлением интенсификации процессов самоочищения в малых реках, используемых для сброса сточных вод, является максимально возможное снижение токсичности этих вод для гидробионтов. В качестве тест-объекта для токсикологического контроля предложена Дафния магна.

УДК 621.565 (088.8)

Коваленко Э. П. **НОВЫЕ ИНЖЕНЕРНЫЕ МЕТОДЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ КАЧЕСТВА ВОДЫ В РЕКАХ.** — В кн.: Повышение качества оросительной воды/Всесоюзн. акад. с.-х. наук им. В. И. Ленина. М., 1990, с. 144.

Рассмотрены новые технические решения, разработанные в Центральном научно-исследовательском институте комплексного использования водных ресурсов Минводхоза СССР, для регулирования интенсификации процесса разбавления в водотоке сбрасываемых в него загрязненных вод за счет энергии самого потока, температуры воды, ее минерализации и содержания в ней кислорода.

УДК 556.18:626/628

Пряжинская В. Г. **О МЕТОДАХ КОМПЛЕКСНОГО УПРАВЛЕНИЯ ВОДНЫМИ РЕСУРСАМИ С УЧЕТОМ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ.** — В кн.: Повышение качества оросительной воды/Всесоюзн. акад. с.-х. наук им. В. И. Ленина. М., 1990, с. 146.

Рассмотрены методы планирования в водном хозяйстве на основе использования математических моделей и ЭВМ для стадии предсхемных разработок, а также проблемы управления водными ресурсами, которые будут актуальны в ближайшие 15 ... 20 лет. Выделены основные принципы управления водными ресурсами, которые позволили бы повысить эффективность их использования. Обсуждены вопросы моделирования сельскохозяйственного загрязнения и способы воздействия на него путем экономических и организационных мер.

Таблиц — 1.

УДК 631.587 (470.6)

Беляева Т. В. **ОЦЕНКА СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ РЕК ПРИ ПЛАНИРОВАНИИ ОРОШЕНИЯ.** — В кн.: Повышение качества оросительной воды/Всесоюзн. акад. с.-х. наук им. В. И. Ленина. М., 1990, с. 154.

Рассмотрены методика оценки воздействия орошения на качество поверхностных вод и возможность ее применения для экологического обоснования долгосрочных планов использования водных и земельных ресурсов. Показано, что методика позволяет проанализировать экологические последствия осуществления различных технико-экономических вариантов развития орошения. Рассмотрены возможные варианты для нескольких территориальных уровней планирования на Северном Кавказе и оценено возможное загрязнение речного стока биогенными веществами.

Таблиц — 1.

Линия отреза

УДК 628.394.1-97.001.18

Гудзенчук З. В., Самусева Е. Ю. **О СОЗДАНИИ КОМПЛЕКСНО-ЦЕЛЕВОГО ПАКЕТА ПРОГРАММ ПО ПРОГНОЗУ КАЧЕСТВА ВОДЫ И УПРАВЛЕНИЯ СОСТОЯНИЕМ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ.** – В кн.: Повышение качества оросительной воды/Всесоюзн. акад. с.-х. наук им. В. И. Ленина. М., 1990, с. 162.

Дан анализ теоретических разработок, посвященных проблеме регулирования параметрами водоохранной системы для достижения требуемого качества воды в водных объектах. Рассмотрена проблема создания комплексно-целевого пакета программ, ориентированного на решение ряда прогнозных задач качества воды и оптимального регулирования параметрами водоохранной системы. Сформулированы рекомендации по разработке структурной схемы такого пакета с максимальным учетом существенных связей из проблемной области.

УДК 631.6.6501156

Шестопалова О. В., Решетников В. Н. **ИНФОРМАЦИОННАЯ СТРУКТУРА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ МЕЛИОРАТИВНОГО КАДАСТРА.** – В кн.: Повышение качества оросительной воды/Всесоюзн. акад. с.-х. наук им. В. И. Ленина. М., 1990, с. 167.

Представлена общая структура автоматизированной информационной системы Мелиоративного кадастра. Рассмотрены принципы создания АИСМК и основные функциональные возможности ее подсистем.

Иллюстраций – 2.

УДК 626.810

Аксомайтене Р. И., Гайгалис К. М., Марцуланене Ю. И. **НОРМИРОВАНИЕ КАЧЕСТВА ВОДЫ В ИСТОЧНИКАХ ОРОШЕНИЯ ЛИТОВСКОЙ ССР.** – В кн.: Повышение качества оросительной воды/Всесоюзн. акад. с.-х. наук им. В. И. Ленина. М., 1990, с. 171.

Рассмотрено состояние орошаемых земель и водных ресурсов в Литовской ССР. Даны принципы нормирования и улучшения качества потребляемой и отводимой воды.

УДК 626.810

Н у р и д ж а н я н В. Н. ЗАВИСИМОСТЬ УРОЖАЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР ОТ КАЧЕСТВА ОРОСИТЕЛЬНОЙ ВОДЫ НА МЕЛИОРИРОВАННЫХ ПОЧВАХ АРМЯНСКОЙ ССР. — В кн.: Повышение качества оросительной воды/Всесоюзн. акад. с.-х. наук им. В. И. Ленина. М., 1990, с. 175.

Изложены результаты использования различных методов оценки состава речных, подземных и дренажных вод в Армянской ССР. Показана необходимость разработки системы оценки и улучшения качества воды для орошения применительно к условиям республики.

Таблиц — 1.

Линия отреза

**В 1990 ГОДУ
ВЫЙДУТ В СВЕТ КНИГИ:**

**Гордин И. В., Марков П. П. ЗАМКНУТЫЕ
СИСТЕМЫ АГРАРНО-ПРОМЫШЛЕННОГО ВО-
ДОПОЛЬЗОВАНИЯ. М.: Агропромиздат. 20 л.:
ил.**

Даны научное обоснование, методология проектирования оптимальных систем водопользования и схемы Волго-Ахтубинской, Тузлов-Аксайской и Прикумской замкнутых систем аграрно-промышленного водопользования в засушливых районах СССР.

Для научных работников, занимающихся вопросами совершенствования мелиоративных систем.

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ СТРОИТЕЛЬСТВА И ЭКСПЛУАТАЦИИ МЕЛИОРАТИВНЫХ СИСТЕМ/Всесоюзн. акад. с.-х. наук им. В. И. Ленина. — М.: Агропромиздат. 20 л.: ил.

Даны результаты исследований, проведенных на мелиоративных объектах в различных регионах страны. Описаны новые и усовершенствованные технологии строительства мелиоративных каналов, закрытого дренажа, освоения мелиорируемых земель, эксплуатации гидромелиоративных сооружений. Рекомендованы новые комплексы машин, конструкции рабочих органов и современное оборудование для реализации этих технологий, повышения надежности и эффективности работы техники и гидромелиоративных сооружений.

Для научных работников в области мелиорации.
