

listvennichnikov i bolota v kriolitozone Tsentral'noi Evenkii // Pochvovedenie. – 2013. – № 1. – S. 67-79.

17. Inisheva L.I., Vinogradov V.Yu., Golubina O.A., Larina G.V. i dr. Bolotnye statsionary Tomskogo gosudarstvennogo pedagogicheskogo universiteta. – Tomsk: Izd-vo TPU, 2010 – 118 s.

18. Anderson J.P.E., Domsch K.H. A Physiological Method for the Quantitative Measurement of Microbial Biomass in Soils // Soil Biol. Biochem. – 1978. – Vol. 10 (3). – R. 215-221.

19. Inisheva L.I., Golovchenko A.V., Bubina A.B., Golubina O.A. Kharakteristika bio-

khimicheskikh protsessov v evτροφnykh i mezotрофnykh болотakh Sibiri // Vestnik TGPU. – 2009. – Вып. 11 (89). – S. 207-212.

20. Anderson T.-H., Domsch K.H. Application of Eco-Physiological Quotients (qCO_2 and qD) on Microbial Biomass from Soils of Different Cropping Histories // Soil Biol. Biochem. – 1990. – Vol. 22 (2). – R. 251-255.

21. Anderson T.-H., Domsch K.H. The metabolic quotient for CO_2 (qCO_2) as a specific activity parameter to assess the effects of environmental conditions, such as pH, on the microbial biomass of forest soils // Soil Biol. Biochem. – 1993. – Vol. 25. – P. 393-395.



УДК 632.153:636.086.15

С.В. Макарычев, Н.И. Алёшина
S.V. Makarychev, N.I. Alyoshina

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ОРОШЕНИЯ МНОГОЛЕТНИХ ТРАВ ГОРОДСКИМИ СТОЧНЫМИ ВОДАМИ

ENVIRONMENTAL ASPECTS OF IRRIGATING PERENNIAL GRASSES WITH URBAN SEWAGE WATER

Ключевые слова: сточные воды, орошение, токсичные соли, засоление, емкость поглощения, солевой режим, осолонцевание, нитраты.

Во многих регионах России загрязнение воды становится угрозой для окружающей среды. Решение этих проблем весьма актуально и для Алтайского края. Объектами наших исследований явились сточные воды г. Алейска и черноземы обыкновенные умеренно-засушливой и колючей степи. Опыты были заложены на полях орошения при возделывании костреца безостого при различных вариантах. Ирригационная оценка городских сточных вод свидетельствует об их пригодности для использования на поливы сельскохозяйственных культур. Эти воды характеризуются слабощелочной реакцией и невысокой удобрительной ценностью. Содержание тяжелых металлов, нитратов и основных микроэлементов после орошения в сене многолетних трав оказалось значительно ниже предельно допустимых концентраций, поэтому оно является безвредным для животных. Экологически безопасная технология круглогодичного орошения черноземов сточными водами позволяет весь их объем с карт полей фильтрации дочистить и обеспечить многолетние травы необходимыми элементами питания, а также исключить прямое попадание сточных вод в поверхностные и подземные воды.

Keywords: sewage water, irrigation, toxic salts, salinization, base exchange capacity, salt regime, alkalization, nitrates.

Water pollution becomes an environmental threat in many regions of Russia. The solution of this problem is quite an urgent issue for the Altai Region as well. The research targets were the waste water of the City of Aleysk and ordinary chernozems of temperate-arid and forest-outlier steppe. The trials were conducted in irrigated fields under smooth brome in different variants. The irrigation evaluation of the urban sewage water has proved its usability for crop irrigation. This sewage water reveals a weakly alkaline reaction and low fertilizing value. The content of heavy metals, nitrates and trace elements in the hay of perennial grasses after irrigation was significantly below the maximum allowable concentration and harmless to animals. The environmentally friendly technology of year-round chernozem irrigation with sewage water enables to completely purify the whole volume obtained from filtration fields, supply perennial grasses with required nutrients and eliminate direct entry of sewage water into surface water and groundwater.

Макарычев Сергей Владимирович, д.б.н., проф., зав. каф. физики, Алтайский государственный аграрный университет. Тел.: (3852) 62-83-53. E-mail: phys_asau@rambler.ru.

Алёшина Надежда Ивановна, к.с.-х.н., доцент, каф. гидравлики, с.-х. водоснабжения и водоотведения, Алтайский государственный аграрный университет. E-mail: aleshin@ab.ru.

Makarychev Sergey Vladimirovich, Dr. Bio. Sci., Prof., Head, Physics Dept., Altai State Agricultural University. Ph.: (3852) 62-83-53. E-mail: phys_asau@rambler.ru.

Alyoshina Nadezhda Ivanovna, Cand. Agr. Sci., Assoc. Prof., Chair of Hydraulics, Farm Water Supply and Water Disposal, Altai State Agricultural University. E-mail: aleshin@ab.ru.

Введение

Во многих регионах России загрязнение воды становится угрозой для окружающей среды. Неочищенные стоки, содержащие различные поллютанты, попадают в поверхностные и подземные воды, представляя огромный риск для человека [1, 2]. В то же время требуется вода для орошения в засушливых регионах при одновременной ее экономии. Решение этих проблем является весьма актуальным для Алтайского края.

На процессы соленакопления и содержания поглощенного натрия в почвенном поглощающем комплексе большое влияние оказывают гидрогеологические, почвенно-климатические условия и почвообразующие породы [3]. Изучено изменение солевого режима и осолонцевания черноземов обыкновенных под влиянием орошения сточными водами и возделывания на этих почвах многолетних трав.

Предмет и методы исследований

Исследования по обоснованию экологически безопасной технологии подготовки и круглогодичного использования сточных вод г. Алейска Алтайского края на полях орошения при возделывании кострца безостого проводились на контроле без орошения, при орошении сточными водами в вегетационный период, поливе методом намораживания зимой и при круглогодичном использовании сточных вод в 2001-2004 гг.

Объектами исследований явились сточные воды г. Алейска и черноземы обыкновенные умеренно-засушливой и колючей степи Прердалтайской провинции.

Результаты исследований

В исходном состоянии почва (слой 0-100 см) характеризовалась по сумме солей (в среднем 0,058%) как незасоленная, по типу химизма – как сульфатная (слой 0-20 см), хлоридно-сульфатная (слой 20-60 см), сульфатно-хлоридная (слой 60-100 см). В целом в слое 0-100 см – сульфатно-хлоридная, по сумме токсичных солей (0,025%) профиль черноземов не засолен.

По результатам водных вытяжек весной 2002 г. почвы на контроле по химизму засоления характеризуются по всему профилю как хлоридно-сульфатные или сульфатные, по степени засоления – как незасоленные. Плотный остаток солей в них составляет 0,086-0,102%. Из гипотетических солей преобладают бикарбонат кальция (нетоксичная соль) и в малых количествах токсичные соли – сульфаты натрия, хлориды магния и калия, бикарбонаты натрия.

Почвы орошаемого вегетационными поливами участка относятся по типу засоления в метровом (0-100 см) слое к хлоридно-сульфатному, по степени засоления – к незасоленным или слабозасоленным, плотный

остаток солей доходит до 0,143-0,168%. Сумма токсичных солей составляет 0,119%. Преобладающими солями являются сульфаты натрия, хлориды натрия и магния, бикарбонаты натрия.

Почвы на участке с круглогодичными поливами сточными водами по типу засоления сульфатные и хлоридно-сульфатные, по степени засоления – незасоленные. Плотный остаток солей в них составляет 0,118-0,196%. Преобладающими солями являются сульфат натрия, хлориды натрия и магния, бикарбонат кальция.

Почвы участка с намораживанием сточных вод по типу засоления сульфатно-хлоридные, реже – сульфатные (слой 0-60 см), по степени засоления – незасоленные и слабозасоленные (слой 60-100 см). Плотный остаток солей в засоленных горизонтах достигает 0,095-0,098%. Гипотетический ряд солей представлен бикарбонатом кальция, сульфатами кальция и натрия, хлоридами магния и калия.

Анализ данных емкости поглощения и содержания поглощенного Na показал, что в исходном (1989 г.) состоянии емкость поглощения изменялась с глубиной в пределах 32-20 мг-экв/100 г, поглощенный Na – 0,28-0,34 мг-экв/100 г почвы, или 0,9-1,7%, что позволяет классифицировать почвы как несолонцеватые.

Весной 2002 г. емкость поглощения в пахотном горизонте составляла на неорошаемом участке 18,4 мг-экв/100 г почвы, орошаемом вегетационными поливами участке – 18,0, на участке с круглогодичными поливами – 18,8, на участке с намораживанием – 17,1 мг-экв/100 г почвы. Содержание натрия в пахотном горизонте на участке без орошения 0,3 мг-экв/100 г почвы, на орошаемом вегетационными поливами – 0,75, с круглогодичными поливами – 1,0, с намораживанием – 0,7 мг-экв/100 г почвы. В метровом слое эти значения, соответственно, равны 0,12; 1,22; 1,4 и 0,88 мг-экв/100 г, или от емкости поглощения – 1,4; 4,2; 5,3 и 4,1%, что указывает на протекание процессов вторичного осолонцевания в почвогрунтовой толще орошаемых участков. Для выявления сезонного характера процессов осолонцевания в данных почвах в сентябре месяце нами были отобраны и проанализированы почвенные образцы. Как показали анализы, содержание поглощенного натрия в пахотном горизонте на участке без орошения не превышает 1,1 мг-экв/100 г, т.е. отсутствие в них осолонцевания. Эти процессы протекают в слабой степени в почвах орошаемых участков в слоях 20-100 см за счет присутствия в них сточных (поливных) и грунтовых вод.

Наши исследования показывают, что в зависимости от вида орошения поглотительная способность почв несколько изменяется. Из

поглощенных оснований на долю кальция приходится до 78% от емкости поглощения. Содержание поглощенного натрия в пахотном горизонте в контроле без орошения составляет 0,5 мг-экв/100 г почвы, на участке с вегетационными поливами – 0,7, с круглогодичным использованием – 0,7, с намораживанием – 1,0, в метровом слое – соответственно, 0,5; 1,1; 0,8 и 1,2 мг-экв/100 г почвы. В орошаемых почвах протекают процессы вторичного осолонцевания за счет сточных и грунтовых вод.

Солевой режим почво-грунтов изучался на всех вариантах опыта. Лабораторные анализы дают основание сделать заключение, что накопление легкорастворимых солей, их хлоридно-сульфатный, сульфатно-хлоридный и сульфатный тип засоления и наличие нескольких их максимумов в почвенно-грунтовой толще указывают на сезонный характер протекания процесса засоления-рассоления. В результате орошения сточными водами к осени происходит некоторое увеличение солей в почве, а к весне следующего года их содержание несколько уменьшается. Существенное влияние на это явление оказывают осенне-зимние осадки и влагозарядковые поливы: чем больше их количество, тем сильнее происходит рассоление почвы.

Оценка последствий орошения сточными водами на процессы засоления и осолонцевания почв и грунтов зоны аэрации (в особенности корнеобитаемого слоя почвы) выполняется с помощью математических методов прогнозирования.

Для этого прогноза крайне важен баланс вещества, вносимого со сточными водами на поверхность земли. Это необходимо для определения той доли вещества, которая может попасть в водоносный горизонт и вызвать его загрязнение. Приближенно можно считать, что все количество сбрасываемого со сточными водами вещества инфильтруется и попадает в грунтовые воды. Но во многих случаях это не соответствует действительности и такой подход дает прогноз со слишком большим «запасом прочности». Особенно это касается азотистых соединений, фосфора и калия, являющихся питательными веществами, значительная часть которых поглощается почвой и растениями.

Для изучения процесса осолонцевания почв при орошении сточными водами нами использована математическая модель совместного переноса катионов Na^+ , Mg^{++} и Ca^{++} с учетом конвективной диффузии и равновесной динамики ионообменной сорбции [4]. В условиях длительного орошения можно принять, что поровая влага при промачивании зоны аэрации полностью вытесняется поливной водой в нижележащие слои. Рассматриваемая система ППК – почвенный раствор

придет в состояние равновесия, и уравнения сведутся к системе обыкновенных дифференциальных уравнений, описывающих стационарный режим диффузии и ионообменной сорбции. Распределение катионов натрия, магния и кальция в ППК установится в соответствии с равновесной изотермической ионообменной сорбции, исходя из содержания этих компонентов в оросительной воде. Коэффициенты изотерм оцениваются по существующей до орошения картине распределения катионов натрия, магния и кальция в ППК и почвенном растворе. Соотношение катионов натрия, магния и кальция в ППК до орошения находится в пропорции 0,9:22,6:76,5; осредненные по профилю почвогрунта концентрации указанных ионов в почвенном растворе равны 10,295; 4,04 и 24,74 мг-экв/л. Ожидаемое содержание обменного натрия составит, соответственно, 1,1 от емкости ППК. Ожидаемое содержание обменного магния составит, соответственно, 83 от емкости ППК. Согласно пределам регулирования солевого режима орошаемых почв, подверженных осолонцеванию, содержание обменного натрия не должно превышать 6%, а магния – 20% от емкости поглощения. В рассматриваемом случае указанное превышение имеется по Mg^{2+} . Таким образом, при орошении может формироваться неблагоприятный катионный состав почвенного поглощающего комплекса.

Орошение городскими сточными водами в течение 20 лет и более может привести к увеличению содержания воднорастворимых солей в метровом слое почвы в 1,3-1,8 раза в начальный период орошения (первые четыре года), а затем их количество снизится в 1,2-1,7 раза и стабилизируется на одном уровне [5].

По результатам многолетних исследований были получены в пакете Statistica функциональные зависимости содержания SO_4^- , HCO_3^- , Cl^- , Ca^{++} , Mg^{++} , Na^+ , K^+ в почве с учетом нагрузки сточной воды на орошаемый гектар в летний и зимний периоды.

С использованием полученных функциональных зависимостей составлен оценочный прогноз засоления почв сточными водами при годовой нагрузке 5000 м³/га (табл.).

Таким образом, прогнозные расчеты показали, что орошение очищенными сточными водами в течение длительного периода (20 лет и более) не вызовет засоления, осолонцевания почв и загрязнения грунтовых вод.

Как было сказано выше, территория исследований расположена в зоне умеренно-засушливой и колочной степи Предалтайской провинции. Природно-климатические условия её довольно благоприятны для произрастания различных сельскохозяйственных культур.

Таблица
Прогноз на засоление почв при орошении
сточными водами, мг-экв/100 г почвы

Элемент	Год орошения			
	5	10	15	20
SO ₄ ⁻	1,446	1,521	1,595	1,668
HCO ₃ ⁻	0,515	0,515	0,515	0,515
Cl ⁻	0,364	0,425	0,470	0,504
Ca ⁺⁺	0,661	0,642	0,642	0,642
Mg ⁺⁺	0,384	0,384	0,384	0,384
Na ⁺	0,372	0,372	0,372	0,372
K ⁺	0,043	0,043	0,043	0,043

Однако периодическая засушливость в вегетационный период отрицательно сказывается на естественной влагообеспеченности почв. Только благодаря орошению создается устойчивый водный режим черноземов. При благоприятном водном режиме на этих почвах даже без применения удобрений получают сравнительно хорошие урожаи, используя свои потенциальные возможности.

Оценка уровня и качества урожая является важным фактором при решении вопросов, связанных с экологической целесообразностью использования сточных вод в растениеводстве. Сточные воды содержат ингредиенты, которые влияют на величину урожая орошаемых культур и его качество [6, 7]. Наряду с биогенными макроэлементами они содержат и микроэлементы, которые при определенном уровне содержания в растениях могут быть токсичными для человека и животных. Исследования, проведенные на опытно-производственном участке, свидетельствуют о том, что орошение сточными водами способствует увеличению урожайности многолетних злаковых трав – коостреца безостого. Наибольший урожай зеленой массы трав получен на варианте с круглогодочным использованием сточных вод.

Средняя урожайность сена коостреца безостого в 2001 г. на участке без орошения составила 1,94 т/га, на орошаемом участке вегетационными поливами – 5,36, с круглогодочным использованием – 6,46 и с намораживанием – 3,06 т/га. Урожайность сена многолетних трав на участке с круглогодочным использованием сточных вод была выше, чем без орошения, в 3,32 раза. В 2002 г. урожайность сена многолетних трав на участке с круглогодочным использованием сточных вод была выше, чем без орошения, в 2,52 раза, а в 2003 г. – в 2,18 раза.

Экологические требования при оценке урожая сельскохозяйственных культур заставляют учитывать не только его качество, но и безопасность для животных и человека. Критерием качества кормов, наряду с другими элементами и соединениями, является содержание в них нитратов, которые в высоких количествах приводят к токсикозу животных. Усвоение нитратов растениями, как минимум, имеет три аспекта: во-первых, расте-

ния представляют барьер на пути передвижения нитратов из почвы в грунтовые и поверхностные воды; во-вторых, нитраты – основной источник азотного питания растений; в-третьих, накопление нитратов в избыточных количествах ухудшает биологическое качество растениеводческой продукции, создает потенциальную опасность для животных.

Исследования показали, что содержание нитратов в сене многолетних трав не превышало допустимых значений и составило в контроле без орошения 98,5 мг/кг, с вегетационными поливами – 114,3, с круглогодочным использованием – 99,2 и с намораживанием – 113,8 мг/кг.

Установлено, что содержание сырого протеина в нем составляет в варианте опыта без орошения 8,13% – корм отнесен к неклассному; с вегетационными поливами – 3,23% – к неклассному, с круглогодочным использованием – 9,22% – к 3-му классу; с намораживанием – 3,91% – корм отнесен к неклассному.

Определение тяжелых металлов и основных микроэлементов в сене многолетних трав значительно ниже предельно допустимых концентраций.

Таким образом, существенного загрязнения продукции при орошении сточными водами не выявлено. Её можно использовать без вреда для животных.

Заключение

Ирригационная оценка городских сточных вод свидетельствует об их пригодности для использования на поливы сельскохозяйственных культур. Эти воды характеризуются слабощелочной реакцией. Невысокой удобрительной ценностью, слабоминерализованные. При оросительной норме 3200 м³/га в почву в среднем поступает азота 42 кг/га, фосфора – 90, калия – 30 кг/га.

Экологически безопасная технология круглогодочного использования сточных вод на черноземах позволяет весь их объем с карт полей фильтрации дочистить и обеспечить сельскохозяйственную культуру необходимыми элементами питания, а также исключить попадание сточных вод в поверхностные и подземные воды.

Библиографический список

1. Заносова В.И., Макарычев С.В., Павлов С.А. Оценка качества оросительных вод Южно-Приалейской степи // Природообустройство. – 2010. – № 1. – С. 28-33.
2. Воробьева Р.П., Додолина В.Т., Мёрзлая Г.Е. Экологически безопасные методы использования отходов. – Барнаул: Изд-во АГУ, 2000. – 554 с.
3. Заносова В.И. Изменение качества природных вод под влиянием антропогенеза // Экологические проблемы использования водных и земельных ресурсов на юге Западной

Сибири: сб. науч. тр. / АГАУ. – Барнаул, 1997. – С. 51-59.

4. Айдаров И.П. Регулирование водно-солевого и питательного баланса орошаемых земель. – М.: Агропромиздат, 1985.

5. Воробьева Р.П. Использование сточных вод и животноводческих стоков для орошения в условиях Юго-Западной Сибири. – М.: Россельхозакадемия, 1995. – 311 с.

6. Андреев Н.Г. Орошение пастбищ и сенокосов сточными водами. – М.: Россельхозиздат, 1976. – 125 с.

7. Додолина В.Т. Использование и влияние орошения сточными водами на урожай сельскохозяйственных культур и плодородие почвы // Технология и эффективность применения сточных вод и животноводческих стоков в сельском хозяйстве: сб. науч. тр. / ВНИИГиМ. – М., 1988. – С. 117-132.

References

1. Zanosova V.I., Makarychev S.V., Pavlov S.A. Otsenka kachestva orositel'nykh vod Yuzhno-Prialeiskoi stepi // Prirodoobustroistvo. – 2010. – № 1. – С. 28-33.

2. Vorob'eva R.P., Dodolina V.T., Merzlaya G.E. Ekologicheski bezopasnye metody

ispol'zovaniya otkhodov. – Barnaul: Izd-vo AGU, 2000. – 554 s.

3. Zanosova V.I. Izmenenie kachestva prirodnykh vod pod vliyaniem antropogeneza // Ekologicheskie problemy ispol'zovaniya vodnykh i zemel'nykh resursov na yuge Zapadnoi Sibiri: sb. nauch. tr., AGAU. – Barnaul, 1997. – С. 51-59.

4. Aidarov I.P. Regulirovanie vodno-solevogo i pitatel'nogo balansa oroshaemykh zemel'. – М.: Agropromizdat, 1985.

5. Vorob'eva R.P. Ispol'zovanie stochnykh vod i zhivotnovodcheskikh stokov dlya orosheniya v usloviyakh Yugo-Zapadnoi Sibiri. – М.: Rossel'khozakademiya, 1995. – 311 с.

6. Andreev N.G. Oroshenie pastbishch i senokosov stochnymi vodami. – М.: Rossel'khozizdat, 1976. – 125 s.

7. Dodolina V.T. Ispol'zovanie i vliyanie orosheniya stochnymi vodami na urozhai sel'skokhozyaistvennykh kul'tur i plodorodie pochvy / Tekhnologiya i effektivnost' primeneniya stochnykh vod i zhivotnovodcheskikh stokov v sel'skom khozyaistve // sb. nauch. tr. / VNIIGiM. – М., 1988. – С. 117-132.



УДК 338.432.5:626.824 Ю.Е. Домашенко, В.В. Васильев, Н.А. Антонова, С.М. Васильев
Yu.Ye. Domashenko, V.V. Vasilyev, N.A. Antonova, S.M. Vasilyev

ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПОВТОРНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВОДЫ НА СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ПОЛЯХ ОРОШЕНИЯ

ECONOMIC FEASIBILITY OF REPEATED WATER USE ON AGRICULTURAL IRRIGATED FIELDS

Ключевые слова: богара, забор воды, капитальные затраты, повторное использование, коллекторно-дренажные воды, поверхностные воды, орошение, поверхностные воды, экономическое обоснование, эффективность.

Коллекторно-дренажный сток с оросительных систем составляет значительный объем воды, который может быть использован повторно. Экономический эффект повторного использования воды обусловлен экономией пресной воды и расширением площади орошения и, в конечном итоге, получением дополнительной сельскохозяйственной продукции. Эффективность повторного использования воды сравнивается с эффективностью ее обычного однократного использования при одинаковых для обоих видов водопользования исходных условиях. Для прогнозной оценки экономической эффективности повторного использования воды приняты следующие исходные данные: структура посевных площадей, урожайность и себестоимость сельскохозяйственной продукции, удельные капитальные затраты. Эффективность повторного использования воды определяется пу-

тем повторного сопоставления эффективности возделывания сельскохозяйственных культур на площади в богарных условиях (базовый вариант) и при орошении. Планируемая урожайность и себестоимость производства сельскохозяйственных культур приняты для условий Ростовской области. Апробация предложенной методики на Аксайской оросительной системе показала, что прогнозная общая годовая эффективность повторного использования данной категории вод позволит получить прибыль в размере более 3,0 млн руб. и сократить забор природной воды из поверхностных и подземных водоисточников в среднем на 15%. Рассматриваемая методика позволяет получить адекватное экономическое обоснование повторного использования коллекторно-дренажных и поверхностных вод для целей орошения. Кроме того, по предлагаемому методу экономического эффекта повторного использования вод имеет место экологическая составляющая, обусловленная снижением сбросов коллекторно-дренажных и поверхностных вод в водные источники и поступления с ними таких загрязнителей, как пестициды и удобрения.