

Protection of Soil and Water Resources



Cooperative Project of the
Russian Academy of Agricultural Sciences
and the United States Department of Agriculture,
Natural Resources Conservation Service

Защита почв и водных ресурсов



Совместный проект Российской академии
сельскохозяйственных наук и Службы
охраны природных ресурсов Министерства
сельского хозяйства США



Design Philosophy

The twenty articles in Protection of Soil and Water Resources express some of the science, technology, and research used by professional resource conservationists and agricultural specialists in Russia and the United States. Throughout the publication, each article's original and translated texts are presented side-by-side to reflect the mutually comparable missions of the Russian Academy of Agricultural Sciences and the Natural Resources Conservation Service to protect and conserve each nation's soil and water resources.

Философия дизайна

В двадцати статьях на тему защиты почвенных и водных ресурсов отражены определенные направления научно-исследовательской работы и работы в области развития технологий, проводимой специалистами по сохранению природных ресурсов и специалистами по сельскому хозяйству в России и Соединенных Штатах. На протяжении всей книги рядом с исходным текстом каждой статьи представлен ее перевод – такой формат призван отразить сходную по своим задачам работу Российской академии сельскохозяйственных наук и Службы охраны природных ресурсов США, направленную на охрану и сохранение почвенных и водных ресурсов каждого из этих государств.

Protection of Soil and Water Resources

**Защита почв и водных
ресурсов**



About This Book

Protection of Soil and Water Resources looks at soil and water resource conservation issues and the technologies being used to address them in both Russia and the United States. The challenge to identify, understand, and take action on those issues is formidable. All activities have profound effects on the use, conservation and management of the natural resources of each nation. And the increasing pressures of agricultural production, urban sprawl, and changing policies, plus finding ways to conserve and improve soil, water, and other resources, are equally as daunting in both countries. Today, just as is in 1989 when the first meeting was held to discuss this publication, there is a need to learn and understand from the experiences of others. *Protection of Soil and Water Resources*, a joint effort of the Russian Academy of Agricultural Sciences and the Natural Resources Conservation Service, U. S. Department of Agriculture, is designed to exchange technical information, address issues, and offer vital information that is as timely today as it was when originally proposed. What turned out to be a major undertaking began with a small group identifying the general topics to be covered by each side and drafting a list of potential authors. It was decided that each side would contribute 10 articles. The 10 topics were selected, the 10 principle authors identified, co-authors recruited, and then the work began in earnest.

Early in the process, a delegation from the United States traveled to Moscow to meet with its counterparts and plan the book. The group also made side trips to St. Petersburg and Novosibirsk to consult with authors. Later, another U.S. delegation, which included a photographer, visited Russia to take photographs to illustrate the Russian articles.

In the meantime, the authors wrote their articles, the editors polished them, photographs were selected, and the complex translation job was tackled. After all the pieces were assembled, the challenging production work began: dual-language typesetting; re-creating the artwork, charts, maps, and graphs; laying out and designing the book so it was attractive and made sense; and proofreading to make sure nothing was “lost in the translation.” After all the translation, design, and layout work was completed, a USDA delegation took the final proofs to Russia in the early summer of 2001 to engage in a meticulous review of the final draft text. During face-to-face meetings with Russian project sponsors and authors, all aspects of the publication, from cover to cover, including the layout and use of illustrations, charts and graphs, were discussed, inspected, modified, and then approved. Finally, with a product ready to print, a capable printer had to be found, and final proofs had to be carefully scrutinized to ensure a high-quality product.

Although the process can be summed up in a few words, that doesn't begin to tell the story of the stumbling blocks encountered along the way—some major, some minor. In the years during which this book was being developed, the world witnessed the breakup of the Soviet Union. Even the U.S. Department of Agriculture's Natural Resources Conservation Service—formerly the Soil Conservation Service—experienced a name change and a major reorganization. Several authors retired along the way and, unfortunately, some have died. *They are identified with an * at the beginning of each article.*

Those who have worked on this project have not only worked toward the goal of technology transfer but have also used this book as a means of reaching out to one another. This book is just one product in a continuing cooperative exchange.

Защита почв и водных ресурсов рассматривает проблемы сохранения почв и водных ресурсов, а также технологии, используемые для решения этих проблем в России и США. Проблемы, связанные с идентификацией, пониманием и решением этих вопросов, воистину монументальны. Многие действия человека оказывают серьезное влияние на использование, сохранение и менеджмент природных ресурсов обеих стран. Увеличивающееся давление со стороны сельского хозяйства, растущих городов и изменяющейся политики, а также сложности, связанные с нахождением путей сохранения и улучшения почв, вод и других ресурсов являются вызовом для обеих стран. Сегодня, как и в 1989 году, когда была проведена первая встреча для обсуждения этой книги, существует необходимость в дальнейшем обучении и понимании, основываясь на опыте коллег. *Защита почв и водных ресурсов* – это, - это совместный труд совместный труд Российской академии сельскохозяйственных наук и Службы охраны природных ресурсов (СОПР) Министерства сельского хозяйства (МСХ) США, предназначенный для обмена технической информацией и решения проблем и предлагающий читателю жизненно важную информацию, которая информация, которая так же актуальна сегодня, как и в то время, когда, когда этот труд был задуман. Проект начался с работы небольшой группы специалистов, которая идентифицировала общие темы для обеих сторон и составила предварительный список потенциальных авторов. Было решено, что каждая сторона предоставит 10 статей. Было выбрано 10 тем и 10 главных авторов, были приглашены соавторы и началась серьезная работа.

В начале процесса делегация из Соединенных Штатов посетила Москву, чтобы встретиться со своими коллегами и обсудить совместный план работы над книгой. Группа также посетила Санкт-Петербург и Новосибирск для консультации с авторами. Позже другая американская делегация-, которая включала фотографа, посетила Курск и Волгоград, чтобы сделать фотографии для иллюстрации статей российских авторов.

Тем временем авторы написали статьи, редакторы их отредактировали, были выбраны фотографии и завершена сложная работа по переводу. В конце концов все части были собраны вместе и начался трудоемкий процесс издания книги: набор шрифта на двух языках; воссоздание рисунков, диаграмм, карт и графиков; создание макета и проектирование книги таким образом, чтобы это было привлекательно и целесообразно; корректировка, чтобы удостовериться, что ничего не было “потеряно при переводе”. После того, как были завершены все работы по переводу, дизайну и компоновке, МСХ США передало финальные оттиски в Россию летом 2001 года для тщательной проверки окончательной версии текста, включая компоновку, иллюстрации и графики, чтобы гарантировать высокое качество.

Несмотря на то, что весь процесс подготовки книги может быть описан в нескольких словах, этого явно недостаточно, чтобы изложить историю всех больших и малых трудностей, с которыми пришлось столкнуться на этом длинном пути. В период работы над этой книгой мир стал свидетелем распада Советского Союза. Даже Служба охраны природных ресурсов Министерства сельского хозяйства США, которая ранее называлась Отделом охраны почв, претерпела изменения и серьезную реорганизацию. Несколько авторов ушли на пенсию и, к сожалению, некоторые умерли. Они обозначены знаком * в начале каждой статьи.

Те, кто работали над этим проектом, работали не только ради обмена технологиями, но и для установления двухсторонних связей. Эта книга – только один шаг в продолжающемся совместном обмене информацией между Россией и США.

Acknowledgments

Through the many years of hard work it has taken to develop *Protection of Soil and Water Resources*, from its conceptualization to completion, many people in the United States and in the former Soviet Union contributed to the production of this book.

Project Sponsors

Dr. Alexander Nikolaevich Kashtanov, Robert Shaw, Susan Fertig-Dykes, Edgar Poe, Jr., David White

Project Managers

Judith E. Ladd and Thomas W. Levermann

Technical Editor

Richard Wenberg

Editors

Dennis Carroll, Bradley Fisher, Wilda Grant, Sarah Laurent, Dorothy Staley, Sarah Taylor

Editorial Assistants

Sandra Grimm and Lonzell Offutt

Design and Production

Lisa Gleeson, Art Director, USDA Design Center
Chris Lozos, USDA Design Center
Gene Hansen

Printing Specialists

Doug Wilson and Mark Emery

Translators

Dr. Sergei Chernikov and Dr. Felix Kozlovsky

Technical Review Quality Control

Dr. Danielius Pivoriunas

Post-editorial Quality Control

Barbara J. Levermann, Earth Team Volunteer

Those of us from the Natural Resources Conservation Service and the USDA Office of Communications involved with *Protection of Soil and Water Resources* want to extend a sincere “thank you” to those understanding and patient members of the Russian agricultural community who helped keep the project on track. Among them were Dr. Pavel P. Sorokin and Dr. Sergey N. Stokov, Agricultural Counselors with the Embassy of the Russian Federation, Washington, DC, who

provided us a direct link with the Russian Academy of Agricultural Sciences in Moscow. Their insight, impeccable English skills, knowledge of Russian agriculture, and, most importantly, understanding of the immense changes taking place “back home” were invaluable during the difficult task of moving the document from draft to reality.

In addition, the final product couldn't have been completed without the assistance of Drs. G. A. Romanenko, President of the Russian Academy of Agricultural Sciences, and Alexander Nikolaevich Kashtanov, former First Vice President of the Russian Academy of Agricultural Sciences, Moscow. Their continued support and interest played a key role in completing this book.

This publication is dedicated to one of its project managers, Thomas W. Levermann, who died on April 18, 2002. Tom was a veteran public affairs specialist with the Natural Resources Conservation Service and worked hard to finalize this joint United States/Russian publication. He dedicated his life to the protection of America's natural resources and to better relations with people in other countries, and he was devoted to his family. He will be missed by his many colleagues.

For More Information

Technical and popular publications, and additional materials and information about the topics addressed in *Protection of Soil and Water Resources* are available from the following sources:

Russian Academy of Agricultural Sciences:
Bldg 2, 15 Krzhizhanovsky Str.
Moscow, 117218 GSP-7
Russia

Natural Resources Conservation Service:
On the World Wide Web at
www.nrcs.usda.gov

To obtain a specific NRCS publication, please order through www.nrcs.usda.gov or call 1-888-LANDCARE.

Additional questions and inquiries may be addressed to Natural Resources Conservation Service Education and Publications Conservation Communications Staff Room 6116-S P.O. Box 2890 Washington, DC 20013 USA

Признательность

На протяжении многих лет напряженного труда, затраченного на издание книги «Защита почв и водных ресурсов», – от разработки начальной концепции до завершения – свой вклад в ее издание внесли много людей в Соединенных Штатах Америки и в бывшем Советском Союзе.

Руководители проекта

Др. Александр Николаевич Каштанов, Роберт Шо, Сюзан Фертиг-Дикс, Эдгар По, Дэвид Уайт

Менеджеры проекта

Джудит И. Лэдд и Томас В. Леверман

Технический редактор

Ричард Уэнберг

Редакторы

Дэннис Кэрролл, Брэдли Фишер, Уилда Грант, Сара Лорент, Дороти Стэйли и Сара Тэйлор

Ассистенты редактора

Сандра Гримм и Лонзелл Оффатт

Дизайн и производство

Лиза Глисон, художественный директор, Центр дизайна МСХ США
Джин Хансен

Специалисты по печати

Даг Уилсон
Марк Эмери

Переводчики

Др. Сергей Черников и Др. Феликс Козловский

Технический рецензент

Др. Даниелиус Пивоуринас

Пост-редакционный контроль качества

Барбара Дж. Леверман

Те из нас, кто трудится в Службе охраны природных ресурсов СОПР и в Отделе информации Министерства сельского хозяйства (МСХ) США и был вовлечен в

работу над книгой «Защита почв и водных ресурсов», хотел бы выразить искреннюю благодарность тем понимающим и терпеливым российским специалистам в области сельского хозяйства, кто способствовал реализации этого проекта. Поддержку проекту оказывало Посольство Российской Федерации в Вашингтоне, и в особенности атташе по сельскому хозяйству д-р П.П. Сорокин, д-р С. Н. Строков, которые обеспечивали нас прямыми контактами с Российской академией сельскохозяйственных наук в Москве. Их безупречное владение английским, знание русского сельского хозяйства и, что наиболее важно, понимание значительных изменений, происходящих в России, было незаменимым при осуществлении этого проекта.

В дополнение, эта работа не была бы завершена без помощи президента Российской академии сельскохозяйственных наук (РАСХН) Г.А. Романенко и особенно бывшего первого вице-президента РАСХН А.Н. Каштанова, который осуществлял руководство работой специалистов России. Их постоянная поддержка и заинтересованность сыграли решающую роль в завершении этой книги.

Технические и научно-популярные публикации, дополнительные материалы и информацию по вопросам, затронутым в книге «Защита почв и водных ресурсов», можно получить из следующих источников:

Российская академия сельскохозяйственных наук
Москва, Россия

Служба охраны природных ресурсов МСХ США
Интернет
www.nrcs.usda.gov

Для того, чтобы заказать одну из публикаций СОПР МСХ США, обращайтесь по адресу www.landcare@swcs.org или по телефону 1-888-526-3227. С прочими вопросами просьба обращаться в СОПР (адрес приведен на стр. iv).

Foreword

Ann M. Veneman
Secretary of Agriculture
United States Department of Agriculture

People around the globe share the need for nutritious food, clean air and water, and the means for a productive life. We share a beautiful and productive planet as well—a planet whose diverse ecosystems are critical to its well-being.

Today, issues concerning food security, biodiversity, land and water resources, and quality environments vie for our attention. Building a sustainable environment for the well-being of all life requires an understanding of natural systems, of how these systems are interrelated, and of how human needs fit into the mix. It requires an understanding of the science and technology that support the wise use of our world's limited resources. Conservation is the intelligent use of resources today and far into the future, based on credible science.

We are encouraged by the wealth of sound information in this book and applaud the experience and knowledge represented here. We are also encouraged that the writers of this book and those who supported them, and the readers of this book as well, demonstrate a desire to share knowledge, to learn about others, to learn from others, and to strive to understand our differences as well as the many issues, concerns, and expectations that we all have in common.

It is our hope and belief that future cooperative efforts will continue to broaden our knowledge, increase our understanding, and enhance our global habitat.

G.A. Romanenko
President of the Russian
Academy of Agricultural Sciences

The Earth is the pre-eminent source of agricultural productivity. It is mankind's most precious form of capital—providing people with all that is needed for living. This source of life must be treated extremely carefully if we are not to exhaust it.

Scientists the world over, and in myriad agricultural disciplines, are working diligently in an effort to preserve and enrich the Earth—strengthening its resources and helping ensure a balanced ecology in those areas where humans dwell.

Be that as it may, mankind's increasing negative impact on the environment, primarily on the soil layer, has resulted in a number of unfavorable conditions: degradation of the soil, water pollution, contamination of the atmosphere, and the desertification of vast territories. As a result, the potential of our planet's ecology to cope is degraded while increased efforts at agrarian production do not result in equivalent increases in productivity.

Today, the united efforts of scientists and other professionals from all nations are needed in order to arrive at complex decisions regarding the preservation of the soil, water, and other of our planet's natural resources.

This monograph, "Protection of Soil and Water Resources," co-authored by scientists from Russia and the United States of America during a period of long-term mutual cooperation, covers the problems associated with protecting the soil and increasing its fertility, as well as with conserving water resources and protecting their quality. Considerable attention is paid to soil erosion problems and implementation of a science-based system of soil protection (including conservation tillage, protective forestry, techniques for avoiding desertification); the use and conservation of water resources; and complex issues surrounding the reclamation of land.

It is hoped that the experiences presented in this document will aid both in preserving our environment and in enhancing the human condition.

Предисловие

Энн М. Венеман
Министр сельского хозяйства США

Людам всего мира необходимо сбалансированное питание, чистый воздух и вода, средства для продуктивной жизни. Мы живем на одной прекрасной и продуктивной планете – планете, разнообразные экосистемы которой являются критическим элементом ее существования.

Сегодня проблемы продовольственной безопасности, биологического разнообразия, охраны земельных и водных ресурсов и качественной окружающей среды требуют нашего внимания. Создание устойчивой окружающей среды для благополучия всего живого требует понимания природных систем, их взаимодействия между собой и с человеком. Нам необходимо понимание науки и технологии для мудрого использования ограниченных природных ресурсов. Консервация – это разумный способ использования ресурсов как сегодня, так и в будущем, основываясь на достижениях науки.

Мы рады обилию интересной информации в этой книге и считаем очень полезными опыт и знания, представленные здесь. Приятно отметить, что авторы этой книги и те, кто их поддерживал, а также читатели, демонстрируют желание делиться знаниями, получать информацию о других, учиться у других и стремиться к пониманию наших различий, а также наших общих проблем, вопросов и ожиданий.

Мы надеемся и верим в то, что будущие усилия расширят наши познания, улучшат наше понимание и нашу среду обитания.

Президент, академик Российской академии
сельскохозяйственных наук

Г.А.Романенко

Уважаемые читатели

Земля – основное средство производства в сельском хозяйстве, самый драгоценный капитал человечества, дающий людям все необходимое для существования. Чтобы этот источник жизни не иссяк, к нему надо относиться с величайшей бережливостью.

Ученые всего мира упорно и настойчиво работают в разных направлениях аграрной науки в целях сохранения и украшения земли, преумножения ее богатства и экологического оздоровления районов обитания человека.

Однако усиливающиеся негативные явления, вызванные антропогенным воздействием на природную среду, и в первую очередь на почвенный покров, вызвали ряд отрицательных последствий: деградацию почв, загрязнение вод и атмосферы, опустынивание обширных территорий. В результате биоклиматический потенциал биосферы используется не в полной мере, а дополнительные усилия аграрного производства не приносят эквивалентной прибавки продукции.

Сегодня нужны объединенные усилия ученых и специалистов разных профессий всех стран, чтобы выработать комплексные решения по охране почвенных, водных и других природных ресурсов Земли.

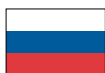
Предлагаемая вашему вниманию монография «Защита почв и водных ресурсов», подготовленная к изданию учеными России и США на основе обобщения двухстороннего многолетнего опыта, рассматривает проблемы охраны почв, повышения их плодородия, сохранения запасов и качества водных ресурсов. В монографии важное место уделено проблемам эрозии земель и осуществления разработанного наукой почвозащитного комплекса (почвозащитная обработка, защитное лесоразведение, приемы борьбы с опустыниванием); использования и сохранения водных ресурсов; комплексной мелиорации земель. Использование этого опыта будет способствовать сохранению природной среды и условий жизни человечества.

Table of Contents / Содержание



U.S. Authored Articles / Статьи, написанные авторами из США

1	The U.S. System of Soil Classification	1
	Система классификации почв США	
2	Soil Erosion Prediction in the United States	11
	Прогнозирование эрозии почв в США	
3	Windbreaks for Reducing Wind Erosion	21
	Ветроломы как средство борьбы с ветровой эрозией	
4	Conservation Tillage and Soil Management	31
	Почвозащитная обработка и управление плодородием почвы	
5	Systems Approach to Soil and Water Conservation and Water Quality	43
	Системный подход к решению проблемы охраны почвенных и водных ресурсов и качества воды	
6	Water Conservation and Irrigation	57
	Проблемы водопользования и орошения	
7	Use of Saline Drainage Water for Irrigation	71
	Применение засоленных дренажных вод для орошения	
8	Management of Organic Waste	83
	Утилизация органических отходов	
9	Controlled Agricultural Drainage as Related to Water Quality	99
	Регулируемый дренаж сельскохозяйственных земель и качество воды	
10	Computer Modeling for Water Quality	111
	Моделирование качества воды с помощью компьютеров	



Статьи, написанные авторами из России / **Russian Authored Articles**

1	Защита почв от эрозии	129
	<i>Soil Erosion Control</i>	
2	Закономерности изменения противодефляционной устойчивости почвы под влиянием климатических факторов	139
	<i>Regular Changes in Soil's Resistance to Deflation as Affected by Climatic Factors</i>	
3	Почвы севера Евразии и проблемы их охраны	145
	<i>Soils of the Eurasian North and Their Conservation Problems</i>	
4	Агромелиорация в эрозионно-опасных районах	165
	<i>Agroforestry Reclamation in Erosion-Prone Areas</i>	
5	Почвозащитная обработка	181
	<i>Conservation Tillage</i>	
6	Мелиорация переувлажненных почв гумидной зоны СССР	193
	<i>Reclamation of Overmoistened Humid-Zone Lands</i>	
7	Влияние потоков элементов на загрязнение водных источников	205
	<i>Influence of Element Flows on Pollution of Water Sources</i>	
8	Водное хозяйство России и моделирование водоохранной деятельности	215
	<i>The Water Economy in Russia and Modeling of Water Conservation Activities</i>	
9	Системы использования сточных вод	227
	<i>Irrigation Systems That Utilize Effluents</i>	
10	Проблемы орошения и дренажа	237
	<i>Problems Associated With Irrigation and Drainage</i>	



U.S. Authored Articles

**Статьи, написанные
авторами из США**



The U.S. System of Soil Classification

Система классификации почв в США



The U.S. System of Soil Classification

Richard W. Arnold, John E. Witty, Larry P. Wilding, George F. Hall, and James L. Richardson

Abstract

The standards used by the National Cooperative Soil Survey for classifying soils are provided in the book *Soil Taxonomy* (5)¹ and in supplemental keys. The major role of *Soil Taxonomy* is to provide consistent names for natural bodies of soil that otherwise have no names. Identification and mapping of named soils facilitate the transfer of relevant technology. Sustainable use of soil resources depends on understanding soils and successfully transferring soil technology worldwide.

Introduction

The Cooperative Soil Survey in the United States involves Federal and State agencies, universities, and some local organizations or units of government. Through a process of agreements, the participants provide counsel, personnel, and funds to conduct the soil survey and assist people in using the information. The mission of the Cooperative Soil Survey is to help people understand soils and use them wisely.

Soil Taxonomy contains the standards and guidelines for classifying soils and is one of the basic documents used in making surveys and interpreting them for use by other people. In the context of *Soil Taxonomy*, soils are collections of natural bodies on the Earth's surface. An individual body called a polypedon (somewhat analogous to an elementary soil areal) is the basis for classification and can be represented by a small sample volume called a pedon. *Soil Taxonomy* was developed to reveal relationships among soils in local, national, and global settings. *Soil Taxonomy* has slowly evolved over the past 30 years into a system that improves our understanding of local soils within a global context. Paleosols need to be better integrated into the system and organic soils and soils with permafrost need to be refined. The challenges and responsibilities have never been greater for soil scientists to be global in both outlook and action.

Discussion

Structure and Definitions of the System

The six categories in *Soil Taxonomy's* hierarchy of classes, from highest to lowest, follow: order, suborder, great group, subgroup, family, and series. Each category consists of a set of classes designed to include all soils as well as to define them with comparable degrees of generalization. The limits defined for each class cannot extend beyond those for the higher categorical class of which it is a member. The highest category currently consists of 12 orders, while at the lowest level, more than 17,000 series have been established in the United States alone (fig. 1).

At the order level, classes are differentiated on the basis of properties resulting from the dominant forces and major processes of soil formation. Some genetic processes and factors that shape the characteristics of a soil are not fully understood and may be reevaluated, but the accepted views have influenced the selection of properties used as criteria. The absence of certain features, for example, lack of weathering in the order of Entisols, can also serve as a criterion.

At the suborder level, classes are distinguished on the basis of important properties which constitute, or result from, major factors influencing the current soil-forming processes. Some of the criteria selected are dynamic, such as the moisture regime; others relate to materials or processes that retard horizon differentiation, such as sand or alluvial sedimentation.

At the great group level, soils are differentiated on the basis of properties which constitute or reflect subordinate factors influencing current soil-forming processes. The criteria selected are generally static, such as layers that retard water percolation or root extension, but some are dynamic, such as the moisture regime where it is not used as a suborder criterion.

At the subgroup level, classes are separated on the basis of properties resulting from either (a) a blending or overlapping in space or time of certain processes, which causes one kind of soil to develop away from or toward another kind that is recognized at the great group, suborder, or order level; or (b) processes or conditions not recognized in any class criteria

¹ Underlined numbers in parentheses cite sources listed in the References section at the end of this article.



Система классификации почв США

Ричард В. Арнольд, Джон Е. Витти, Лаи П. Уайлдинг, Джордж Ф. Холл, Джеймс Л. Ричардсон

Резюме

Таксономическая система и номенклатура, используемые Национальной кооперативной службой почвенных исследований (НКСАПИ) для классификации почв, представлены в книге “Таксономия почв” [5] и ее приложениях (“ключях”). Главная задача почвенной таксономии – обеспечить все разнообразие существующих почв соответствующими наименованиями для правильной их идентификации при изучении и картографировании. Создание единой мировой терминологии способствует рациональному использованию почвенных ресурсов.

Введение

Кооперативная служба почвенных исследований США включает федеральные и штатовские агентства, университеты, некоторые местные организации и правительственные учреждения. Все участвующие организации по взаимному соглашению обеспечивают консультативную помощь, кадровую поддержку и выделяют денежные средства для проведения почвенных исследований и оказания помощи фермерам в использовании информации о почве. Задача этой службы – помочь людям получить знания о почве для правильной организации использования земель.

Книга “Таксономия почв”, содержащая нормы и руководящие принципы классификации почв, является одним из основных документов, используемых при проведении почвенных исследований и изложении их данных для пользователя. В книге дается представление о почвах как о совокупности естественных природных тел на поверхности Земли. В качестве основной единицы почвенного покрова, подлежащей классификации и картографированию, рассматривается полипедон. Это понятие близко к элементарному почвенному ареалу. Минимальным его объемом, подлежащим всестороннему исследованию и диагностике, является педон, или почвенный индивидуум. Таксономия почв составлена, чтобы выявить связи между почвами в региональном, национальном и глобальном масштабах. За последние 30 лет почвенная таксономия, постепенно развиваясь, превратилась в стройную систему, расширившую наши представления о конкретных почвах, их

распространении и взаимосвязях в почвенном покрове всей Земли. При дальнейшем совершенствовании системы предполагается включить в нее реликтовые почвы (палеосоли), уточнить систематику органических почв и почв в зонах вечной мерзлоты. Глобальный подход в исследованиях и обобщениях обязывает почвоведов к максимальной ответственности и требовательности к себе.

Обсуждение

Структура и определение системы

В иерархии классов почвенной таксономии от высшего к низшему выделяются следующие 6 категорий: порядок, подпорядок, большая группа, подгруппа, семейство и серия. Каждая категория состоит из ряда классов, охватывающих всю совокупность мировых почв; определение почв внутри классов дается с соответствующей степенью генерализации. Границы каждого класса не могут выходить за пределы соответствующего класса более высокой категории, частью которого он является. Высшая категория в настоящее время насчитывает 12 порядков, в то время как на низшем уровне в одних только Соединенных Штатах определены более 17000 разновидностей (рис.1).

На уровне порядка классы различаются по свойствам, отражающим главные факторы почвообразования. Некоторые генетические процессы и факторы полностью еще не изучены и могут быть пересмотрены, однако в основном выбор критериев диктуется признанными научными положениями. Критерием может служить даже отсутствие некоторых признаков – например, отсутствие выветривания в порядке азональных почв.

На уровне подпорядка классы различаются на основе существенных признаков, которые возникают под влиянием главных факторов, определяющих развитие почвообразовательных процессов. Некоторые из выбранных критериев носят динамичный характер – например, показатели водного режима; другие связаны с субстратами или процессами, которые затрудняют выделение горизонтов, например, песчаные породы или аллювиальные отложения.



Figure 1. Categories in soils taxonomy with number of classes and example nomenclature

Рис. 1 Категории в почвенной таксономии (с указанием количества классов и примеров номенклатуры)

Categories Категория	Number of classes Количество классов	Nomenclature Номенклатура
Order Порядок	12	Alfisol Альфисол
Suborder Подпорядок	53	Udalf Удальф
Great group Большая группа	261	Hapludalf Хаплудальф
Subgroup Подгруппа	1,189 1189	Aquic Hapludalf Аквик Хаплудальф
Family Семейство	6,755 in U.S. 6755 в США	Fine-loamy, mixed, mesic aquic hapludalf тонкосуглинистый, смешанный мезик Аквик Хаплудальф
Series Серия	17,000 in U.S. 17000 в США	Lehigh Лехай

at a higher level. A third kind of subgroup is considered to typify the central concept of the great group of which it is a member. Subgroups of the kind defined under (a) are called intergrades, those under (b) extragrades; the subgroup typifying the central concept of a great group is called typic.

At the family level, classes are differentiated on the basis of properties that control current processes within the soil, such as particle size distribution, mineralogy, temperature, and soil depth.

Soil series, which constitute the lowest category in *Soil Taxonomy*, are defined ad hoc by criteria which reflect a relatively narrow range of soil-forming factors and processes. Generally, they are set to meet local needs for separations between soils that respond differently to various uses.

Diagnostic Horizons and Properties

In developing *Soil Taxonomy* through a series of early approximations, the authors of the system soon realized that among scientists with different backgrounds, training, and experience, there was no general agreement about horizon concepts, designations, and definitions (4). To overcome this limitation, it was necessary to assign names to proposed diagnostic horizons and properties to be used for classification differentiation. This permitted scientists to focus on

concepts for class differentiation rather than be caught up in disagreements on definitions of horizons. Further, it was the philosophy of *Soil Taxonomy's* authors that soils should be classified on the basis of their actual properties rather than on their presumed genesis (3). Defining diagnostic horizons and properties served this goal and provided morphogenetic class criteria for grouping soils at different category levels.

The soil characteristics selected as criteria were not necessarily the most important in themselves; rather, they reflected differences in the dominance of certain combinations of genetic processes and carried with them many accessory characteristics (2).

In forming and defining taxa in *Soil Taxonomy*, properties selected as diagnostic at the higher levels were those considered most important to plant growth and resulting from or influencing soil genesis. Those important to plant growth, environmental quality, or engineering and other interpretations, but with less pedogenic significance, were used only for the lowest categories.

Definitions of diagnostic horizons and properties were intended to be operational so that individuals with different training and experience would be able to identify them consistently, preferably under field conditions. Preference was given to those properties where use and management, such as



На уровне большой группы почвы дифференцируются по свойствам, которые составляют или отражают подчиненные факторы, влияющие на развитие почвенных процессов. Выбранные критерии преимущественно являются статическими – например, мощность водоудерживающих слоев или слоев, препятствующих развитию корневой системы; еще в качестве критериев используются динамические величины, например показатели водного режима, если они не используются как критерии подпорядка.

На уровне подгруппы классы различаются по свойствам, отражающим: (“а”) результаты сочетания и перекрытия в пространстве или времени определенных процессов, которые приводят к образованию специфической почвы, отличной от других, относящихся к большой группе, подпорядку или порядку; (“б”) результаты процессов или условий, не выявляемые по критерию более высокого уровня. Третий вид подгруппы служит для типизации центрального понятия большой группы. Таким образом, подгруппы третьего вида определяются как типичные, подгруппы вида “а” – как промежуточные, межклассовые, а подгруппы вида “б” – как внеклассовые .

На уровне семейства классы дифференцируются на основе свойств, которые контролируют течение почвенных процессов, как, например, размер частиц и механический состав, минералогия, температура и глубина почвы.

Почвенные серии, представляющие собой низшую категорию в почвенной таксономии, определяются специальными критериями, которые отражают относительно узкий интервал изменений почвообразующих факторов и процессов. Обычно они применяются для решения местных задач по выявлению различий между почвами, отвечающих различным вариантам их использования.

Диагностические горизонты и свойства

В процессе развития почвенной таксономии посредством серии приближений авторы системы обнаружили, что среди ученых с разной квалификацией, подготовкой и практическим опытом не было общего мнения по поводу понятия “горизонт”, определения и диагностики горизонтов [4]. Для преодоления этого недостатка потребовалось дать наименования предлагаемым диагностическим горизонтам и свойствам, используемым при классификации. Это позволило ученым сосредоточиться на дифференциации классов, несмотря на расхождения в определении горизонтов.

Кроме того, авторы почвенной таксономии считают, что классификация почв должна основываться на их реальных свойствах, а не на предполагаемом генезисе [3]. Определение диагностических горизонтов и свойств позволило решить эту задачу путем разработки критериев морфогенетических классов для группировки почв на разных уровнях.

Почвенные характеристики, выбранные в качестве критериев, сами по себе не обязательно являются главными, скорее, они отражают преобладание определенных сочетаний генетических процессов, увязывая с ними многие дополнительные характеристики [2].

При выделении и определении таксономических единиц на высших уровнях в качестве главных диагностических признаков рассматривались свойства, наиболее важные для произрастания растений и отражающие генетические различия почв. Другие свойства, определяющие возможности земледелия, качество окружающей среды и прочие прикладные аспекты землепользования, применялись для диагностики низших категорий.

Определение диагностических горизонтов и свойств проводилось так, чтобы специалисты с разной квалификацией и практическим опытом могли однозначно идентифицировать их в полевых условиях. Предпочтение отдавалось тем свойствам, которые не претерпевают значительных изменений за короткий период при хозяйственном использовании – вспашке, известковании. Сочетание устойчивых классификационных признаков с динамичными может привести к путанице при пространственном разграничении почвенных единиц. Эта проблема требует дальнейшего изучения.

Ключи и их применение

В “Таксономии почв” приведены ключи, позволяющие “классифицировать” конкретные почвы (т.е. определять их классификационную принадлежность). Однако со временем эти оценки уточнялись и для сведения пользователей периодически публиковались исправленные “Ключи почвенной таксономии” [6]. Чтобы правильно классифицировать определенную почву по “Таксономии почв”, следует использовать специальную терминологию, представленную в “Справочнике почвенной службы” [7], обращаться к определениям диагностических горизонтов и свойств, содержащихся как в самой книге, так и в новейшем исправленном издании “Ключей почвенной таксономии”.



plowing or liming, would not result in wholesale changes in classification over short time periods. The combination of both historical-static-stable properties and temporal-dynamic ones sometimes results in confusing spatial patterns and is a problem to be addressed in the future.

Keys and their use

Soil Taxonomy contains keys for use in classifying specific soils. However, these have been amended several times, and to inform users of such changes, revised *Keys to Soil Taxonomy* have periodically been published (6). To classify a particular soil according to *Soil Taxonomy*, one should use these revised keys, be familiar with the terminology for describing soils outlined in the *Soil Survey Manual* (7), and refer to the definitions of diagnostic horizons and properties contained both in *Soil Taxonomy* and, in revised form, in the newest edition of *Keys to Soil Taxonomy*.

Names of classes

Early in the development of *Soil Taxonomy*, the decision was made to coin new names for the classes in the system rather than to redefine existing names. The existing names had firmly established connotations, and, in some cases, criteria used to differentiate soils with the same name varied from country to country. For example, the criteria for a podzol soil differed between Russia and the United States. In Russia, an eluvial horizon was emphasized, while in the United States, an illuvial horizon was considered critical.

The nomenclature for *Soil Taxonomy* was developed in consultation with members of the classic-language faculty from the University of Ghent, Ghent, Belgium; and from the University of Illinois at Champaign-Urbana (1). Elements used to form the names of classes are called formative elements and were derived primarily from Greek and Latin. The formative elements were selected to identify and help recall soil properties in each of the classes to which they were applied. For example, the elements aqu (L. aqua, water) and hal (Gk. hals, salt) identify soils that are waterlogged or have salt accumulations, respectively. The elements of the names suggest the qualitative characteristics of the soils and are not meant to be interpreted as quantitative. However, the soil classes themselves are defined by quantitative criteria.

Names of orders, the highest category of the system, each begin with a syllable containing a formative element that should bring to mind distinctive soil characteristics (table 1). In each case, the formative element is followed by the syllable sol (L. solum, soil). For example, the class name Ultisol (L. ultimus, last) suggests that the soils in that order are old and/or intensely weathered. The names of the suborders contain two syllables, the first of which suggests a diagnostic property of the respective suborder, while the second syllable is the



Photo 1-1. A USDA soil specialist uses a probe to sample cropland soils for identification and mapping in the Western United States. (Tim McCabe photo)

Фото 1-1. Специалист-почвовед МСХ США берет образцы почвы для идентификации и картографирования в западной части США. (Фото Тима МакКейба)

formative element of the order to which it belongs. The name Udult, for example, combines the suborder formative element, ud (L. udus, humid), with the order formative element, ult (L. ultimus, last), suggesting highly weathered soils of a humid region.

For classes in the great group category, a prefix of one or more formative-element syllables is added to the suborder name. The added formative elements suggest additional diagnostic properties in the soil. Soils in the suborder of Aquolls that have an argillic (L. argilla, white clay) horizon are named Argiaquolls at the great group level of the classification.

In the subgroup category, classes are named by adding one or more adjectives to the great group name. These names represent intergrades or extragrades, while the class that is thought to typify the central concept of the great group, is accorded the adjective Typic: for example, Typic Argiaquolls.



Названия классов

В начале разработки почвенной таксономии было решено дать новые наименования классам в системе, а не пересматривать уже существовавшие наименования, терминология которых не являлась общепринятой для специалистов разных стран. Например, критерии для выделения подзолистой почвы значительно различались среди ученых СССР и США: в СССР диагностическим считался элювиальный горизонт, тогда как в США – только иллювиальный и т.д.

Номенклатура почвенной таксономии разрабатывалась в процессе консультаций со специалистами по классическим языкам Университета в г.Генте (Бельгия) и Университета штата Иллинойс, г.Урбана-Шампейн, США [1]. Наименования для выделенных классов составлены из словообразующих элементов – “формативов”, взятых из греческого и латинского языков. Именно формативы были выделены для идентификации и определения свойств почв в каждом классе. Например, формативы “аква” (в лат. aqua – вода) и “гал” (в греч. hals – соль) служат для выделения соответственно почв заболоченных и засоленных. Предлагаемые для терминологии формативы позволяют дать качественную характеристику почв, но сами классы выделяются по количественным критериям.

Наименование порядка как высшей категории системы начинается со слога, содержащего форматив для определения главных характеристик почв (таблица 1). В каждом случае за формативом следует слог “сол” (от лат. solum - почва). Например, название класса Ультисол (от лат. ultimus – последний) показывает, что почвы этого порядка – древние и/или сильно выветренные. В названии подпорядка содержатся два слога, первый из которых указывает на диагностические свойства соответствующего подпорядка, а второй представляет собой форматив порядка, к которому он принадлежит. Название “Удалы”, например, имеет в основе форматив порядка “улы” (от лат. ultimus – последний) и форматив подпорядка “уд” (от лат. udus – влажный) – сочетание формативов свидетельствует о сильной выветрелости почв в условиях гумидного климата.

Для классов категории больших групп почв к названию подпорядка добавляется приставка из одного или нескольких формативов. Они указывают на дополнительные диагностические признаки почв. Почвы в подпорядке Aquolls (Акволлс), имеющие аржилликовый горизонт (от лат. arguilla – белая глина)

носят название Arguiauolls на уровне большой группы почв в рамках данной классификации.

В категории подгруппы классы обозначаются путем добавления одного или нескольких определений к названию большой группы для промежуточных и внеклассовых форм, в то время как почвенный класс, наиболее типичный для большой группы почв, определяется как “типичный” (например, Turic Arguiauolls Типик Аржиакволлс). Формативы для промежуточных подгрупп взяты от формативов более высоких категорий, например, Arguiauolls (Аржиакволлс), для почв, входящих в группу вертисолей (Vertisols-Вертисолс). В случае, если почва имеет отклоняющееся от нормы свойство, которое не связано с характеристикой высшей категории, класс почвы относится к внегрупповым и его определение дополняется вспомогательной характеристикой. Например, понятие “pachic” (от греч. pachis – мощный) определяет почву, имеющую более мощный по сравнению с типичным поверхностный горизонт.

Название семейства почв содержит наименование подгруппы и ряд дополнительных определений. Из девяти наиболее важных критериев, используемых в почвенной таксономии для определения почвы, чаще всего определяются три: гранулометрический состав, минералогический состав и температура. В каждом семействе названия классов носят описательный характер, а граница их определяется по количественным признакам. Для низших категорий – почвенных серий – к названию добавляется еще определение географического плана с указанием места, где данная почва впервые выделена, например, название города, реки и т.д. На рис.1 показаны примеры названий каждого из уровней выделенных категорий. Рис.2 представляет фотографию почв Turic Argiaboll (Типик Аржиаболл) с молликовым эпипедоном от 0 до 30 см, альбик горизонтом мощностью 30-41 см и аржилликовым горизонтом глубже 41 см.

Применение системы

Почвенные исследования проводятся для разных целей и с разной степенью точности. Их задача – идентифицировать, дать названия и нанести на карту почвы определенного участка местности и дать им характеристику, удовлетворяющую указанным целям. При проведении почвенных исследований считается, что аналогичные почвы, где бы они ни были обнаружены, должны называться одинаково и результаты их изучения в одном месте могут быть с таким же успехом применены в другом месте их



Table 1. Formative elements in names of soil orders
 Таблица 1. Формативы в названиях порядков почв

Name of order Название порядка	Formative element Форматив	Derivation of formative element Происхождение формата	Pronunciation of formative element Произношение формата
Sol Сол	sol сол	L. Solum soil от лат. Solum – почва	Salt Сол
Alfisol Альфисол	alf альф	Meaningless syllable несмысловой слог	Pedalfer Педальфер
Andisol Андисол	and анд	Modified from ando сокращение от “андо”	Ando Андо
Aridisol Аридсол	id ид	L. aridus, dry от лат. aridus – сухой	Aridic Аридик
Entisol Энтисол	ent энт	Meaningless syllable несмысловой слог	Recent Рисент
Gelisol Джелисол	el эл	L. gelare, to freeze от лат. Gelare – замерзать	Gel (jelly) Джел (джелли)
Histosol Гистосол	ist ист	Gr. histos, tissue от греч. histos – ткань	Histology Гистолоджи
Inceptisol Инсептисол	ept епт	L. inceptum, beginning от лат. inceptum – начало	Inception Инсепшн
Mollisol Моллисол	oll олл	L. mollis, soft от лат. mollis – мягкий	Mollify Моллифай
Oxisol Окисол	ox окс	F. oxide, oxide от фр. oxide – окись	Oxide Оксайд
Spodosol Сподосол	od од	Gr. spodos, wood ash от греч. spodos – зола	Odd Одд
Ultisol Ультисол	ult ульт	L. ultimus, last от лат. ultimus – последний	Ultimate Ультимат
Vertisol Вертисол	ert ерт	L. verito, turn от лат. verito – поворот	Invert Инверт

The formative elements that are used in the intergrades are taken from naming elements of any of the higher categories, for example, Vertic Argiaquolls, which intergrade to the Vertisols. In the case in which a soil has an aberrant property that has not been associated with a higher category, the class is considered an extragrade and descriptive adjectives are added to connote the property. An example of an extragrade adjective is “pachic” (Gk. pachys, thick), which identifies a soil as having a thicker-than-normal surface horizon.

The names of families consist of the name of a subgroup and a set of modifying adjectives. A total of nine sets of criteria are considered in *Soil Taxonomy* for determining the proper modifying adjectives. The three most commonly used are particle size, mineralogy, and soil temperature. In each family, the names are descriptive of the class and the limits are

defined quantitatively. At the lowest category, the soil series, the names are nondescriptive geographic names taken from a town, city, river, etc., near the location where a soil was first recognized; so these names have no connotative value. Figure 1 shows examples of names at each of the categorical levels.

Applications of the system

Soil surveys are made at several intensities and for many purposes (photos 1-1 and 1-2). The objective in making a soil survey is to identify, name, map, and provide interpretations for the soils of an area to meet the designated purposes. In using soil surveys, it is assumed that wherever the same soil occurs, it is named the same, and that technical experience gained in one area of a soil can be transferred to other areas of its occurrence with similar results. Soil Taxonomy was designed to aid in making and using these surveys.



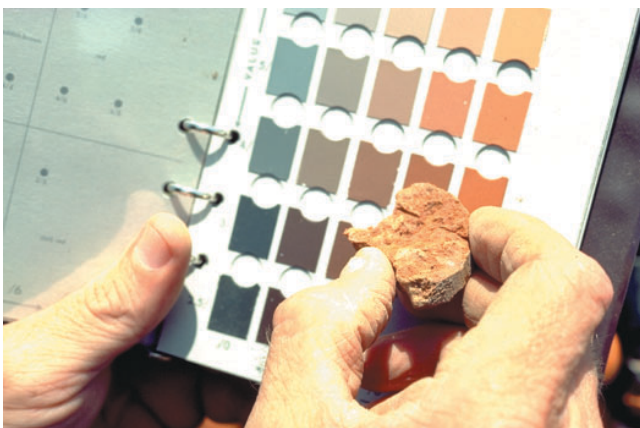


Photo 1-2. As part of the USDA soil survey program, soils are identified by a number of characteristics like color and texture. (Gene Alexander photo)
 Фото 1-2. В рамках программы почвенных исследований МСХ США, почвы идентифицируются по ряду признаков, включая цвет и структуру. (Фото Джина Александра)

распространения. “Таксономия почв” и была задумана как пособие для проведения таких исследований и использования их результатов.

“Таксономия почв” дает названия всем почвам и определяет пределы или диапазоны характеристик каждой почвы с конкретным названием. На высшем уровне классификации эти пределы широкие, поскольку все известные почвы подразделяются только на 12 классов. На низшем уровне существуют тысячи классов, и пределы их характеристик соответственно сужаются. Для мелкомасштабных почвенных карт обычно используются названия классов высших категорий почв, а для крупномасштабных – названия почвенных серий. Для практических целей почвенной съемки к названию картографируемых единиц на каждом уровне добавляется определение существенных признаков, которые не выделены на уровне критерия, например, “склоновая”, “маломощная” и д.

Заключение

Таксономия почв – это иерархическая система, в которой признаки почв, выбранные для выделения классов, отражают либо генетические свойства почвы, либо факторы почвообразования. Разработана новая терминология, обеспечивающая полную характеристику всего разнообразия почвенных классов. Определены диагностические горизонты и свойства, чтобы облегчить описание почв и дать им более точное название. Эта система успешно применяется при реализации программ почвенных исследований.

Литература

1. Хеллер, Дж. Л. 1963. Номенклатура почв или, что в названии? Труды Американского Общества Почвоведения. 27:216-220.
2. Смит, Г.Д. 1983. Историческое развитие таксономии почв – происхождение. В книге Л.П. Уайльдинга, Н.И. Смека, и Г.Ф.Холла (редакторы) – Педогенезис и почвенная таксономия: концепции и взаимодействия. Исследования в почвоведении ПА. Эльсвьер Сайентифик Пабблишинг Компани, Амстердам, Нидерланды. 301 с.
3. Смит, Г.Д. 1986. Интервью с Гаем Смитом: Обоснование концепций в “Таксономии почв”. В книге Т.Р. Форбса (редактор) – Техническая монография № 11 по Службе поддержки менеджмента почв. Университет Корнелл, Итака, Нью-Йорк. 259 с.
4. Сотрудники Службы Сотрудники Службы почвенных исследований. 1960. Классификация почв: Всеобъемлющая система –7е приближение. МСХ США, Государственная Служба печати (ГСП) США, Вашингтон, округ Колумбия. 265 с.
5. Сотрудники Службы почвенных исследований. 1975. “Таксономия почв”, – фундаментальная система классификации почв для создания и интерпретации почвенных обзоров. Сельскохозяйственный справочник МСХ, США, № 436, ГСП США, Вашингтон, округ Колумбия. 643 с.
6. Сотрудники Службы почвенных исследований. 1993. Руководство по почвенным обзорам. Сельскохозяйственный справочник МСХ США, № 18, ГСП США, Вашингтон, округ Колумбия. 437 с.



Soil Taxonomy provides names for all soils and specifies the limits or ranges in characteristics for each soil with a certain name. In the highest category, these ranges are broad because all the known soils are divided into only 11 classes. At the lowest level there are many thousands of classes, and the ranges are proportionally narrowed. For small-scale maps, map units are often named using class names from the higher categories, whereas for large-scale maps soil series names are normally used. Also, as needed for the practical purposes of a soil survey, phase designations such as “sloping” or “shallow” are added to map unit names at any categorical level to identify significant features that are not recognized by the previously defined criteria.

Conclusions

Soil Taxonomy is a hierarchical system in which the soil properties selected to identify classes are either those believed to be the result of soil genesis or those affecting soil formation. A new terminology, which is connotative, was developed to name the various classes. Diagnostic horizons and properties were defined to facilitate the description and keying out of soils. This system is successfully being used in many soil survey programs.

References

1. Heller, J.L. 1963. The nomenclature of soil, or what's in a name? *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 27:216-220.
2. Smith, G.D. 1983. Historical developments of soil taxonomy—background. In L.P. Wilding, N.E. Smeck, and G.F. Hall (eds). *Pedogenesis and Soil Taxonomy: Concepts and interactions. Developments in Soil Science IIA.* Elsevier Scientific Pub. Co., Amsterdam, The Netherlands. 301 pp.
3. Smith, G.D. 1986. The Guy Smith interviews: Rationale for concepts in Soil Taxonomy. In T.R. Forbes (ed). *Soil Management Support Services Technical Monograph No. 11*, Cornell University, Ithaca, NY. 259 pp.
4. Soil Survey Staff. 1960. *Soil classification: A comprehensive system—7th approximation.* U.S. Department of Agriculture, U.S. Government Printing Office (GPO), Washington, DC. 265 pp.
5. Soil Survey Staff. 1975. *Soil Taxonomy, a basic system of soil classification for making and interpreting soil surveys.* USDA Agric. Hdbk. No. 436, U.S. GPO, Washington, DC. 754 pp.
6. Soil Survey Staff. 1996. *Keys to Soil Taxonomy, 7th edition.* USDA-NRCS. U.S. GPO, Washington, DC. 643 pp.
7. Soil Survey Staff. 1993. *Soil survey manual.* USDA Agric. Hdbk. No. 18. U.S. GPO, Washington, DC. 437 pp.



Soil Erosion Prediction in the United States

Прогнозирование эрозии почв в США

Soil Erosion Prediction in the United States

David L. Schertz, John M. Laflen, Lawrence J. Hagen, Glenn A. Weesies, Gary E. Formanek, George R. Foster, and Lee P. Herndon

Abstract

The ability to predict soil erosion is a valuable tool that can help producers manage their lands in order to maintain productivity and preserve environmental quality. Early technology for predicting erosion caused by wind and water was empirical, based on many years of field measurement of soil losses under typical cropping and management conditions. New prediction technologies will be based on mathematical descriptions of the fundamental erosion processes.

Introduction

In the early 1930's, the United States Department of Agriculture (USDA) established the Soil Conservation Service—now the Natural Resources Conservation Service (NRCS)—to address soil erosion. It encouraged States to pass legislation to support conservation efforts. By 1940, a series of research stations had been established over much of the United States for the purpose of studying soil erosion and developing means for its control.

In the early 1940's, D.D. Smith suggested that soil and its productivity could be maintained indefinitely if soil loss could be controlled on an average annual basis below some tolerable level (T) (10).¹ Thus, conservationists and farmers could prevent excessive soil erosion while using the land at its full potential if values for T could be developed. The erosion prediction technologies currently in use are based on empirical wisdom. Some Federal laws rely on them to determine the eligibility of land users to participate in Federal crop production programs as well as to determine highly erodible fields in relation to the 1985 farm bill. NRCS scientists also use erosion prediction technology to conduct broad-scale economic and environmental assessments of agriculture in the United States.

The current empirical technologies for predicting soil erosion have served users well; however, they have proved to be difficult to apply in some cases. In 1985, an effort was initiated to replace the present empirical wind and water erosion prediction equations with methods based on mathematical descriptions of fundamental hydrologic and erosion processes (1, 6). This chapter discusses technologies

currently in wide use and those being developed to replace existing empirical ones.

Discussion

Empirically Based Technologies

The empirically based technologies used to predict soil erosion are the Universal Soil Loss Equation (USLE) (12, 13) and its revision (8) for predicting water erosion and the Wind Erosion Equation (WEQ) for predicting wind erosion (14). In both cases, these technologies are intended to be used by conservationists working directly with land users over much of the world.

Universal Soil Loss Equation (USLE)

The USLE quantifies soil erosion as the product of six factors representing rainfall and runoff erosiveness, soil erodibility, slope length, slope steepness, cover and management practices, and supporting practices. The USLE, developed jointly by researchers and users, was presented in 1965 through *Agriculture Handbook 282* (12) and updated in *Agriculture Handbook 537* in 1978 (13). The USLE computes the average annual erosion as:

$$A = R * K * L * S * C * P,$$

where A is the computed average annual soil loss per unit area; R is the rainfall and runoff factor, which may include a subfactor for winter runoff, including snowmelt; K is the soil erodibility factor; L is the slope-length factor; S is the slope steepness factor; C is the cover and management factor; and P is the supporting practice factor. The USLE adapts easily to local use.

Revised USLE

The revised USLE (RUSLE) is an automated soil erosion prediction technology that includes research results obtained since 1978. The basic USLE structure is retained, but the technology for evaluating the factors is altered and new data are introduced (8). The official release of RUSLE occurred in 1992. Improvements incorporated into RUSLE include:

¹ Underlined numbers in parentheses cite sources listed in the References section at the end of this article.



Прогнозирование эрозии почв в США

Дэвид. Л. Шерти, Джон. М. Лафлен, Лоренс. Дж. Хаген, Гленн. А. Визис, Гари. Е. Форманек, Джордж. Р. Фостер, Ли. П. Герндон

Резюме

Прогнозирование процессов эрозии почв можно рассматривать как средство, способное помочь земледельцам сохранить продуктивность почвы и качество окружающей среды. На ранней стадии изучения этих процессов технология прогнозирования ветровой и водной эрозии носила эмпирический характер, основанный на многолетнем опыте определения потерь почвы в типичных условиях земледелия. Новая технология прогнозирования основана на математическом описании основных процессов эрозии.

Введение

В начале 1930-х годов Министерство сельского хозяйства (МСХ США) создало Службу охраны почв – теперь она называется Национальной службой охраны природных ресурсов (СОПР) – с целью организации работ по борьбе с эрозией. Это ускорило принятие специальных природоохранных законодательств в отдельных штатах. К 1940 году по всей стране была сформирована сеть опытных станций для изучения процессов эрозии почв и разработки почвозащитных мероприятий.

В начале 1940-х годов Д.Д.Смит предложил считать состояние почвы и ее плодородие нормальными, если потери почвы ежегодно в среднем не превышают определенного допустимого уровня T (10%). Таким образом, фермеры и экологи могли предотвратить повышенную эрозию, придерживаясь потенциальной возможности сохранять определенный уровень потери почв, не превышающий величину T . Используемые в настоящее время методы прогнозирования эрозии носят эмпирический характер. Некоторые федеральные законы предусматривают применение этих методов для определения соответствия ферм требованиям, предъявляемым для участников федеральных программ производства сельскохозяйственных культур, а также при определении границ полей с сильно эродированными почвами по условиям сельскохозяйственного закона 1985 г. СОПР также использует эти методы прогнозирования эрозии для широкомасштабных экономических и экологических оценок сельскохозяйственного производства США.

Общепринятые эмпирические уравнения прогнозирования эрозии почв широко использовались фермерами, хотя в некоторых случаях их применение было затруднено. В 1985 году предпринята попытка заменить существующие эмпирические уравнения для прогнозирования ветровой и водной эрозии методами, основанными на математическом описании фундаментальных гидрологических и эрозионных процессов [1, 6]. В данной статье описываются как общепринятые методы прогнозирования процессов эрозии почв, широко используемые в практике сельского хозяйства США, так и новые научные разработки, идущие на смену существующим эмпирическим методам.

Обсуждение

Эмпирические технологии

Среди эмпирических методов прогнозирования эрозии почв – универсальное уравнение потерь почвы (УУПП) [12,13] и его модификация [8] для прогнозирования водной эрозии, а также уравнение потерь почвы от ветровой эрозии (УВЭ) [14]. В обоих случаях эти уравнения используются экологами, работающими в тесном контакте с фермерами на большей части земного шара.

Универсальное уравнение потерь почвы (УУПП)

Это уравнение учитывает 6 факторов, определяющих потери почвы: дождевые осадки, поверхностный сток, подверженность почв эрозии, длина склона, крутизна склона, агротехническая обработка, почвозащитные мероприятия. Это уравнение было разработано учеными совместно с фермерами в 1965 году и опубликовано в “Сельскохозяйственном справочнике” № 282 [12], а затем уточнено в “Справочнике” № 537 в 1978 году [13]. Уравнение определяет среднюю годовую эрозию и выглядит следующим образом:

$$A = R * K * L * S * C * P,$$

где A – средний ежегодный смыв почвы с единицы площади, R – фактор дождевых осадков и стока, включающий также фактор зимнего стока и снеготаяния; K – фактор подверженности почвы



1. The R values can be selected from revised maps which show lines of equal erosion hazard (isoerodent maps). The climatic data base is expanded for the Western United States.
2. The K values are made time-varying to reflect freeze-thaw conditions. A new equation is used for volcanic soils in Hawaii. There is a correction for rock fragments.
3. The LS values are revised to express the interrelationship of erosion by raindrop impact and by flow and topography.
4. The C values are developed from a continuous function representing the subfactors of prior land use, surface cover, crop canopy, surface roughness, and soil moisture.
5. The P values are expanded on cropland and now include rangeland practices.

Wind Erosion Equation (WEQ)

Using wind tunnel and field studies, W.S. Chepil and colleagues set out in the mid-1950's to develop a wind erosion equation (WEQ). The results, published in 1965 (14), can be expressed as:

$$E = f(I, K, C, L, V),$$

where E is the estimated average annual soil loss per unit area. The erodibility index, I, is the potential annual wind erosion for a given soil under prescribed field conditions. This factor is expressed as the average annual soil loss in mass per unit area from a field area that is isolated from incoming eroding soil, is unsheltered by barriers, and is wide, bare, smooth, level, loose, and uncrusted at a location where the climatic factor is 100. The I factor is inversely related to the percentage of soil aggregates in the surface layer greater than 0.84 mm in diameter.

The remaining factors represent adjustments to the I factor. The K factor reduces the estimated erosion for protection provided by ridges and is based on ridge height, ridge spacing, and prevailing wind direction. The C factor adjusts for the average annual erosive potential of climate (windspeed, precipitation, and air temperature) at a particular location compared to that at Garden City, KS. The L factor reduces predicted erosion as field length decreases; adjustment factors for L based on field shape and wind preponderance have been developed (9). The V factor reduces erosion based on the kind, quantity, and orientation of the vegetation present (4).

Using tables, charts, and procedures outlined by NRCS (11), the WEQ is used as a tool to aid in conservation planning, inventory, and assessment of land status, and in environmental planning.

Fundamental Process-Based Technologies

For both wind and water erosion, empirical methods have proved cumbersome to modify and have failed to meet all climatic, soil, topographic, and management situations where they must apply. With the recent development of personal computers and the advances in erosion and hydrologic sciences, models based on mathematical descriptions of fundamental erosion processes can now be used.

Water Erosion Prediction Project (WEPP)

WEPP, a process-based model, is being developed to operate on a personal computer at the field level (1). Conservationists and land users will work together using WEPP to explore how a land user can manage land to both achieve a sustainable agriculture and maintain good water quality.



Photo 2-1 and Photo 2-2. In the United States, the Revised Universal Soil Loss Equation is used to predict erosion from water (Tim McCabe photo) and the Wind Erosion Equation assists in predicting soil losses due to wind erosion. (Gene Alexander photo)

фото 2-1 и фото 2-2. В Соединенных Штатах уточненное уравнение потерь почвы RUSLE используется для прогнозирования водной эрозии (фото 2-1 Тима МакКейба), а уравнение ветровой эрозии УВЭ помогает предсказать потери почвы в результате ветровой эрозии. (фото Джина Александра)



эрозии (эродируемости); L – фактор длины склона; S – фактор крутизны склона; C – фактор растительного покрова и агротехники; P – фактор почвозащитных мероприятий. Уравнение УУПП может быть легко приспособлено к местным условиям.

Уточненное уравнение (УУУПП)

Уточненное уравнение потерь почвы (УУУПП) является методом автоматического прогнозирования эрозии почв, в основе которого лежит структура прежнего уравнения, но технология оценки факторов изменена и дополнена новыми данными, полученными после 1978 г. [8]. Новое уравнение официально утверждено в 1992 г. Оно включает следующие усовершенствования:

1. Величина R пересмотрена на основе уточненных карт эрозионной опасности, показанной в виде изолиний. База климатических данных расширена за счет новых данных для западных районов США.
2. Фактор K эродируемости почв дифференцирован по сезонам, чтобы отразить условия промерзания и оттаивания почв. Новое уравнение дано для вулканических почв Гавайских островов. Проведена его корректировка для обломочных почвообразующих пород.
3. Величины L и S откорректированы с учетом взаимосвязи между дождевой эрозией, характеризуемой воздействием дождевых капель, и струйчатым размывом, определяемым особенностями рельефа.
4. Фактор C усовершенствован и рассматривается как непрерывная функция составляющих его подфакторов: предшествующего землепользования, почвенного покрова, густоты посевов, неровностей рельефа, влажности почвы.
5. Фактор P расширен за счет пашни и пастбищ.

Уравнение для расчета ветровой эрозии (УВЭ)

На основе данных многолетних опытов В.С.Чепил с коллегами в середине 1950-х годов составил уравнение для расчёта ветровой эрозии WEQ. Опубликованное в 1965 году, уравнение [14] представляет собой следующую функцию:

$$E=f(I,K,C,L,V),$$

где E – средние ежегодные потери почвы на единицу площади. Индекс эродируемости I – потенциальная ежегодная ветровая эрозия для данной почвы в определенных условиях. Этот фактор выражен как средние ежегодные потери почвы на единицу площади поля, изолированного от поступления эродированного

материала, не защищенного лесополосами, лишённого растительности, с горизонтальной взрыхленной поверхностью, лишённой защитной корки, при величине климатического фактора, равной 100. Фактор I связан обратной зависимостью с процентным содержанием в поверхностном слое почвенных агрегатов диаметром более 0,84 мм.

Остальные факторы представляют собой производные от фактора I . Фактор K – оценка противоэрозионных мероприятий после нарезки валиков – отражает высоту валиков, частоту их расположения и преобладающее направление ветра. Фактор C определяет средний ежегодный потенциал эрозии в зависимости от климата (скорость ветра, осадки, температура воздуха) в данном пункте по отношению к Гарден Сити, штат Канзас. Фактор L отражает уменьшение эрозии при сокращении длины полей; дополнительно учитываются форма полей и преобладающее направление ветра [9]. Фактор V отражает ослабление эрозии за счет растительности; учитывает тип, густоту современной растительности и ориентацию посадок [4].

С использованием разного рода таблиц, карт и приемов, разработанных Национальной службой охраны природных ресурсов [11], уравнение УВЭ применяется при планировании, учете и оценке состояния пахотных земель и окружающей среды.

Фундаментальные методы, основанные на изучении процессов.

Для предотвращения ветровой и водной эрозии эмпирические методы прогнозирования оказались сложными для использования в конкретных ситуациях, поскольку невозможно учесть все климатические, почвенные и топографические условия, где они могли бы найти применение. В эпоху появления персональных компьютеров и дальнейшего развития учения об эрозии и гидрологии стали разрабатываться модели математического описания фундаментальных эрозионных процессов, которые могут найти широкое применение.

Проект прогнозирования водной эрозии (ППВЭ)

ППВЭ – это теоретическая модель, разработанная для работы на персональном компьютере на уровне каждого поля [1]. Экологи и фермеры могут вместе пользоваться этой моделью для развития эффективного земледелия при сохранении хорошего качества воды.



WEPP operates on a daily time step, based on expected weather. A crop growth component updates the crop and soil parameters related to soil erosion and hydrology. If rainfall occurs on a given day, a hydrology component computes runoff rate and amounts—based on rainfall input and computed infiltration rates. An erosion component computes detachment caused by rainfall and runoff and computes deposition for conditions where the flow is unable to transport the detached sediment.

WEPP will have three versions and will apply to areas of up to about 250 hectares, depending on the erosion processes taking place. The hillslope version will apply to slopes within a field until a concentrated flow channel is reached. The watershed version will describe channel processes until the field edge is reached. The grid version will break the field of interest into small grids. It will compute erosion within each grid element and use transport equations to compute the movement of sediment from one grid element to the next, down to the field edge.

WEPP considers sheet, rill, and small channel erosion, but does not consider the erosion processes common to larger areas, such as classical gullies and streams.

WEPP includes an interface that allows the user to easily build and access files and to create output information in several forms. Currently, WEPP is being tested and evaluated. It is expected to be used by USDA's Natural Resources Conservation Service and Forest Service and the U.S. Department of the Interior's Bureau of Land Management for soil erosion prediction.

Wind Erosion Prediction System (WEPS)

WEPS, like WEPP, is also a process-based, continuous, daily simulation model (2). In WEPS, the simulation region will be a field or, at most, a few adjacent fields. Model outputs will be estimates of soil loss and deposition within the simulation region for user-selected time intervals. WEPS will also have an option to provide users with estimates for the individual fractions of creep, saltation, and suspension, as well as for the deposition.

The structure of WEPS is modular and consists of a program, a user-interface, seven submodels with their four associated data bases, and an output section (3). To run WEPS, data bases are needed for the climate, soil, crop growth or decomposition, and tillage parameters.

Generally, results will be generated as needed; however, where computers are not available onsite, tables of simulated erosion for typical field conditions can be developed for field-level use.

Summary

During the early part of the 20th century in the United States, private and governmental bodies joined forces to try to control soil erosion. Empirical methods for predicting both wind and water erosion were developed, which are used worldwide today. Currently, the emphasis is on developing technologies to predict erosion using personal computers. Eventually, these technologies will become part of more comprehensive models for managing the Earth's soil resources.



Модель работает с ежедневным временным шагом с учетом ожидаемой погоды. Блок роста сельскохозяйственных культур включает параметры растений и почв, постоянно обновляемые в связи с эрозией почв и гидрологическими условиями. Если в определенный день ожидается дождь, в гидрологическом блоке рассчитывается модуль и общий объем стока, исходя из количества осадков и рассчитанного количества просачивающейся воды. В эрозионном блоке рассчитывается диспергирование почвы, вызванное дождем и стоком, а также условия, при которых поток не способен переносить диспергированные частицы почвы.

Модель ППВЭ имеет три модификации и может найти применение на участках площадью около 250 га или более, в зависимости от развития процессов эрозии. *Вариант склоновой эрозии* используется для склонов в пределах поля, где развита ручейковая эрозия. *Вариант водосбора* используется в том случае, когда ручейковая эрозия выходит за пределы данного поля. *Сетчатый вариант* включает разделение поля на сеть малых ячеек, в каждой из которых вычисляется величина смыва, и с помощью уравнений переноса рассчитывается движение отложений с одной ячейки на другую вниз до края поля.

Модель ППВЭ пригодна для расчета плоскостной, струйчатой и мелкоручейковой эрозии на сравнительно небольшой территории, но не может быть использована для описания эрозионных процессов на более крупных площадях, а также для описания овражной и русловой эрозии.

Модель ППВЭ включает интерфейс, который позволяет пользователю легко построить файлы и создать выход информации разного вида. В настоящее время модель прошла испытания и оценку. Она рекомендована для применения СОПР, Службой лесоводства и Бюро по землеустройству с целью прогнозирования эрозии почв.

Система прогнозирования ветровой эрозии (СПВЭ)

Подобно ППВЭ, модель СПВЭ – это непрерывная, основанная на ежедневной информации модель, имитирующая процесс эрозии [2] на уровне поля или, по крайней мере нескольких, соседних полей. Получаемая информация дает оценку потерь почвы в пределах заданной площади и интервалов времени. Кроме того, СПВЭ может дать пользователям отдельную оценку выноса отдельных фракций, перемещенных при сползании, в растворенной форме и в форме суспензии, а также об их переотложении.

По своей структуре СПВЭ представляет собой программу, состоящую из интерфейса и семи субмоделей с четырьмя объединенными базами данных [3]. Последние касаются данных о климате, почвах, условиях роста сельскохозяйственных культур или их состава и способов обработки.

Обычно получаемые результаты обобщаются в соответствии с потребностями пользователя; там, где нет компьютеров, для уровня одного поля могут быть использованы таблицы, составленные для типичных условий.

Заключение

В первые десятилетия XX века в США частные и государственные организации объединили свои усилия для борьбы с эрозией почв. Были разработаны эмпирические методы прогнозирования как ветровой, так и водной эрозии почв, которые до сих пор широко используются во всем мире. В настоящее время особое внимание уделяется развитию технологий прогнозирования процессов эрозии с помощью персональных компьютеров. Со временем эти технологии станут частью усовершенствованных моделей управления почвенными ресурсами на земном шаре.



References

1. Foster, G.R. 1987. User Requirements: USDA-Water Erosion Prediction Project (WEPP). NSERL Report No. 1, National Soil Erosion Research Laboratory, USDA-ARS, West Lafayette, IN.
2. Hagen, L.J. 1991. A wind erosion prediction system to meet user needs. *J. Soil and Water Conserv.* 46:2, pp. 106-111.
3. Hagen, L.J. and G.R. Foster. 1990. Soil erosion prediction technology. *Proc. of Soil Erosion and Productivity Workshop*, pp. 117-135. University of Minnesota, St. Paul, MN.
4. Lyles, L. and B.E. Allison. 1981. Equivalent wind-erosion protection from selected crop residues. *Trans. Amer. Soc. Agr. Engin.* 24(2):405-408.
5. McDonald, A. 1941. Early American soil conservationists. Misc. Publ. 449. U.S. Dept. Agr. Washington, DC.
6. Nearing, M.A. and L.J. Lane. 1989. USDA-Water erosion prediction project: Hillslope profile model documentation. NSERL, Report No. 2, National Soil Erosion Research Laboratory, USDA-ARS, West Lafayette, IN.
7. Potter, K.N., T.M. Zobeck, and L.J. Hagen. 1990. A microrelief index to estimate soil erodibility by wind. *Trans. Amer. Soc. Agr. Engin.* 33(1):151-155.
8. Renard, K.G., G.R. Foster, G.A. Weesies, D.K. McCool, and D.C. Yoder. 1997. Predicting soil erosion by water: A guide to conservation planning with the Revised Universal Soil Loss Equation. U.S. Govt. Print. Off.
9. Skidmore, E.L. 1987. Wind erosion direction factors as influenced by field shape and wind. *J. Soil Sci. Soc. Amer.* 51:198-202.
10. Smith, D.D. 1941. Interpretation of soil conservation data for field use. *Agricultural Engineering* 22:173-175.
11. Soil Conservation Service. 1988. National Agronomy Manual. 190-V-NAM, 2d ed. U.S. Dept. Agr. Washington, DC.
12. Wischmeier, W.H. and D.D. Smith. 1965. Predicting rainfall-erosion losses from cropland east of the Rocky Mountains—Guide for selection of practices for soil and water conservation. *Agric. Handbook No. 282*. U.S. Dept. Agr. Washington, DC.
13. Wischmeier, W.H. and D.D. Smith. 1978. Predicting rainfall erosion losses. *Agric. Handbook No. 537*. U.S. Dept. Agr. Science and Education Administration, Washington, DC.
14. Woodruff, N.P. and F.H. Siddoway. 1965. A wind erosion equation. *J. Soil Sci. Soc. of Amer.* 9:602-608.



Литература

1. Фостер, Г.Р. 1987. Требования пользователей: проект предсказания водной эрозии (ППВЭ) МСХ США. Отчет №. 1 Национальной лаборатории Почвенной эрозии, Служба сельскохозяйственных исследований МСХ США, Западный Лафаетт, Индиана.
2. Хаген, Л.Дж. 1991. Система предсказания ветровой эрозии, отвечающая требованиям пользователей. Журнал охраны почв и вод, 46:2, с. 106-111.
3. Хаген, Л.Дж. и Г. Р. Фостер. 1990. Технология предсказания почвенной эрозии. Протоколы семинара по почвенной эрозии и продуктивности, с. 117-135. Университет Миннесоты, Сэйнт Пол, Миннесота.
4. Лайес, Л. и Б.И. Аллисон. 1981. Эквивалент защиты от ветровой эрозии избранными растительными остатками. Транскрипты Американского общества сельскохозяйственных инженеров. 24(2):405-408.
5. МакДональд, А. 1941. Ранние американские защитники почв. Различные Публикации 449- МСХ США. Вашингтон, округ Колумбия.
6. Ниринг, М.А. и Л. Дж. Лэйн. 1989. Проект прогнозирования водной эрозии МСХ США: Документация модели профиля склона. Отчет № 2 Национальной лаборатории почвенной эрозии, Служба Сельскохозяйственных исследований МСХ США, Западный Лафаетт, Индиана.
7. Поттер, К. Т., Т. М.Зобек и Л. Дж. Хаген. 1990. Индекс микрорельефа для оценки подверженности почвы ветровой эрозии. Транскрипты американского общества сельскохозяйственных Инженеров. 33(1): 151-155.
8. Ренард, К.Г, Г.Р. Фостер, Г.А. Висис, Д.К. МакКул и Д.С. Йодер. 1997. Прогнозирование водной эрозии почв: Руководство к планированию защиты почв с помощью пересмотренного универсального уравнения потери почв. ГСП США.
9. Скидмор, Е.Л. 1987. Влияние формы поля и ветра на факторы направления ветровой эрозии. Журнал Американского общества почвоведения 51:198-202.
10. Смит, Д. Д. 1941. Интерпретация данных по охране почв для использования на полях. Сельскохозяйственная Инженерия 22:173 -175.
11. Служба охраны почв. 1988. Национальное руководство по агрономии. 190-V-NAM, 2е издание. МСХ США. Вашингтон, округ Колумбия.
12. Вишмайер, В.Х. и Д. Д. Смит. 1965. Прогнозирование потерь от дождевой эрозии на полях к востоку от Скалистых гор — Руководство по выбору методов охраны почв и вод. Сельскохозяйственный справочник МСХ США. № 282, МСХ США, Вашингтон, округ Колумбия.
13. Вишмайер, В.Х. и Д. Д. Смит. 1978. Прогнозирование потерь от дождевой эрозии. Сельскохозяйственный справочник МСХ США. № 537, МСХ США, Отдел науки и образования, Вашингтон, округ Колумбия.
14. Вудрафф, Н. П. и Ф.Х. Сиддовой. 1965. Уравнение ветровой эрозии. Журнал американского общества почвоведения 9:602-608.





Windbreaks for Reducing Wind Erosion

Ветроломы как средство борьбы с ветровой эрозией

Windbreaks for Reducing Wind Erosion

Sherman J. Finch, Richard A. Cunningham, James D. Bilbro, and Jack R. Carlson

Abstract

Windbreaks are widely used in the United States to control wind erosion, protect crops and the environment, save energy, and improve wildlife habitat. Damage from wind erosion is increasing, especially in the Great Plains region of the United States. Both annual and perennial herbaceous, in addition to trees and shrubs, are used in windbreaks. This article discusses the relative merits of each and the research that has resulted in improved plant materials.

Introduction

In the United States, soil erosion by wind is a growing concern. The overall damage caused by wind about equals that caused by water. In 1989, wind erosion in the Great Plains (541 counties selected) was reported to have damaged 15 million acres. This was the second worst year since 1955, when the U.S. Department of Agriculture's (USDA) Natural Resources Conservation Service (NRCS) began recording damage resulting from wind erosion. The results of the 1987 National Resources Inventory showed that from 1982 to 1987 wind erosion on cultivated cropland increased nationwide from 3.4 tons to 3.6 tons per acre per year (13).¹

Windbreaks are useful in all 50 States, but they are frequently used in the Great Plains to modify the sometimes harsh climates of vast open grasslands. Trees and shrubs comprise the majority of windbreaks. Using perennial grass barriers as windbreaks is also a common practice, especially in the northern Great Plains. Besides the main objectives of protecting crops and reducing wind erosion, windbreaks provide protection around farmsteads and livestock areas, help in the management of snow and the control of temperature, save energy, and increase crop yields. The energy savings resulting from windbreaks has encouraged many homeowners to plant barriers around homesteads.

Currently, windbreak materials are supplied to the general public from commercial and private nurseries. With the trend toward fewer rows in windbreaks, the need for plant materials adapted to specific areas constantly increases. For the most part, one-row field windbreaks have replaced the multirow belts of the 1930's.

Discussion

Through more than 3,000 conservation districts, specialists from USDA's NRCS and Cooperative State Research, Education, and Extension Service and State forestry agencies provide technical assistance to landowners. Species selection is based on listings developed by grouping similar soils in each major land-resource area. These are called windbreak suitability groups, and there are 10 of them. The expected height of each species at 20 years for different precipitation zones is included in order to plan the expected height of a windbreak. Generally, detailed soil information to help in the selection of suitable trees and shrubs is available for each landowner. A Web-based computer program called VEGSPEC has been developed for conservationists to develop individual standards and specifications for windbreak plantings.

In most areas of the Western United States, much of which is arid or semiarid, supplemental water is necessary when establishing a windbreak. Trickle or drip irrigation is used extensively to supply the needed water. Increasingly, weed barriers are being established across the United States, especially where mechanical or chemical weed control will be limited. Only in the desert will windbreaks normally be irrigated past the establishment period of 3 to 5 years.

Herbaceous Windbarriers

Herbaceous windbarriers can be made of annual or perennial plants. In either case, a windbarrier's effectiveness is determined by spacing, orientation of the barrier to the prevailing wind direction (8, 9), and plant characteristics (drought, disease, and insect resistance; branching, leafiness, and leaf retention; expected mature height, and porosity). Multiple rows of herbaceous barriers are recommended for convenience in planting, cultivating, and harvesting; they will minimize barrier gaps, remove more of the potentially erodible area, and increase trapping efficiency (2).

Research has shown that the effective heights of cultivars vary widely (3); therefore, cultivars should be tested for 2 or more years for local adaptation and final effective height before making recommendations. The effective heights of some cultivars can be increased by cutting off the plants at certain heights before lodging begins.

¹ Underlined numbers in parentheses cite sources listed in the References section at the end of this article.



Ветроломы как средство борьбы с ветровой эрозией

Шерман Дж. Финч, Ричард А. Каннингем, Джеймс Д. Билбро и Джек Р. Карлсон

Резюме

Ветроломные полосы широко используются в Соединенных Штатах для борьбы с ветровой эрозией, защиты посевов и окружающей среды, сохранения энергии и улучшения живой природы. Ущерб от ветровой эрозии постоянно возрастает, особенно в регионе Великих равнин США. Наряду с ветроломными полосами из деревьев и кустарников широкое применение находят полосы из однолетних и многолетних трав. В статье обсуждаются преимущества ветроломов каждого типа, а также результаты проведенных исследований по улучшению растительного материала для создания ветроломных полос.

Введение

В США процесс ветровой эрозии почвы постоянно усиливается. Общий ущерб от нее примерно равен ущербу от водной эрозии. В 1989 г. в регионе Великих равнин (данные по 541 округу) от ветровой эрозии пострадало около 15 млн. акров земли. Это был второй по масштабам ущерб за год, начиная с 1955 г., когда СОПР МСХ США ввела в практику систематическую оценку ущерба от ветровой эрозии. Результаты проведенного в 1987 г. учета национальных ресурсов показали, что с 1982 по 1987 г. проявление ветровой эрозии усилилось, и потери почвы составили от 3,4 т/акр до 3,6 т/акр в год [13].

Ветроломные полосы эффективны во всех 50 штатах страны, но наибольшее применение они находят в районах Великих равнин в условиях открытых пространств с травянистой растительностью. Большая часть ветроломов создается из деревьев и кустарников. На севере региона в качестве ветроломных барьеров практикуется применение многолетних трав. Помимо основного своего назначения – защиты посевов и уменьшения ветровой эрозии, ветроломы предохраняют ферские постройки, служат для снегозадержания и регулирования температуры, сохранения энергии и повышения урожайности культур. В целях сохранения энергии многие домовладельцы создают ветроломные полосы вокруг

своих построек. В настоящее время растительный материал для ветроломов выращивается в государственных и частных питомниках. В связи с тенденцией сокращения числа рядов в ветроломах, постоянно возрастает потребность в растениях, наиболее приспособленных к местным условиям. В большинстве случаев однорядные ветроломные полосы вытеснили многорядные ветроломы, типичные для 30-х годов.

Обсуждение

Специалисты Национальной службы охраны природных ресурсов, Кооперативной службы исследований, образования и внедрения Министерства сельского хозяйства США и департаментов лесного хозяйства в штатах оказывают техническую помощь землевладельцам в более чем 3000 районах сохранения почв. Для каждого района проводится подбор видов растений, пригодных для создания ветроломных полос, которая основывается на специальной группировке почв. Всего выделено 10 групп, пригодных для создания ветроломных полос. При планировании высоты ветроломов учитывается ожидаемая высота растений данного вида в 20-летнем возрасте и ее зависимость от зональных климатических условий. Каждый землевладелец имеет подробную информацию о почвах, которая помогает выбрать соответствующие виды деревьев и кустарников для создания ветроломных полос. Для специалистов была разработана компьютерная программа ВЕГСПЕК, основанная на использовании сети Интернет, которая позволяет разрабатывать индивидуальные стандарты и спецификации создания ветроломных посадок.

В большинстве районов на Западе США, где преобладает аридный и полуаридный климат, для создания ветроломных полос требуется дополнительное увлажнение. Для этих целей чаще всего применяется капельное орошение. Травяные барьеры из сорняков находят применение там, где ограничены возможности химической или механической борьбы с сорняками. Орошение ветроломных полос после 3-5-летнего периода их становления производится только в условиях пустыни.



When selecting plants for windbreaks, one must consider the purpose of the barrier and how long the barrier will be needed, among other things. Sometimes a combination of annuals and perennials may be desirable.

Annuals

Annuals can be established easily and inexpensively, can be planted simultaneously with a cash crop, and are less competitive for available soil moisture than perennials. Additionally, annuals can be used with any type of irrigation system and easily adapt to changes of field size and shape. The disadvantages of using annuals as windbreaks include the following: the need to establish them every year, the possibility of weather conditions precluding their timely establishment, the lack of continual protection, and the fact that annuals established simultaneously with the cash crop may not grow quickly enough to protect the crop's seedlings.

Perennials

Perennial herbaceous windbarriers provide continual protection even through periods of drought. They can protect greater distances downwind because their effective height can be greater than that of annuals and they last for many years with a minimum of maintenance. On the minus side, perennials in windbarriers are generally more difficult to establish, compete more for soil moisture, are less adaptable to changes in field size and shape, and are less adaptable to a variety of irrigation systems (photo 3-1).

Grasses are probably the most widely accepted type of perennial herbaceous windbarrier. Perennial grasses need to have at least the following characteristics to make acceptable



Photo 3-1. A windbarrier of perennial grass planted perpendicular to the prevailing wind direction provides protection from wind erosion. (Gene Alexander photo)

Фото 3-1. Ветроломный барьер из многолетних трав, посеянных перпендикулярно к направлению господствующих ветров, для защиты от ветровой эрозии. (фото Джина Александра)

barriers: drought, disease, and insect resistance; cold tolerance; height of 1 m or more; lodging resistance; and acceptable porosity. 'Alamo' switchgrass (grows to 1.9 m), giant sacaton (to 1.0 m), and 'Lometa' Indiangrass (to 1.4 m) have been tested at Big Spring, TX, and have survived temperatures of -11 degrees centigrade and made acceptable barriers. Tall wheatgrass, which is very effective in reducing wind erosion and distributing snow, is widely used. Black and Aase reported that at 0.3 m above the soil surface the grass barrier system reduced windspeed by about 45 percent over the approximately 15-meter interval between barriers and that potential wind erosion was reduced by 93.4 percent relative to an unprotected field (4). Also, snow was more uniformly distributed, and winter wheat yields were increased by as much as 47 percent.

Tree and Shrub Windbreaks

Most field windbreaks are made up of trees and shrubs. Herbaceous wind barriers or crop residue may provide inadequate cover to prevent wind erosion during drought years. Woody species, even when killed by drought, can persist long enough to provide adequate protection for the duration of the drought.

Traits of Importance to Windbreaks

Windbreaks are often planted in regions characterized by extremes in climatic and soil conditions where plant life is subjected to periodic stresses from shortages of water, poor soil, high winds, cold winter temperatures, and attack by insects, animals and diseases (6). The successful establishment of planting stock is often difficult, uncertain, and expensive. To achieve satisfactory stocking rates and avoid the need to replant, land users must plan windbreaks mindful of the traits that affect tree and shrub survival.

Cold hardiness may take several forms; resistance to winter injury, frost tolerance, or frost avoidance. Common forms of winter injury are branch-tip dieback, frost cracks, winter sunscald, cambial injury, root injury, and—in conifers—needle burning (7). The latitude of the seed source is generally a good indication of the degree of cold tolerance the seed has.

There are three major types of drought hardiness: resistance to drought, drought tolerance, and drought avoidance. They reflect the relative abilities of different plant species to survive extended periods of reduced precipitation (5). In general, the *Pinus* and *Juniperus* species possess high levels of drought resistance. *Populus* and *Salix* species have fairly high soil-moisture requirements.

Resistance to injury or mortality caused by insects, diseases and other pests is critical to the survival and performance of woody plants in windbreaks. Resistance to cold or drought is



Травянистые ветроломные барьеры

Для создания травянистых ветроломов используют однолетние или многолетние травы. В любом случае эффективность такого барьера определяется шириной междурядья, расположением барьера относительно направления господствующих ветров [8,9] и характеристиками травянистого растения (засухоустойчивость, устойчивость к болезням и вредителям, ветвистость, олиственность и крепость листьев, ожидаемая высота в спелом состоянии и пористость). Обычно рекомендуются многорядные травянистые барьеры для удобства посадки, обработки и уборки урожая; они обеспечивают минимальные просевы, восстановление эродированных почв и повышенное поглощение загрязнителей [2]. Проведенные исследования показали, что эффективная высота культур колеблется в широких пределах [3]; поэтому перед тем, как выдать рекомендации необходимо в течение двух или более лет проводить испытания на адаптацию культур к местным условиям и на эффективную высоту. Эффективная высота некоторых культур может быть увеличена путем подрезки растений на определенной высоте до того, как начнется их полегание.

При выборе растений для создания ветроломных полос следует, в первую очередь, определить назначение травяного барьера, включая период времени, на который он необходим. Иногда целесообразно использовать однолетние травы в сочетании с многолетними.

Однолетние травы

Ветроломные полосы из однолетних трав наиболее просты и дешевы, они высеваются одновременно с товарной культурой и по сравнению с многолетними травами меньше нуждаются в доступной почвенной влаге. Кроме того, однолетние травы можно использовать при любом типе орошения; их легко можно приспособить к изменениям размера и формы поля. Недостатки однолетних трав в качестве ветроломов заключаются в том, что их приходится сеять каждый год, их рост зависит от погодных условий, а при одновременном посеве с товарной культурой они могут отставать от нее в росте, не обеспечивая, таким образом, защиту всходов.

Многолетние травы

Ветроломы из многолетних трав обеспечивают более продолжительную и эффективную защиту даже в период засухи. Они могут защитить от низового ветра более широкую полосу, поскольку они превосходят по

эффективной высоте однолетние травы; они сохраняются многие годы, требуя минимум ухода. Однако создание таких ветроломных полос требует больших затрат труда и средств, многолетние травы больше нуждаются в почвенной влаге, они менее адаптивны к изменениям как размера и формы полей, так и системы орошения.

Многолетние травы наиболее широко используются для создания многолетних ветроломных барьеров. При выборе видов многолетних трав необходимо учитывать такие их характеристики, как засухоустойчивость, сопротивляемость болезням и вредителям, морозоустойчивость, высоту (не менее 1 м), устойчивость к полеганию и приемлемую пористость почвы. Пруттьевидное просо “Аламо” (высота до 1,9 м), “Джайант Сакатон” и соргаструм “Ломета” (до 1,4 м), которые испытывались в условиях Техаса, где выдерживали температуры до -11°C, являются вполне подходящим материалом для ветроломов. Для борьбы с ветровой эрозией и для снегозадержания широко используется также пырей. По данным Блэк Аасе [4], травянистый покров высотой 0,3 м на поверхности почвы при 15-метровом расстоянии между барьерами снижает скорость ветра примерно на 45%. Потенциальная возможность проявления ветровой эрозии в этом случае уменьшается на 93,4% в сравнении с незащищенными полями. При этом снег размещается равномерно по всей территории поля, и урожайность озимой пшеницы увеличивается на 47%.

Деревья и кустарники

Чаще всего ветроломные полосы создаются из деревьев и кустарников. Травянистые барьеры или пожнивные остатки не всегда эффективны в борьбе с ветровой эрозией, особенно в засушливые годы. Различные виды деревьев даже в период засухи способны обеспечить защиту сельскохозяйственных культур и предохранить их от полегания из-за отсутствия влаги и воздействия ветра.

Важнейшие характеристики ветроломов

Ветроломные полосы чаще всего создают в районах с экстремальными климатическими и почвенными условиями, где растения подвергаются периодическим стрессам из-за недостатка влаги, сильных ветров, низкой температуры в зимнее время, различных болезней и вредителей [6].

При выборе посадочного материала для создания ветроломных полос необходимо учитывать особенности каждого вида растения.



often correlated with resistance to pests. Several cultivars of windbreak tree and shrub species with proven resistance to specific insects or diseases are available (12).

Saline soils, sandy soils, blow sand, and soils with high water tables and other limiting factors have soil properties that may limit the choice of tree and shrub species.

The height of a windbreak rules its effectiveness so, it is best to choose trees that will grow as tall as the site will allow. Although some species such as *Populus* and *Salix* are very fast growing and reach optimum effectiveness quickly, they often are short-lived because of their susceptibility to damage by pests.

Most windbreaks are planted to reduce wind velocity or change windflow patterns (photo 3-2). A windbreak's capacity to furnish protection depends on the sum total of all tree and shrub foliage contributing to the barrier's effective height, density and continuity (10). Windspeed reduction patterns are determined primarily by the porosity and distribution of pores in the barrier (11). On an individual plant basis, crown density is determined by component factors of branch angle, branch diameter, number of branches, live branch retention, and kind and amount of foliage (7). Because wind protection is important during the entire year, the effective density of deciduous species is best judged when the trees are without foliage. In coniferous trees, foliage production, years of needle retention, and relative needle length contribute to the overall crown density rating.



Photo 3-2. A newly planted multi-row windbreak of deciduous and coniferous trees and shrubs will provide protection for nearby cropland. (Tim McCabe photo)

Фото 3-2. Молодая посадка многорядного ветролома из листопадных и хвойных деревьев и кустарников, предназначенная для защиты соседнего поля. (фото Тима МакКейба)

Cultivars for Windbreaks

The release of named cultivars promotes the use of genetically improved trees and shrubs in windbreaks. Cultivars of tree and shrub species are tested over a variety of sites for several years to insure that they are worthy of release. Germplasm and planting stock of over 100 cultivars are currently available for use in field and farmstead windbreaks (6).

Summary

Windbreaks are the mainstay of many U.S. land users' natural resources conservation programs. The first major windbreak planting in the United States, the Prairie State Forestry Project, began in 1935 (1). When the project ended in 1942, 18,600 miles of windbreaks had been planted in an area covering six States. By 1987, over 175,000 miles of windbreaks had been planted nationwide. Specialists in USDA's NRCS and Cooperative State Research, Education, and Extension Service and in State agencies provide technical advice to help landowners design windbreaks. These barriers reduce wind erosion, protect crops and the environment, help in managing snow and controlling temperature, and save energy.



Зимостойкость может иметь различные формы: устойчивость к зимнему повреждению, устойчивость к морозам или уклонение от воздействия мороза. Общие признаки зимнего повреждения: отмирание ветвей, морозобойные трещины, зимние солнечные ожоги, повреждение камбия, повреждение корней, а у хвойных пород – ожог хвои [7]. Район происхождения семян обычно является хорошим индикатором степени зимостойкости посадочного материала.

Различают три основных типа *засухоустойчивости*: устойчивость к засухе, выносливость к засухе и способность избегать воздействие засухи. Они отражают относительную способность различных видов растений переносить продолжительные периоды отсутствия или недостатка атмосферных осадков [5]. Как правило, сосна и можжевельник наиболее устойчивы к засухе. Все виды тополя и ивы, напротив, нуждаются в высоком содержании влаги в почве.

Устойчивость к повреждениям или даже отмиранию растений вследствие воздействия вредителей или болезней является важнейшим фактором при выборе дикорастущего посадочного материала для ветроломов. Морозо- и засухоустойчивость растений часто связана с устойчивостью к вредителям. Известны несколько пород древесных и кустарниковых культур, используемых для ветроломов, устойчивость которых к специфическим вредителям и болезням проверена опытным путем [12].

Засоленные почвы, песчаные почвы, развеваемые пески и почвы с высоким уровнем грунтовых вод, а также другие, зависящие от свойств почвы лимитирующие факторы, также могут ограничивать выбор видов деревьев и кустарников для создания ветроломов.

Высота ветролома определяет его эффективность, так что следует по возможности выбирать наиболее высокие деревья. Такие виды деревьев, как тополь и ива, быстро вырастают до оптимальной высоты, однако они часто недолговечны из-за восприимчивости к болезням и вредителям.

Большая часть ветроломов устраивается для снижения скорости ветра или изменения ветрового режима (фото 3-2). Их способность предохранять посевы от воздействия ветра зависит от общего вклада облиственной части деревьев и кустарников в

эффективную высоту барьера, его плотность и непрерывность [10]. Снижение скорости ветра определяется в первую очередь порозностью барьера и ее распределением в пределах барьера [11]. Индивидуальный вклад растения зависит от густоты кроны, определяемой диаметром и углом отхождения основных ветвей, порядком ветвистости, олиственностью ветвей и общим количеством листьев [7]. Поскольку действие ветроломов важно в течение всего года, то о густоте стояния наиболее пригодных видов деревьев и кустарников лучше всего судить, когда они находятся без листвы. У хвойных деревьев плотность кроны определяется годовой продукцией хвои, числом лет ее сохранения на ветви и относительным вкладом хвои в общую плотность кроны.

Культурные сорта растений для ветроломов

Селекция культурных сортов обеспечивает генетически улучшенные виды деревьев и кустарников для создания ветроломов. Сорта деревьев и кустарников испытываются на различных участках на протяжении многих лет, прежде чем их рекомендуют для применения. В настоящее время для создания ветроломов используется генетический и посадочный материал более чем 100 различных видов [6].

Заключение

Создание ветроломов предусмотрено в ряде проектов и программ по сохранению природных ресурсов США. Первые ветроломные полосы в США создавались в рамках проекта облесения в штатах района прерий, начиная с 1935 г. [1]. К моменту завершения проекта в 1942 г., на территории шести штатов было посажено 18600 миль ветроломных полос. К 1987 году протяженность национальной сети ветроломов составляла уже свыше 175000 миль. Специалисты Национальной службы охраны природных ресурсов (СОПР), Кооперативной службы исследований, образования и внедрения в штатах и других организаций оказывают техническую помощь земледельцам в реализации проектов по созданию ветроломов. Эти ветроломы служат для борьбы с ветровой эрозией, для охраны посевов и окружающей среды, а также способствуют снегозадержанию и сохранению энергии.



References

1. Baer, Norman W. 1989. Shelterbelts and windbreaks in the Great Plains. *J. For.* 87(4):32-36.
2. Bilbro, J.D. and D.W. Fryrear. 1988a. Annual herbaceous windbarriers for protecting crops and soils and managing snowfall. *Agric. Ecosystems Environ.*, 22/23: 149-161.
3. Bilbro, J.D. and D.W. Fryrear. 1988b. Wind erosion control with annual plants. *In*: P.W. Unger, W.R. Jordan, T.V. Sneed, and R.W. Jensen, eds. *Challenges in dryland agriculture—a global perspective*. Proceedings of the International Conference on Dryland Farming, 15-19 August 1988. Amarillo/Bushland, TX, pp. 89-90.
4. Black, A.L. and J.K. Aase. 1988. The use of perennial herbaceous barriers for water conservation and the protection of soils and crops. *Agric. Ecosystems Environ.*, 22/23:135-148.
5. Brandle, J.R., G.A. Riggs, Jr., J.A. Allen, and M.P. Coleman. 1984. Selection criteria for drought resistance. Proceedings of the 36th annual meeting of the Forestry Committee, Great Plains Agricultural Council, June 1984. Watertown, SD. Great Plains Agricultural Council Publication No. 112:137-147.
6. Cunningham, R.A. 1988. Genetic improvement of trees and shrubs used in windbreaks. *Agric. Ecosystems Environ.*, 22/23:483-498.
7. Dawson, D.H. and R.A. Read. 1964. Guide for selecting superior trees for windbreaks in the Prairie Plains. U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Lake States Forest Experiment Station, Research Paper LS-13, 22 pp.
8. George, E.J. 1971. Effect of tree windbreaks and slat barriers on wind velocity and crop yields. U.S. Department of Agriculture, Agricultural Research Service, Production Research Report No. 121, 23 pp.
9. Heisler, G. M. and D.R. DeWalle. 1988. Effects of windbreak structure on wind flow. *Agric. Ecosystems Environ.*, 22/23: 41-69.
10. Read, R.A. 1968. Silvicultural systems for rural populations: shelterbelts. *Proc. Sixth World Forestry Congress*. Madrid, Spain, 1966. Vol. III, pp. 3763-3768.
11. Skidmore, E.L. 1976. Barrier-induced microclimate and its influence on growth and yield of winter wheat. *In* Proceedings of Symposium, Shelterbelts on the Great Plains. Denver, CO, April, 1976. Great Plains Agricultural Council Publication No. 78, pp. 57-63.
12. Soil Conservation Service. 1991. Conservation tree and shrub cultivars in the United States. *Agric. Handbook* 692. U.S. Govt. Print. Off. 50 p.
13. Summary report: 1987 national resources inventory. USDA Soil Conservation Service, Iowa State Statistical Laboratory. 1988, *Stat. Bull.* 790, 37 p.



Литература

1. Байер, Норман В. 1989. Заградительные полосы и противоэрозионные посадки на Великих равнинах. Лесоводство 87(4):32-36.
2. Бильбро, Дж. Д. и Д.В. Фрайреар. 1988а. Однолетние травянистые ветровые барьеры для защиты культур и почв, и удержание снегового покрова. Сельскохозяйственные экосистемы, 22/23: 149-161.
3. Бильбро, Дж. Д. и Д.В. Фрайреар. 1988б. Борьба с ветровой эрозией с помощью однолетних культур. В книге П.В. Унтера, В.Р. Джордана, Т.В. Снида – и Р.В. Дженсена (редакторы) Проблемы сельского хозяйства в засушливой зоне – глобальная перспектива. Протоколы международной конференции по сельскому хозяйству засушливых земель, 15-19 августа, 1988г. Амарилло/Бушленд, Техас, с. 89-90.
4. Блэк, А. Л. и Дж.К. Аасе. 1988. Использование многолетних трав в качестве барьеров для охраны вод и защиты почв и с/х культур. Сельскохозяйственные экосистемы, 22/23:135-148.
5. Брендл, Дж.Р., Г.А. Риггс, Мл., Дж.А. Элиен – и М.П. Колеман. 1984: Критерии выбора для засухоустойчивости. Протоколы 36 – й ежегодной конференции Лесного комитета, Сельскохозяйственный совет Великих равнин, июнь 1984. Вотертаун, Южная Дакота. Публикация № 112 Сельскохозяйственного совета Великих равнин, с. 137-147.
6. Каннингем, Р. А. 1988. Генетические улучшения деревьев и кустарников, используемых в противоэрозионных посадках. Сельскохозяйственные экосистемы, 22/23:483-498.
7. Доусон, Д. Х. и Р.А. Рид. 1964. Руководство по выбору лучших деревьев для противоэрозионных посадок в прериях. МСХ США, Служба леса, экспериментальная станция Лейк Стэйт Форест, Научная публикация LS-13, 22 с.
8. Джордж, Е. Дж. 1971. Эффект древесных противоэрозионных посадок и ветровых барьеров на скорость ветра и урожайность культур. МСХ США, Служба сельскохозяйственных исследований, исследовательский отчет № 121 . 23 с.
9. Хайслер, Г. М. и Д. Р. ДеВалле. 1988. Эффект структуры противоэрозионных посадок на поток ветра. Сельскохозяйственные экосистемы, 22/23: 41-69.
10. Рид, Р.А. 1968. Системы лесоводства для сельского населения: заградительные полосы. Протоколы 6-го Всемирного конгресса по лесоводству. Мадрид, Испания, 1966. Т. III, с. 3763-3768.
11. Скидмор, И.Л. 1976. Микроклимат, созданный барьерами и его эффект на рост и урожай озимой пшеницы. В Протоколах симпозиума Ветроломы на Великих равнинах. Денвер, Колорадо, апрель 1976. Публикация № 78 Сельскохозяйственного совета Великих равнин., с. 57-63.
12. Служба охраны почв. 1991. Охранительные сорта деревьев и кустарников в США. Сельскохозяйственный справочник № 692, ГСП США, 50 с.
13. Итоговый отчет: инвентаризация национальных ресурсов 1987 г. Служба охраны почв МСХ США, Статистическая лаборатория штата Айова, 1988, Статистический бюллетень 790, 37 с.





Conservation Tillage and Soil Management

Почвозащитная обработка и управление плодородием почвы

Conservation Tillage and Soil Management

David L. Schertz, William C. Moldenhauer, George W. Langdale, Rattan Lal, T.D. McCain, and Jerry V. Mannering

Abstract

This paper reviews the history and progress of conservation tillage in the United States and the effect of surface residue on soil condition. The effects of conservation tillage on soil properties are complex. Surface water contamination by runoff may be reduced under conservation tillage, but macropore development under no-till may facilitate soil-water movement into ground water.

Introduction

In the 1930's, research and development began on stubble-mulch tillage in wheat (*Triticum aestivum*) in the Great Plains of the United States in order to find ways to reduce or eliminate the erosion of soil by wind and water. Partly because the technology to apply conservation tillage was lacking, U.S. farmers were reluctant to change until the late 1960's and early 1970's. Land users first began chisel-plowing soybean (*Glycine max*) stubble rather than using the moldboard plow. After a few years of experience, they found that these plows could also be used for tilling corn (*Zea mays*) stalks, leaving significant residue on the surface. No-tillage and ridge-tillage thereafter began to gain popularity as farmers learned to manage previous crop residue by leaving it undisturbed on the soil surface (7, 16, 17, 18, 20).¹ State and Federal research scientists, as well as those from agricultural chemical and equipment companies, have worked with the Natural Resources Conservation Service (NRCS), Cooperative State Research, Education, and Extension Service (CREES)—including the land-grant and university systems—soil and water conservation districts, and farm publications to help land users establish crop residue management systems. Once land users understood the benefits, they began to refine these systems themselves (4, 5).

¹ Underlined numbers in parentheses cite sources listed in the References section at the end of this article.

Discussion

Conservation Tillage—Defined

Conservation tillage relates to tilling less and leaving some portion of the previous crop's residue on the soil surface. NRCS first referred to the concept as minimum tillage. Before 1977, many considered minimum tillage primarily a practice that reduced tillage trips over the field. If this meaning were still used today, minimum tillage would be used on essentially 100 percent of the planted acres. In 1977, however, NRCS changed the term "minimum tillage" to "conservation tillage" and defined it as a form of noninversion tillage that retains protective amounts of residue mulch on the surface throughout the year (20). This definition began to place special emphasis on keeping previous crop residues on the surface to reduce soil erosion.

In 1983, the Conservation Technology Information Center (CTIC) in West Lafayette, IN, defined conservation tillage as "any tillage and planting system in which at least 30 percent of the soil surface is covered by plant residue after planting to reduce soil erosion by water; or, where soil erosion by wind is the primary concern, at least 1,000 pounds per acre of flat, small-grain residue equivalent are on the surface during the critical erosion period" (5). NRCS adopted this definition in 1984. The term "conservation tillage" is an "umbrella" term under which CTIC describes three basic conservation tillage types. They include no-till, ridge-till, and mulch-till and are defined as follows:

No-till—The soil is left undisturbed from harvest to planting except for nutrient injection. Planting or drilling is accomplished in a narrow seedbed or slot created by coulters, row cleaners, disc openers, in-row chisels, or Rototillers (photo 4-1).

Ridge-till—The soil is left undisturbed from harvest to planting except for nutrient injection. Planting is completed in a seedbed prepared on ridges with sweeps, disc openers, coulters, or row cleaners. Residue is left on the surface between the ridges (photo 4-2).

Mulch-till—The soil is disturbed prior to planting. Tillage tools such as chisels, field cultivators, discs, sweeps, or blades are used.



Почвозащитная обработка и управление плодородием почвы

Дэвид Л.Шерц, Уильям С.Мольденхауер, Джордж В.Лангдале, Раттан Лал, Т.Д.Мак Кейн, Джерр В.Маннеринг

Резюме

В данной статье рассматривается история и успехи в развитии почвозащитной обработки в США, а также влияние пожнивных растительных остатков на почвенные условия. Почвозащитная обработка оказывает разностороннее влияние на почвенные условия. Она способствует уменьшению загрязнения вод поверхностного стока, но в то же время приводит к развитию в почве макропористости. Это может вызвать увеличение просачивания почвенной влаги и повышение питания грунтовых вод.

Введение

В 30-е годы были начаты исследования по обработке почвы с использованием мульчи из стерни пшеницы (*Triticum aestivum*) в районе Великих равнин США с целью найти пути уменьшения или прекращения водной и ветровой эрозии почв. Отчасти по технологическим причинам практическое применение почвозащитной обработки задержалось, фермеры США неохотно переходили на этот метод вплоть до конца 60-х и начала 70-х годов. Вначале земледельцы предпочитали чизелевание стерни сои (*Glycine max*) отвальной вспашке. Через несколько лет они пришли к выводу, что эта обработка должна использоваться при возделывании кукурузы (*Zea mays*) на зерно, с оставлением остатков стеблей на поверхности почвы. Впоследствии начали приобретать популярность нулевая и гребневая обработки, поскольку фермеры научились управлять пожнивными остатками зерновых предшественников, оставляя их на поверхности почвы незапаханными [7, 16, 17, 18, 20]. Специалисты из штатовских и Федеральной исследовательских организаций и их коллеги из химических и машиностроительных компаний совместно с Национальной службой охраны природных ресурсов, Службой кооперативных исследований, образования и внедрения – включая университетские системы, отделы по охране почв и водных ресурсов на местах, а также печатные издания для фермеров, помогли земледельцам освоить систему управления пожнивными остатками. Когда земледельцы поняли ее преимущества, они начали совершенствовать эту систему самостоятельно [4,5].

Обсуждение

Определение почвозащитной обработки

Почвозащитная обработка как система характеризуется уменьшением числа обработок и оставлением части пожнивных остатков на поверхности почвы. Вначале Национальная служба охраны природных ресурсов использовала термин “минимальная обработка”. До 1977 г. многие рассматривали минимальную обработку как практику сокращения числа проходов орудий по полю. Если бы такое понимание сохранилось до сегодняшнего дня, то минимальная обработка должна была бы охватить, по существу, 100% возделываемых площадей. Однако в 1977 г. термин “минимальная обработка” заменили термином “почвозащитная обработка” и определили его как форму обработки почвы без оборота пласта, которая сохраняет на поверхности в течение всего года необходимое для защиты почвы количество мульчи из растительных остатков [20]. Это определение имело важное значение для практики сохранения пожнивных остатков как средства защиты почв от эрозии.

В 1983 г. Информационный центр почвосберегающих технологий в г. Вест Лафайет (штат Индиана) определил почвозащитную обработку как любую обработку и систему земледелия, в которой по меньшей мере 30% поверхности почвы после посева покрыто растительными остатками для уменьшения водной эрозии; а там, где основной проблемой является ветровая эрозия, по меньшей мере 1000 фунтов стерни мелких зерновых остается на одном акре поверхности в течение эрозионно опасного периода [5]. Национальная служба охраны природных ресурсов СОПР приняла это определение в 1984 г. Термин “почвозащитная обработка” относится к родовому понятию, под которым Информационный центр почвосберегающих технологий описывает три основных типа почвозащитной обработки. К ним относятся стерневой посев (нулевая обработка), гребневая вспашка и мульчирующая обработка (с сохранением стерни). Они определяются следующим образом:



Importance of surface cover

W.C. Lowdermilk asserted that one of the greatest contributions to U.S. agriculture would be a technology to manage crop residues on or near the soil surface (13). Surface residue management is always essential to optimize soil-water use, nutrient cycling, and the development of desirable soil characteristics (4, 14, 15).

Reduction in soil erosion by conservation tillage

Located on a Southern Piedmont Ultisol (Red-Yellow-Podzolic) with slopes ranging from 3 to 7 percent, the 2.71-ha watershed detailed in figure 1 illustrates the relative soil losses associated with conventional and conservation tillage systems. Figure 1 shows the probability distributions of annual soil losses for four tillage-cropping systems. These data are based on 11 years (1972-82) of flume-measured



Photo 4-1. No-till planted soybeans in small grain residue. (Tim McCabe photo)

Фото 4-1. Нулевая обработка. Всходы соевых бобов среди растительных остатков. (Фото Тима МакКейба)



Photo 4-2. Ridge-till planted corn in corn residue. (Gene Alexander photo)

Фото 4-2. Гребневой посев кукурузы по растительным остаткам кукурузы. (Фото Джина Александра)

runoff and a 34-year rainfall record (12). Consider a 50 percent exceedance probability on curve number 1 (fig. 1) that represents monocropped, conventionally tilled soybeans (15). The 35 mg ha⁻¹ yr⁻¹ soil loss closely approximates the average measured soil loss (12). These soil losses exceed the soil loss tolerance value more than threefold. Three double-cropped conservation tillage systems used during the study period permitted less than 0.5 mg ha⁻¹ yr⁻¹ at the same probability level (curve numbers 2,3, and 4, fig. 1). Wischmeier and Smith found similar benefits for conservation tillage in 1978 (22).

Effects of soil management

Soil compaction

The effects of conservation tillage on soil compaction depend on antecedent soil properties, texture, and predominant clay minerals; type and frequency of tillage; drainage conditions; and frequency and intensity of freezing, thawing, wetting, and drying. Soil structure, generally improved by conservation tillage, is affected by increased activity of earthworms. In rotation plots in Georgia, House and Parmelee reported that the earthworm population with no-till was 3 to 5 times greater than that in plowed plots (9). As a result of intense biotic activity (21), soil under conservation tillage develops a distinct profile with abundance of interconnected biochannels and macropores (8, 10). Consequently, such soils have high infiltration rates, low crusting, and low risks of runoff and soil erosion.

Soil organic matter

Conservation tillage leads to stratification of soil organic matter, with greater concentration of such matter in the surface than subsurface horizons. Bevins et al. observed that, in the 0-2 cm layer, organic carbon and nitrogen levels were about twice as high in the surface soil of the no-till compared with the plow-based system (1, 2, 3). Generally, this effect is more drastic in coarse-textured and well-drained soils than in heavily textured and poorly drained soils (11). The increased concentration of soil organic matter results from the return of residue on the soil surface, lower maximum soil temperature, and higher moisture content in conservation-tilled compared with conventionally tilled soils.

Soil temperature

In general, the maximum soil temperature is lower and the minimum soil temperature is slightly higher in conservation tillage than in plow-based or ridge-till systems. In Indiana, J.C. Cruz observed that soil temperature in conservation tillage was less than optimum for almost 8 weeks after planting (6). Later in the growing season, however, lower soil temperature in conservation tillage is usually beneficial to crop growth.



Нулевая обработка – почва остается ненарушенной в период от уборки до посева следующей культуры за исключением внесения удобрений. Возделывание и посев растений выполняются в узком семенном ложе или бороздке, создаваемой плугом, культиватором, диском, чизелем или почвенной фрезой (фото 4-1).

Гребневая вспашка – почва остается ненарушенной в период от уборки до посева следующей культуры за исключением внесения удобрений. Развитие растений происходит в семенном ложе, подготовленном в гребне при помощи широкозахватной техники, дисков, плугов или культиваторов. Растительные остатки остаются на поверхности между гребнями (фото 4-2).

Мульчирующая обработка – почва нарушается до посева. Используются такие орудия обработки, как чизели, лапчатые и дисковые культиваторы,

Значение почвенного покрова

В. С. Лоудермилк утверждал, что одним из величайших вкладов в сельское хозяйство США будет технология управления пожнивными остатками в почве или на ее поверхности [13]. Управление пожнивными остатками всегда существенно для оптимизации использования почвенной влаги, круговорота элементов питания растений, достижения других желательных характеристик почвы [4,14,15].

Снижение почвенной эрозии при почвозащитной обработке

Относительные потери почвы от эрозии при обычной и почвозащитной системах земледелия показаны на рис.1. Он относится к участку площадью 2,71 га в районе распространения ультисолей (красно-желтые подзолистые почвы) на приводораздельном склоне с уклоном от 3% до 7%. На рисунке показано вероятное распределение ежегодных потерь почвы для четырех систем обработки посевов. Эти данные базируются на 11-летних (1972-1982) прямых измерениях поверхностного стока и 34-летнем учете атмосферных осадков [12]. Рассмотрим 50% значение вероятности на кривой 1 (рис.1), которое относится к монокультуре сои с традиционной вспашкой [15]. Величина 35 т/га в год довольно близко оценивает среднюю измеренную величину потерь почв от эрозии [12]. Это значение превосходит умеренную величину потерь более чем в три раза. Три системы почвозащитной обработки с повторными посевами в период изучения сократили смыв до менее чем 0,5 т/га при том же (50%) уровне вероятности (кривые 2, 3 и 4 на рис.1). Вишмайер и Смит установили сходную эффективность почвозащитной обработки еще в 1978 г. [22].

Эффективность управления почвенным плодородием

Уплотнение почв

Влияние почвозащитной обработки на уплотнение почв зависит от исходных свойств почвы, ее механического состава и преобладающих глинистых минералов, типа и частоты обработок, условий дренажа, частоты и интенсивности промерзания, оттаивания, увлажнения и иссушения. Почвозащитная обработка улучшает структуру почвы в целом, в том числе структуру, обусловленную повышением активности дождевых червей. Так, в почвах севооборотных полей в штате Джорджия, Хаус и Пармели установили, что численность популяции червей при нулевой обработке была в 3-5 раз выше, чем при обычной вспашке [9]. В результате повышения биологической активности при почвозащитной обработке [21] в почвенном профиле развивается система многочисленных переплетающихся биогенных каналов и макропор [8,10]. Следствием этого является повышение скорости инфильтрации, ослабление коркообразования и в итоге – снижение риска образования поверхностного стока и водной эрозии.

Органическое вещество почвы

Почвозащитная обработка ведет к дифференциации почвенного профиля по содержанию органического вещества с более значительной его концентрацией в поверхностном горизонте в сравнении с подповерхностными. Дж. С. Круз с соавторами отметил, что содержание органических углерода и азота в слое 0 - 2 м при нулевой обработке повышается примерно в два раза в сравнении со вспашкой [1,2,3]. В целом это влияние проявляется больше в легких, хорошо дренированных почвах, нежели в тяжелых почвах со слабым дренажем [11]. Увеличение содержания органического вещества в почве при почвозащитной обработке обусловлено возвратом растительных остатков на поверхность почвы, снижением максимума температуры, повышением содержания влаги в сравнении с обычной вспашкой.

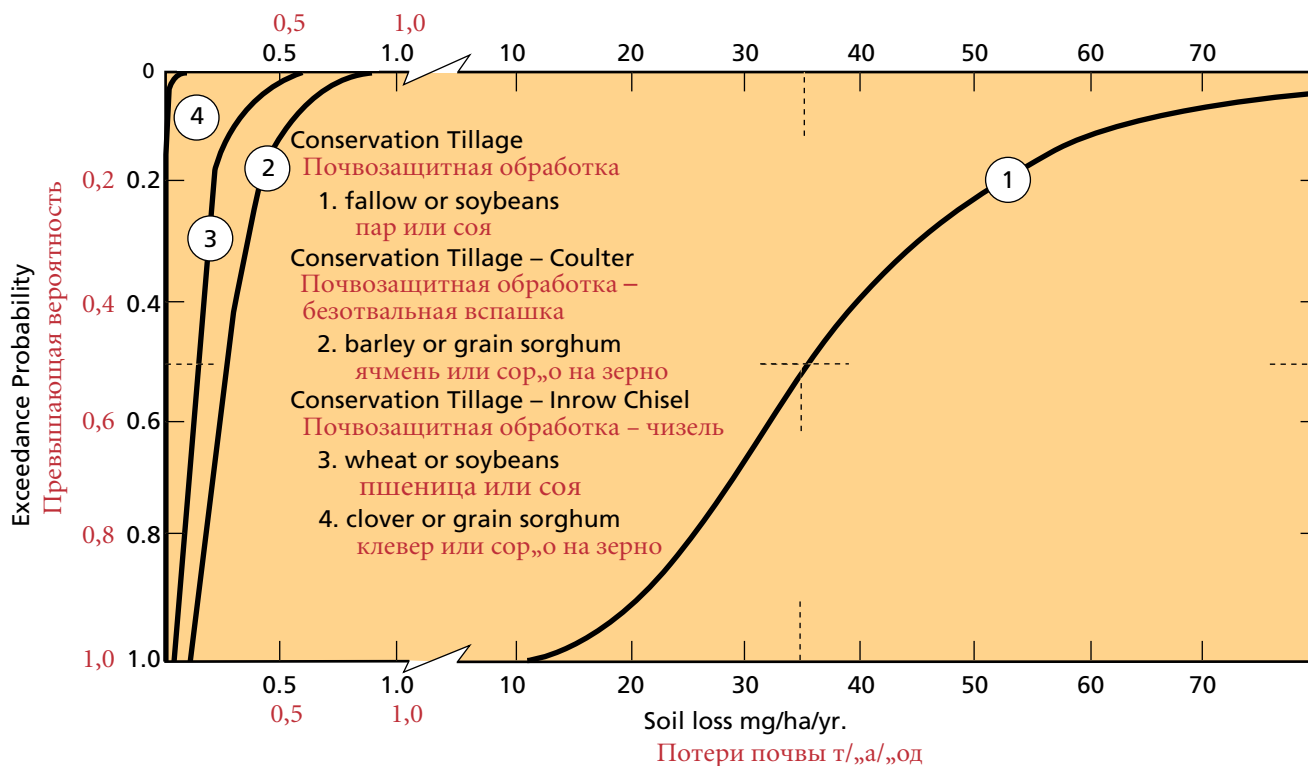
Температура почвенная

При почвозащитной обработке максимальная температура почвы в среднем ниже, а минимальная – немного выше, чем при обычной или гребневой системах обработки. В штате Индиана Дж. С. Круз наблюдал, что при почвозащитной обработке температура почвы была ниже оптимума в течение почти восьми недель после посева [6]. В последующем, однако, при почвозащитной обработке почвенная температура обычно более благоприятна для вегетации культур.



Figure 1. Calculated probabilities of soil loss for conventional and conservation tillage

Рис. 1 Вычисленные вероятности потерь почвы при традиционной и почвозащитной обработке



Soil moisture

All other factors remaining the same, a conservation-tilled soil surface is moister than that under a plow-based system.

Conservation tillage provides greater soil moisture in the root zone because of increased infiltration and lower surface runoff and evaporation losses; therefore, soil-water reserves available to plants in a conservation-tilled soil are likely to be greater than those in a plowed soil.

Fertilizer placement

Changes in physical, chemical, and nutritional conditions of the soil caused by conservation tillage usually alter the soil's response to fertilizer and chemical amendments. Crop residue influences the use of fertilizer because of its effects on soil temperature, moisture regimes, and the amount and rate of seepage flow and surface runoff. Crop residues with a high carbon to nitrogen ratio also temporarily immobilize a portion of the plant-available nutrients. Fertilizers are often broadcast on the surface with conservation tillage, but they are generally incorporated in the plow layer with conventional tillage.

Pesticide use and water quality

Pesticides are used on the vast majority of crops grown in the United States, regardless of the tillage system used. Some farmers report greater pesticide usage under conservation tillage than under conventional tillage; however, some report using less herbicides with conservation tillage, even with no-till. With mulch-till, the type of pesticide, amount, and incorporation vary little from those used under conventional tillage. Herbicides are often placed in narrow bands along the planted row with ridge-till; and, coupled with cultivation for weed control, less herbicide usage often results.

Soil-water movement via macropores that develop under no-till is a complex phenomenon. Macropore development under no-till may increase the potential for soil-water movement into ground water, but related research is difficult to design and results are mixed. It is important to realize that no-till is not always used each year in the crop rotation and that tillage destroys macropore development. USDA's ARS Southern



Почвенная влага

При прочих равных условиях поверхность почвы при почвозащитной обработке влажнее, чем при обычной вспашке. Почвозащитная обработка запасает влагу в корнеобитаемом слое, вследствие увеличения инфильтрации и уменьшения поверхностного стока и физического испарения. Поэтому и запасы влаги в почве при почвозащитной обработке, вероятно, выше, чем при обычной вспашке.

Внесение удобрений

Изменение физических и химических свойств почвы, а также условий питания растений, вызванные почвозащитной обработкой, обычно изменяют отзывчивость почвы на удобрения и химические добавки. Растительные остатки оказывают влияние на использование удобрений благодаря их воздействию на режимы температуры, влажности, инфильтрации и поверхностного стока. При этом, однако, растительные остатки с высоким показателем C/N временно иммобилизуют некоторое количество доступных для растений питательных веществ. При почвозащитной обработке удобрения распределены по поверхности почвы, однако их питательные вещества в общем случае достигают глубины, обычной для пахотного слоя.

Использование пестицидов и качество воды

Для подавляющего большинства культур, возделываемых в США, используются пестициды, независимо от применяемой системы обработки. Некоторые фермеры отмечают повышенное применение пестицидов при почвозащитной обработке в сравнении с традиционной, однако имеются также данные и о меньшем использовании гербицидов, при почвозащитной и даже нулевой обработке. При мульчирующей обработке тип пестицида, количество и применение мало отличаются от таковых в сравнении с традиционной обработкой. При гребневой вспашке пестициды часто вносятся узкими полосками вдоль рядков растений; в сочетании с культивацией для контроля сорняков это приводит к уменьшению расхода гербицидов.

Передвижение почвенной влаги в макропорах, которые возникают при нулевой обработке – сложное явление. Развитие макропор при нулевой обработке может увеличить потенциал миграции почвенного раствора в грунтовую воду, но экспериментальное подтверждение такого явления затруднено, ввиду недостоверности результатов прямых измерений. Важно осознавать, что нулевая обработка используется не ежегодно и что периодически проводимая вспашка, предусмотренная севооборотом, нарушает систему макропор. Южный Пьемонт центр по охране почвенных ресурсов Службы сельскохозяйственных исследований МСХ США (г. Уоткинсвилл, штат Джорджия) и другие

станции Службы сельскохозяйственных университетов и университетов проводят исследования по оценке возможности ускорения миграции загрязнителей в грунтовые воды.

Поскольку почвозащитная обработка способствует уменьшению стока и заметному сокращению почвенной эрозии, она может быть целесообразной для уменьшения загрязнения, в частности, пестицидами, вод поверхностного стока. Кроме того, продолжительность жизни пестицидов может быть сокращена благодаря наличию мульчи и концентрации органического вещества в поверхностном горизонте почвы. К тому же, улучшенные гербициды для применения по всходам помогают фермерам сосредоточить борьбу с сорняками на засоренных участках. Говоря об использовании пестицидов, вероятно, даже более важно отметить последние достижения в технологиях, которые позволили значительно сократить количество активных ингредиентов гербицидов на единицу площади.

Внедрение почвозащитной обработки

Распространение почвозащитной обработки в США носит сравнительно стабильный характер. По оценкам, площадь (3,7 млн. акров), обрабатываемая с применением почвозащитных технологий в 1963 г., была удвоена в последующие три года и далее удваивалась к 1970, 1975 и 1981 гг. По оценке Информационного центра почвосберегающих технологий [5], в 1996 г. земледельцы применяли почвозащитную обработку на площади почти 104 млн. акров, что составляло около 36% возделываемой площади в США. При этом, в период между 1989 г. и 1996 г. расширение площадей почвозащитной обработки происходило, главным образом (на 90%) за счет распространения технологий нулевой обработки, площади которой за этот период увеличились с 14,1 млн. акров до 42,9 млн. акров.

Сравнивая данные по площадям почвозащитной обработки в десяти регионах США, важно отметить, что на долю Кукурузного пояса и Северных равнин приходится более половины всей площади почвозащитной обработки и более половины всех посевных площадей в стране. В процентном выражении, однако, многие регионы имеют более высокую долю площади почвозащитной обработки, чем упомянутые два региона, главным образом, за счет более широкого распространения нулевой и мульчирующей обработки (рис.2).

Хотя почвозащитная обработка используется, главным образом, на почвах, не подверженных эрозии в сильной степени, на сильно эродируемые почвы приходится заметная доля прироста площадей почвозащитной



Piedmont Conservation Research Center, Watkinsville, GA, and other ARS and university locations are conducting research to assess the potential for increased movement of contaminants into ground water.

Because of reduced runoff and significant reduction in soil erosion, conservation tillage can be beneficial in reducing surface water contaminants, including pesticides. In addition, the lifetime of pesticides may decrease because of the presence of crop residue mulch and the concentration of soil organic matter in the surface horizon. Also, improved postemergent herbicides help farmers target weed control to infected areas. Perhaps even more relevant to the concern over pesticide usage are recent technological advances that have greatly reduced the amount of active herbicidal ingredients needed per acre.

Conservation tillage adoption

The adoption of conservation tillage has been fairly steady in the United States. The estimated 3.7 million acres in 1963 doubled in the next 3 years and doubled again by 1970, 1974, and 1981. In 1996, the CTIC survey (5) estimated that land users were applying conservation tillage on almost 104 million acres, amounting to nearly 36 percent of planted acres. Between 1989 and 1996, no-till accounted for most of the increase—nearly 90 percent—in conservation tillage, increasing from 14.1 to 42.9 million acres. (photo 4-3).

When comparing the actual number of acres planted with conservation tillage in the 10 regions of the United States, it is important to note that conservation tillage acreage and total planted acres in the Cornbelt and Northern Plains equal more than half of the Nation's total. When comparing the percentage of acres planted with conservation tillage, however,

it is clear that many regions surpass these two regions, due largely to greater amounts of no-till and mulch-till (fig. 2).

Although conservation tillage is used on non-highly erodible land, its use on highly erodible land has accounted for a significant portion of the increase discussed above. The 1985 Farm Bill required land users who planted crops on highly erodible land to develop and implement a conservation plan by 1995 to maintain their eligibility for certain USDA farm program benefits. Conservation tillage was the most popular conservation practice implemented by farmers to help them meet their conservation plan goals and to maintain eligibility for USDA program benefits.

The increase in conservation tillage is expected to continue in the United States due to the increasing importance of the need to improve soil quality and to sustain American agriculture. It is expected that conservation tillage will reach 50 percent of the total planted acres in the United States by the year 2002.

Summary

Research and development of conservation tillage began in the 1930's, but rapid progress in adoption did not get underway until the 1960's. The definition of conservation tillage has changed over time and now includes such tillage types as no-till/strip-till, ridge-till, and mulch-till. Maintaining crop residues on the surface reduced soil erosion by as much as 99 percent in an experimental watershed study. This article discusses the conservation tillage effects on soil compaction, soil organic matter, soil temperature, soil moisture, fertilizer placement, and pesticide use. Adoption of conservation tillage has progressed from about 4 million acres in 1963 to nearly 104 million acres in 1996.



Photo 4-3. Some form of conservation tillage was used on more than 104 million acres of U.S. cropland in 1996. (Tim McCabe photo)

Фото 4-3. Посев кукурузы по растительным остаткам кукурузы при мульчирующей системе обработки почвы. (Фото Тима МакКейба)



обработки, о котором говорилось выше. Согласно Закону о фермах 1985 г., от землепользователей, засевающих сильно эродированные участки почвы, требовалось разработать и реализовать к 1995 г. план сохранения почвенных ресурсов, для того, чтобы получить определенные привилегии, предоставляемые участникам фермерских программ МСХ США.

Ожидается, что площади почвозащитной обработки в США будут продолжать расширяться, благодаря растущей необходимости улучшения качества почв и обеспечения устойчивости американского сельского хозяйства. По оценкам, площадь почвозащитной обработки в США достигнет к 2002 г. 50% общей посевной площади в стране.

Заключение

Разработка и внедрение почвозащитной обработки начались в 30-е годы, но быстрый успех в практическом применении и широкое распространение были достигнуты лишь в 60-е годы. Определение почвозащитной обработки за это время изменилось и ныне включает такие типы обработки, как нулевая/полосная, гребневая и мульчирующая. Сохраненные на поверхности почвы растительные остатки уменьшают водную эрозию до 99%, как это было экспериментально показано в полевом опыте. В статье обсуждается влияние почвозащитной обработки на уплотнение, органическое вещество, температуру, влажность почвы, внесение удобрений и использование пестицидов. Применение почвозащитной обработки возросло с 4 млн. акров в 1963 г. до 104 млн. акров в 1996 г.

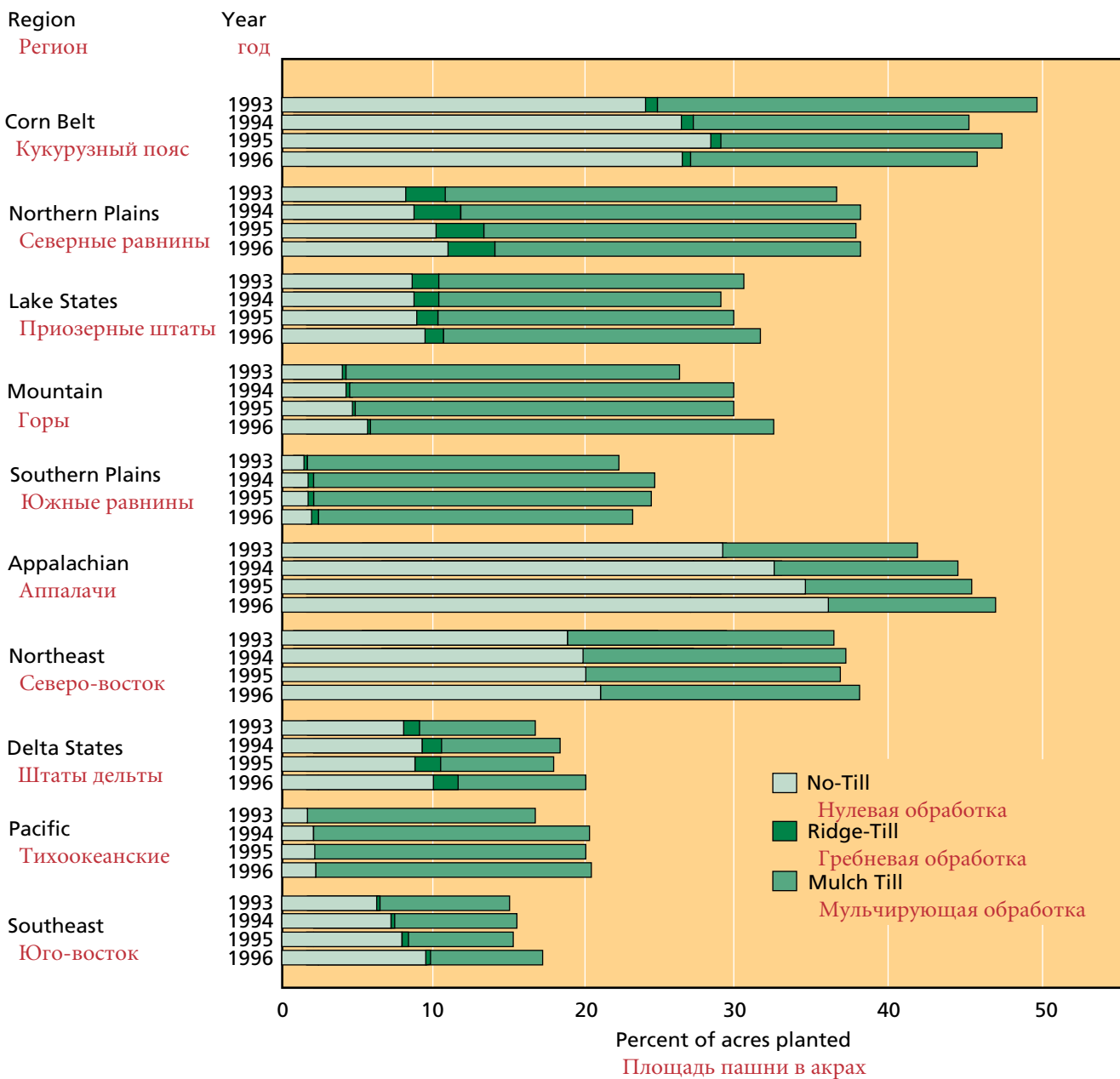
Литература

1. Блевинс, Р. Л., М. С. Смит, Г.В. Томас и В.В. Фрай. 1983а. Влияние почвозащитной обработки на свойства почвы. Журнал защиты почв и вод, Общество защиты почв и вод, Анкени, Айова. 38:301-305.
2. Блевинс, Р. Л., М. С. Смит, Г.В. Томас и В.В. Фрай. 1983б. Изменения в свойствах почвы после 10 лет нулевой обработки и традиционной обработки при выращивании кукурузы. Исследования почвы и методов ее обработки. 3:135-146.
3. Блевинс, Р.Л., Г.В. Томас и П.Л. Корнелиус. 1977. Влияние нулевой обработки и азотных удобрений на некоторые свойства почвы после 5 лет монокультуры кукурузы. Агрономический журнал, 69:383-386.
4. Брюс, Р.Р., Г.В. Лэнгдейл и Л.Т. Вест. 1990. Модификация характеристик почв деградированного почвенного покрова путем изменения биомассы и способов обработки почвы влияющих на водный режим почвы. Протоколы конгресса по почвоведению. 14:VI:4-9.
5. Информационный центр защитных технологий. 1966. Национальный обзор по менеджменту растительных остатков. Западный Лафаетт, Индиана.
6. Круз, Дж.С. 1982. Эффект севооборотов и систем обработки почвы на некоторые физические свойства почвы, распределение корней и производство с/х культур. Докторская диссертация, Университет Пурдю, Западный Лафаетт, Индиана.
7. Д'Итри, Франк М., редакторы. 1985. Системный подход к почвозащитной обработке. Люис Паблшерс, Челси, Мичиган.
8. Эдварде, В.М. и Л.Д. Нортона. 1986. Эффект макропор на инфильтрацию в необработанную почву. XIII Конгресс международного общества почвоведения. 5:47-48.
9. Хаус, Г.Дж. и Р.В. Пармели. 1985. Сравнение почвенных артроподов и земляных червей из агро-экосистем с традиционной и нулевой обработкой почвы. Исследования почвы и методов ее Обработки. 5:352-360.
10. Кемпер, В.Д., Т.Дж. Траут, А. Сегерен, и М. Баллок. 1987. Черви и вода. Журнал Защиты Почв и Вод, Общество защиты почв и вод, Анкени, Айова. 42:401-404.
11. Лай, Р., Т.Дж. Логан, и Н. Р. Фаусей. 1990. Долгосрочные эффекты почвенной обработки на Моллик Окравульф в северо-западном Огайо. III. Профиль питательных элементов почвы. Исследования почвы и методов ее обработки. 15:371-382.
12. Ленгдейл, Г.В., А. П. Баметт, Р.А. Леонард и В.Т. Флеминг. 1979. Уменьшение почвенной эрозии путем использования нулевой обработки в Южном Пьемонте. Протоколы Американского общества сельскохозяйственных инженеров. 22:82-86 и 92.
13. Лоудермилк, В.С. 1953. Покорение земли в течении семи тысячи лет. Информационный бюллетень № 99 МСХ США.



Figure 2. Percent of acres planted with conservation tillage by region and tillage practice (1993 – 1996)

Рис. 2 Площади пашни в акрах, занятые почвозащитной обработкой по регионам и видам обработки (1993-1996)



Source: Conservation Technology Information Center

Источник: Информационный центр почвозащитной технологии

United States Department of Agriculture, Economic Research Service

МСХ США, Служба экономических исследований



14. Миллс, В.С., А.В. Томас и Г.В. Лэндэйл. 1986. Оценка вероятностей потери почвы для севооборотов Южного Пьемонта. Протоколы Американского общества сельскохозяйственных инженеров. 29:948-955.
15. Миллс, В.С., А.В. Томас и Г.В. Лэндэйл. 1988. Вероятности задержания дождевой воды, вычисленные для различных севооборотов. Менеджмент воды в сельском хозяйстве. 15:61-71.
16. Молденхауер, В.С., Г.В. Лэндэйл, Вилбур Фрай, Д. Е. МакКул, Р. И. Папендик, Д. Е. Смика и В. Фрайреар. 1983. Почвозащитная обработка для борьбы с эрозией. Журнал защиты почв и вод, Общество защиты почв и вод, Анкени, Айова. 38:144-151.
17. Молденхауер, В.С., В.Г. Лавли, Н. П. Свансон и Х.Д. Курренс. 1971. Эффект уклона рядов и системы почвообработки на потери почвы и воды. Журнал защиты почв и вод, Общество защиты почв и вод, Анкени, Айова. 26:193-195.
18. Филлипс, Р.Е., Г.В. Томас и Р.Л. Блевинс, редакторы. 1978. Исследования нулевой обработки: научные отчеты и обзоры. Университет Кентуки, Сельскохозяйственный колледж и Сельскохозяйственная экспериментальная станция, Лексингтон, Кентуки.
19. Шертц, Д. Л. 1988. Почвозащитная обработка: анализ перспектив в США. Журнал защиты почв и вод, Общество защиты почв и вод, Анкени, Айова. 43:256-258.
20. Общество защиты почв и вод. 1973. Почвозащитная обработка. В протоколах Национальной конференции по обработке почвы, Де Мойн, Айова, март 28-30, 1973. Анкени, Айова.
21. Стиннер, В.Р., Г.Д. Хойт и Р.Л. Тодд. 1983. Изменения химических свойств почвы после 12- летнего пара: 2-х летнее сравнение агро-экосистем с традиционной и нулевой обработкой. Исследования почвы и методов ее обработки. Амстердам: Эльзевьер. 3:277-290.
22. Вишмайер, В. Х. и Д. Д. Смит. 1978. Предсказание потерь от дождевой эрозии. Сельскохозяйственный справочник МСХ США. № 537.



References

1. Blevins, R.L., M.S. Smith, G.W. Thomas, and W.W. Frye. 1983a. Influence of conservation tillage on soil properties. *J. Soil & Water Conserv.*, Soil & Water Conserv. Society, Ankeny, IA. 38:301-305.
2. Blevins, R.L., M.S. Smith, G.W. Thomas, and W.W. Frye. 1983b. Changes in soil properties after 10 years of no-tillage and conventionally tilled corn. *Soil & Tillage Res.* 3:135-146.
3. Blevins, R.L., G.W. Thomas, and P.L. Cornelius. 1977. Influence on no-tillage and nitrogen fertilization on certain soil properties after 5 years of continuous corn. *Agron. J.*, 69:383-386.
4. Bruce, R.R., G.W. Langdale, and L.T. West. 1990. Modification of soil characteristics of degraded soil surfaces by biomass and tillage affecting soil water regimes. *Int. Congr. Soil Sci. TRANS.* 14:VI:4-9.
5. Conservation Technology Information Center. 1966. National crop residue management survey. West Lafayette, IN.
6. Cruz, J.C. 1982. Effect of crop rotation and tillage systems on some soil physical properties, root distribution, and crop production. Ph.D. Diss., Purdue University, West Lafayette, IN.
7. D'Itri, Frank M., ed. 1985. A systems approach to conservation tillage. Lewis Publishers, Inc., Chelsea, MI.
8. Edwards, W.M. and L.D. Norton. 1986. Effect of macropores on infiltration into non-tilled soil. *XIII Cong. Int. Soc. Soil Sci.* 5:47-48.
9. House, G.J. and R.W. Parmelee. 1985. Comparison of soil arthropods and earthworms from conventional and no-tillage agro-ecosystems. *Soil & Tillage Res.* 5:352-360.
10. Kemper, W.D., T.J. Trout, A. Segeren, and M. Bullock. 1987. Worms and water. *J. Soil & Water Conserv.*, Soil & Water Conserv. Society, Ankeny, IA. 42:401-404.
11. Lal, R., T.J. Logan, and N.R. Fausey. 1990. Long-term tillage effects on a Mollic Ochraqualf in Northwest Ohio. III. Soil Nutrient Profile. *Soil & Tillage Res.* 15:371-382.
12. Langdale, G.W., A.P. Barnett, R.A. Leonard, and W.G. Fleming. 1979. Reduction of soil erosion by the no-till system in the Southern Piedmont. *TRANS of the ASAE.* 22:82-86 and 92.
13. Lowdermilk, W.C. 1953. Conquest of the land through seven thousand years. U.S. Dept. Agric. Inf. Bull. 99.
14. Mills, W.C., A.W. Thomas, and G.W. Langdale. 1986. Estimating soil loss probabilities for Southern Piedmont cropping-tillage systems. *TRANS of the ASAE.* 29:948-955.
15. Mills, W.C., A.W. Thomas, and G.W. Langdale. 1988. Rainfall retention probabilities computed for different cropping-tillage systems. *Agric. Water Manage.* 15:61-71.
16. Moldenhauer, W.C., G.W. Langdale, Wilbur Frye, D.E. McCool, R.I. Papendick, D.E. Smika, and W. Fryrear. 1983. Conservation tillage for erosion control. *J. Soil & Water Conserv. Society, Ankeny, IA.* 38:144-151.
17. Moldenhauer, W.C., W.G. Lovely, N.P. Swanson, and H.D. Currence. 1971. Effect of row grades and tillage systems on soil and water losses. *J. Soil & Water Conserv. Society, Ankeny, IA.* 26:193-195.
18. Phillips, R.E., G.W. Thomas, and R.L. Blevins, eds. 1978. No-tillage research: research reports and reviews. University of Kentucky, College of Agriculture and Agricultural Experiment Station, Lexington, KY.
19. Schertz, D.L. 1988. Conservation tillage: an analysis of acreage projections in the United States. *J. Soil & Water Conserv. Society, Ankeny, IA.* 43:256-258.
20. Soil and Water Conservation Society. 1973. Conservation tillage. In *Proceedings of the National Conservation Tillage Conference*, Des Moines, IA. March 28-30, 1973. Ankeny, IA.
21. Stinner, B.R., G.D. Hoyt, and R.L. Todd. 1983. Changes in soil chemical properties following a 12-year fallow: a 2-year comparison of conventional tillage and no-tillage agroecosystems. *Soil & Tillage Res. Amsterdam:Elsevier.* 3:277-290.
22. Wischmeier, W.H. and D.D. Smith. 1978. Predicting rainfall erosion losses. *Agric. Hndbk. No. 537.* U.S. Dept. of Agric.



Systems Approach to Soil and Water Conservation and Water Quality

**Системный подход к решению
проблемы охраны почвенных и
водных ресурсов и качества воды**

Systems Approach to Soil and Water Conservation and Water Quality

John M. Safley, Jr.; Thomas A. Dumper; Donald A. Holt; Robert I. Papendick; Francis Thicke; and Dale A. Bucks

Abstract

This article discusses a systems approach to soil and water conservation and water quality. A systems approach considers natural, social, and economic resources and their interactions. It ranges from horizontal interaction among adjacent systems to vertical integration and from microscopic communities to those with global economic and environmental scope. Research to support this concept is based on systems analysis as well as on concerns for the total agricultural ecosystem. Examples of the application of these concepts include the multidisciplinary research and educational program—Solutions to Environmental and Economic Problems (STEEP), the Management Systems Evaluation Area (MSEA) research effort, and the total resource planning assistance programs used by the Natural Resources Conservation Service (NRCS) in cooperation with other agencies of the U.S. Department of Agriculture (USDA).

Introduction

Agriculture, the organized production of food, forage, and fiber, operates within the availability and constraints of natural, social, and economic resources. Successful agriculture balances a large and complicated ecosystem with social and economic resource concerns. An agricultural ecosystem (agroecosystem) is composed of many subsystems that are managed to produce agricultural products. Measures of success include the level of sustained production, profitability, and the attainment of the basic human requirements of food and shelter without impairing the resource base or adversely affecting the environment.

Throughout history, producers have improved productivity by wisely manipulating such parts of the agrosystem as cultivation, irrigation, and the management of plants and animals. In recent years some nonagricultural fields of endeavor have used systems analysis to increase their success; but agricultural disciplines, particularly the biological sciences, have not readily considered an integrated resource approach (2).¹ Total resource management through systems analysis and planning has recently helped to improve productivity in areas where there is concern for the quality and quantity of soil and water.

¹ Underlined numbers in parentheses cite sources listed in the References section at the end of this article.

Discussion

Defining the agricultural production system

An agricultural production system includes all of the physical, chemical, biological, ecological, social, political, and economic factors which are its subsystems. Extensive human skill is required to manage these resources for agricultural production. Conceptually, these resources form a continuum that connects horizontally to similar systems and is scaled vertically from the minute to the immense (2).

Even if the concept of an agricultural production system were confined to that part which could be managed by a single producer, this smaller system would still be complex and could not be managed to its full potential without using tools to perceive and analyze its components. At all management levels, the agricultural production system is characterized by the interactions of the basic resources of geologic materials, water, and air and the biological entities of these resource groups. These resources are defined by NRCS as soil, water, air, plants, and animals (2). Improved production management meets the ever-increasing human need for food and shelter in terms of product-yield which directly, or indirectly through a market system, supports the welfare of the producers and their communities. An agricultural production system is interactive. When management alters one factor of the system, the altered factor may affect other parts of the system. The effects may occur in the ecology of the natural resources of the system or in the economic and sociological linkages to the system. The ability of a producer to manage these resources depends on his or her ability to perceive the linkages.

Primary management goals for agricultural production systems must consider economic, environmental, and social effects in order to optimize long-term yield while sustaining the resource base of the production unit at levels desired by the producer and his or her community. The maintenance of a production level and of resource quality depends primarily on the management of the finite resources of soil and water. The secondary goals of management, required by society to maintain high environmental standards, generally relate to production from plants and animals. This secondary goal also relies on the quantity and quality of the soil, water, and air available to the plants and animals.



Системный подход к решению проблемы охраны почвенных и водных ресурсов и качества воды

Джон М. Сефли, Томас А. Дампер, Дональд А. Холт, Роберт И. Папендик, Фрэнсис Тике, Дейл А. Бакс

Резюме

В статье обсуждается системный подход к решению проблемы охраны почвенных и водных ресурсов, а также качества воды. Такой подход рассматривает природные, социальные и экономические ресурсы и их взаимодействия как в горизонтальном, так и в вертикальном направлениях, начиная от объектов микроуровня и кончая решением экономических и экологических задач на глобальном уровне. Исследования по развитию этой концепции основываются на системном анализе сельскохозяйственной экосистемы в целом. Примерами применения таких идей могут служить многоцелевые научно-исследовательские и учебные программы “Решение экологических и экономических проблем (РЭЭП),” “Системное управление оценкой земель” и программы содействия планированию и использованию природных ресурсов, реализуемые Службой охраны природных ресурсов в тесном контакте с другими службами (СОПР) Министерства сельского хозяйства США (МСХ США).

Введение

Сельское хозяйство, как организованное производство продуктов питания, кормов и волокна, функционирует в условиях зависимости от наличия и качества природных, социальных и экономических ресурсов. Успешное ведение сельского хозяйства основывается на соблюдении баланса между сохранением природных особенностей большой и сложной экосистемы и эффективным использованием социальных и экономических ресурсов. Сельскохозяйственная экосистема (агроэкосистема) состоит из многих подсистем, направленных на производство сельскохозяйственных продуктов. Успех хозяйствования определяется сохранением устойчиво высокого уровня продуктивности и дохода и возможности удовлетворения потребностей человека в пище и крове без ущерба для природных ресурсов и состояния окружающей среды.

Во всей истории человечества земледельцы стремились к повышению продуктивности путем разумного управления той частью агроэкосистемы, которая связана с обработкой, орошением, растениеводством и животноводством. В последние годы системный анализ

находит широкое и успешное применение при решении многих проблем, не связанных с сельскохозяйственным производством, однако сельскохозяйственные дисциплины, в частности биологические науки, еще не готовы использовать целостный подход к изучению природных ресурсов [2]. В то же время применение системного анализа и планирования способствовало повышению продуктивности сельскохозяйственных земель в тех районах, где были приняты меры по сохранению качества и запасов почв и воды.

Обсуждение результатов

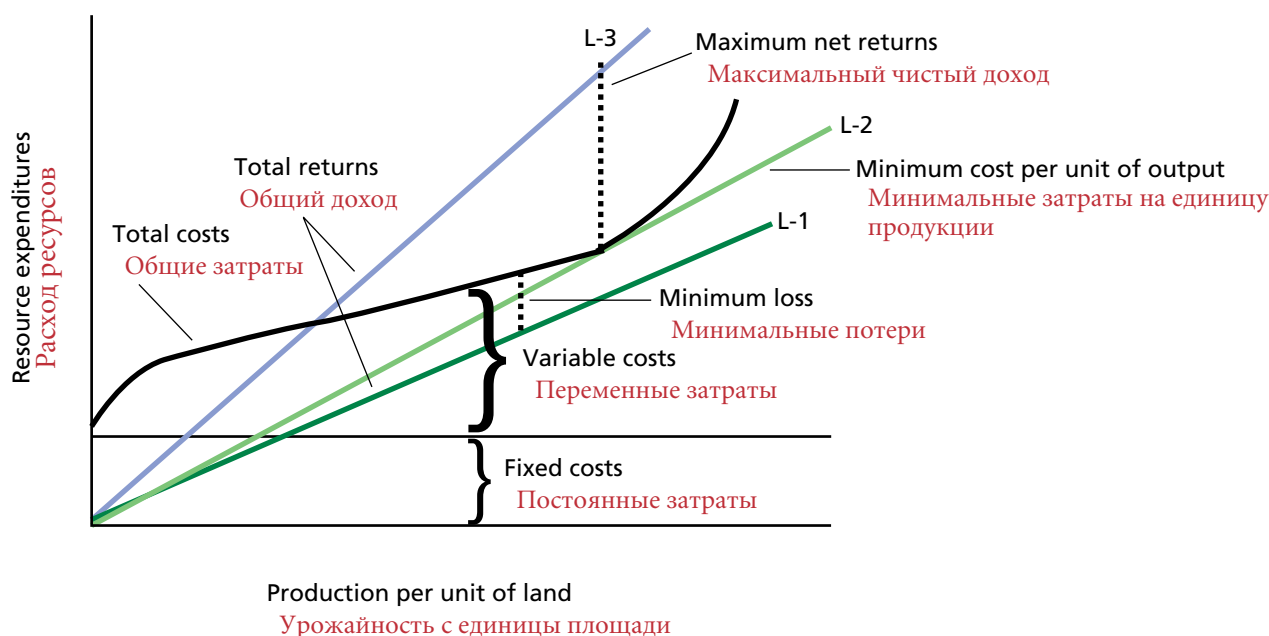
Определение системы сельскохозяйственного производства

Система сельскохозяйственного производства включает физические, химические, биологические, экологические, социальные, политические и экономические факторы, которые являются ее подсистемами. От человека требуется умение искусно управлять этими ресурсами при сельскохозяйственном производстве. Схематично можно представить ресурсы в виде континуума, объединяющего по горизонтали сходные системы, а по вертикали – с временной координатой от мгновения до неограниченно больших промежутков времени [2]. Даже наиболее простая ячейка системы сельскохозяйственного производства, связанная с деятельностью единичного производителя, оказывается слишком сложной для полного выявления ее возможностей без использования специального аппарата для описания и анализа ее компонентов. На всех уровнях управления система сельскохозяйственного производства характеризуется взаимодействиями между основными ресурсами горных пород, воды, воздуха и биологической составляющей этих ресурсных групп. Служба охраны природных ресурсов (СОПР), используя общепринятую терминологию, выделяет: почвенные, водные, воздушные ресурсы, растительность, животный мир [7]. Совершенствование управления производством призвано удовлетворять постоянно растущие потребности человека в пище и крове путем роста урожайности, которая прямо или косвенно, через рыночную систему, поддерживает благосостояние



Figure 1. Resource expenditures – economic, social, and environmental

Рис. 1 Расход ресурсов – экономических, социальных и окружающей среды



Planning and implementation

For an agricultural system to be successful, planning must respond to societal goals and constraints. The knowledge and ability of producers, coupled with their economic and natural resources, provide the potential for management efficiency.

Management follows the regulations adopted by society to protect air and water quality, wetlands, wildlife, and threatened and endangered species. The regulations are intended also to protect cultural and historical resources and the production goals or quotas that are designed to support local and national markets.

Because the relationships of agricultural production systems are complex, computer-assisted decisions have become a necessity (2). Personal perceptions and experiences cannot consider more than a small part of a total agricultural system. Computers provide an increased capacity to account for effects on linked components of the system—both horizontally and vertically. With the assistance of computers, managers can now access, sort, integrate, and analyze useful information quickly (3).

The integration of artificial intelligence (AI) into the decision support system, particularly in a knowledge-based system, brings a manager into direct analysis of the agricultural production system. It allows the manager to diagnose problems, choose among alternatives, plan and simulate the implementation of the changes in the operational systems,

and forecast the effects of the changed agricultural production system.

The model includes physical processes such as erosion, deep percolation, or runoff; tillage; chemical processes such as nutrition and decomposition; biological processes such as plant or animal growth or changes in soil characteristics and functions; and land use. Social interactions would reflect the changes in environmental demands, human needs, and public perceptions and preferences. Economic factors would include the viability of the individual enterprise and the need to respond to changes in the marketplace.

The model of the agricultural production system must be holistic and allow changes to any part of the system to be evaluated as either an input or an output. The output would allow any management alternative to be assessed relative to environmental compatibility or enhancement, social acceptability, and economic viability. Incorporating concepts described by Holt, a simple graphic model of some of the interactions of the agricultural production system is shown in figure 1 (2, 3, 4). The graph depicts resource expenditures (economic, social, and environmental) on the ordinate to agricultural productivity per unit area on the abscissa. The ordinate contains resource values in such appropriate measurement units as water quantity and quality, soil quantity and quality, land area, monetary values, or involved population factors. These values are summed by category of expenditure—exemplified as resource inputs in terms of their variable, fixed, and total costs. Costs in this analysis are not



производителей и их сообществ. Система сельскохозяйственного производства построена на взаимосвязях. Изменение одного фактора системы в процессе управления влечет за собой изменение и других частей системы, что может сказываться на качестве природных ресурсов или на экономических и социологических связях в системе. Способность производителя управлять этими ресурсами зависит от его умения постигать эти связи.

Первостепенная задача управления системами сельскохозяйственного производства – это учет его экономических, экологических и социальных последствий с целью оптимального сочетания устойчиво высоких урожаев с сохранением потенциала природных ресурсов на уровне, столь необходимом для производителя и его окружения. Сохранение высокого уровня продукции и качества ресурсов зависит, в первую очередь, от умения регулировать ограниченные почвенные и водные ресурсы. Другая не менее важная задача управления – поддерживать качество окружающей среды на уровне высоких стандартов, отвечающих потребностям общества, обычно определяемым продуктивностью растениеводства и животноводства. Решение этой задачи связано с количеством и качеством доступных земельных, водных и воздушных ресурсов.

Планирование и реализация

Для того чтобы сельскохозяйственная система была эффективной, планирование должно отвечать социальным задачам и ограничениям. Знания и умение производителя в сочетании с экономическими и природными ресурсами создают возможности для успешного управления.

Управление следует принятым обществом правилам и предписаниям по защите качества воздуха и воды, угодий, дикой природы, редких и исчезающих видов растений и животных. Эти правила должны одновременно обеспечить охрану культурных и исторических ценностей и развитие производства для поддержания местного и национального рынка.

В силу сложности характера взаимосвязей внутри системы производства для принятия решений становится необходимым применение компьютеров [2]. Восприятие и опыт человека могут учесть лишь небольшую часть общей системы сельскохозяйственного производства. Компьютеры расширяют возможность учета связей между компонентами системы как в горизонтальном, так и в вертикальном направлении. Компьютеры позволяют производителю быстро находить нужную

информацию, сортировать ее, обобщать и анализировать [3].

Внедрение искусственного интеллекта в решающую часть системы, особенно в базу знаний, позволяет прямо анализировать систему сельскохозяйственного производства. Пользователь может диагностировать проблемы, выбирать альтернативы, планировать и осуществлять изменения в действующих системах и прогнозировать последствия этих изменений.

Модель включает такие физические процессы, как эрозия, просачивание или сток; обработку земли; химические процессы, связанные с питанием и разложением; биологические процессы, например, рост растений и животных; изменение почвенных характеристик и функций; землепользование. Социальные взаимосвязи могут отражать изменения требований, предъявляемых к качеству окружающей среды, потребностей человека, приоритетов общественного сознания. Экономические факторы могут включать рентабельность отдельных предприятий, необходимость реагировать на изменения рыночного спроса.

Модель системы сельскохозяйственного производства должна быть целостной и предусматривать возможность количественно оценивать изменения любой части системы как на входе, так и на выходе. Это позволяет оценить альтернативные решения с точки зрения их безопасности для окружающей среды, социальной приемлемости и экономической рентабельности.

На основе концепции, предложенной Холт, построена простая графическая модель некоторых взаимосвязей внутри системы сельскохозяйственного производства, показанная на рис.1 [2,3,4]. График построен таким образом, что на оси ординат представлены затраты и потребление ресурсов (экономических, социальных и природных), а на оси абсцисс – сельскохозяйственная продуктивность на единицу площади. На ординате показаны оценки ресурсов в соответствующих единицах измерения – такие как количество и качество воды, объемы и качество почвы, земельные ресурсы, стоимость в денежном выражении, а также сложные факторы расселения. Все эти величины суммированы по категориям затрат – например, потребление ресурсов при меняющихся, фиксированных или абсолютных ценах. Стоимость учитывает не только рыночную цену, но и использование социальных, экономических, природных ресурсов. Модель системы сельскохозяйственного производства допускает замену одного или нескольких ресурсов, затраченных на



just monetary but include any resource use: social, economic, or natural. The model of the agricultural production system allows substitution, alone or in combination, for the resources expended in production and allows output parameters to reflect input changes.

Values on the abscissa relate to productivity of a given commodity as either a goal to be produced or an effect of production on resource expenditure (fig. 1). These values are shown by input levels (L), where L-1 would produce a condition where expenditures exceed production return (loss); L-2 at the locus of minimum expenditure per unit of productivity; and L-3 where return exceeds costs to become a profit. The multiple input levels also describe variations in expenditures per unit of production. The lowest expenditure per unit of production is identified graphically by a line drawn tangent to the total cost line that passes through the origin of the graph. The location of the maximum profit per unit of production is shown on value L-3, and the minimum loss per unit produced is shown along line L-1 (2). Comparison of unit price levels versus the level of production required to exceed expenditures can be obtained directly from the graph.

Research to support agricultural system planning and application

Before the development of modern research methods, agricultural technology was developed by observation, trial, and error. Through research, agricultural systems have been developed by focusing on system components. System inputs (fertilizer, pest control, machinery/labor, and capital), system constraints (disease, weed competition, insect predation,

pricing structures, and markets), and system output (yield) have been examined to determine their effects on the system. The complexity of the total system forces the researcher to think more comprehensively about the effects among the many components. Frustration mounts when a simple mathematical model cannot be used to represent some of the less certain and subjective or qualitative knowledge required to run the system. The newer forms of information technology—such as expert systems—may be used to fill this void so that the agricultural production system can be fully explored. Agricultural research, up to now, has been focused on tuning production systems to maximize yield. Yield, through this focus, has been perceived to be the primary, and sometimes only, meaningful measure of system success.

Research on the components and interdisciplinary relations of the total system—composed of all affected natural, social, and economic resources—is needed. This is in addition to the basic research needed to define relationships of interacting parameters and components. A new paradigm is evolving. It is a research model that centers on a field and farm scale, but extends in context to the global ecosystem. This research must produce knowledge of the total effects of agricultural production systems. In effect, ecosystem theory is being applied to agricultural production. There is an added dimension to the new research paradigm which carries it beyond ecosystem theory—the sociological dynamic within the production system. This research examines the adoption of technology and seeks to help move findings into active practice.

Systems research is making use of both traditional and innovative technologies in mixes which are appropriate for the



Photo 5-1. In the Pacific Northwest, no-till drills efficiently sow seeds into moderate to heavy crop residues that help to reduce erosion. (Tim McCabe photo)

Фото 5-1. В регионе Тихоокеанского Северо-Запада стерневые сеялки с успехом используются для посева по пожнивным остаткам с целью уменьшения эрозии. (Фото Тима МакКейба)



Photo 5-2. Agricultural Research Service (ARS) scientists near Pullman, Washington plot a hillside area where erosion has occurred to gather information for developing better erosion prediction models. (ARS photo)

Фото 5-2. Ученые Службы сельскохозяйственных исследований проводят съемку эродированного участка холмистой местности в окрестностях Пульмана, штат Вашингтон, с целью сбора информации для разработки моделей прогнозирования эрозии. (Фото Службы сельскохозяйственных исследований)



производство, и позволяет оценить параметры на выходе в зависимости от изменений на входе.

Величины на оси абсцисс отражают продуктивность данного объекта либо в виде цели, либо в виде результата производства при данных затратах ресурсов (рис.1). Эти величины показаны на уровне ввода (L), где L-1 отражает условия, при которых затраты превышают доход от реализации продукции (т.е. убыток); L-2 соответствует минимальным затратам на единицу продукции; L-3 отражает условия, при которых доход превосходит затраты (т.е. прибыль). Различным уровням ввода соответствуют разные варианты затрат на единицу продукции. Самые низкие затраты на единицу продукции представлены на графике линией, касательной к линии общих затрат, которая проходит через начало координат. Распределение максимальной прибыли на единицу продукции показано на линии L-3, а минимального убытка на единицу продукции – на линии L-1 [2]. С помощью графика можно прямо определить соотношение уровня затрат и уровня продукции, требуемое для окупаемости затрат на производство.

Исследования по планированию и применению сельскохозяйственной системы

До появления современных методов исследования сельскохозяйственная технология развивалась путем проведения наблюдений, методом проб и ошибок. Сначала внимание исследователей концентрировалось на отдельных компонентах системы. Изучались входные данные системы (удобрения, средства защиты растений, техника, трудовые ресурсы, капитал), ограничения системы (болезни растений, сорняки, насекомые-вредители, структура цен, условия рынка) и данные о выходе продукции (урожай) с целью определения их влияния на систему. Однако сложный характер всей системы вынуждает исследователя перейти к всестороннему анализу взаимодействий между компонентами внутри системы. Когда не сбылись ожидания, связанные с использованием простой математической модели для представления некоторых нечетко определенных, субъективных или качественных закономерностей, потребовалось применение системного подхода. Пока система сельскохозяйственного производства полностью не изучена, образовавшийся вакуум может быть заполнен путем применения новейших форм информационных технологий – например, системы экспертных оценок. До сих пор сельскохозяйственные исследования ставили своей целью получение максимального урожая. Именно урожайность была первостепенной, а

иногда и единственной величиной, определяющей эффективность всей системы в целом.

Теперь возникает необходимость изучения компонентов и междисциплинарных связей целостной системы, включающей все действующие природные, социальные и экономические ресурсы. Это увеличивает объем основных исследований; требуется выявить соотношения между взаимодействующими параметрами и компонентами. Развивается новая парадигма. Предлагаемая модель позволяет распространить исследования, проведенные в масштабе поля и фермы, до уровня глобальной экосистемы. Это дает возможность в полной мере оценить последствия системы сельскохозяйственного производства. В сущности, это означает применение теории экосистем к сельскохозяйственному производству. Но в новой исследовательской парадигме появляется дополнительное направление, которое расширяет ее границы за пределы теории экосистем – социологическая динамика в системах производства. В этой части исследований рассматривается выбор оптимальной технологии и методы внедрения полученных результатов в практику. Системный анализ позволяет использовать сочетание традиционных и инновационных технологий, приемлемых как для социально-экономического климата, так и для природных ресурсов. Новые системы земледелия, новые сельскохозяйственные орудия, современные методы борьбы с вредителями, новые технологии внесения удобрений, компьютерные методы решений успешно внедряются в практику сельскохозяйственного производства. Внедрение новых севооборотов, противозерозионных мероприятий, полосного земледелия, защитных лесополос, различных видов обработки почв на склонах помогает удовлетворять потребности общества.

Исследования следует разделить на две категории: изучение взаимодействий между компонентами данной системы и возможные усовершенствования системы в целом. Первая категория основывается на данных полевых исследований, вторая опирается на результаты первой для обоснования общих закономерностей функционирования системы. Для проведения исследований необходимо использовать широкий круг научных направлений – физических, биологических, социальных, психологических, химических и экономических дисциплин. Необходимость полного цикла системных исследований только начинает осознаваться обществом [4]. Развитие компьютерных моделей и таких приемов, как искусственный интеллект или



socioeconomic climate as well as for natural resources. New cultivars, new tillage implements, new pest management strategies, new fertilizer placement practices, and computer-assisted decision tools are being introduced into more traditional production scenarios. Crop rotations, erosion management practices, stripcropping, windbreaks, and cross-slope practices of all sorts are being upgraded with the new technologies to help producers meet societal demands.

Research needs fall into two categories: the basic determinations of the interactions among the components of a given system and the possible intercalations of the entire system. The former category typifies present field research; the latter characterizes the research of the agricultural production system. The former category is the basis of the latter. Research for agricultural production systems necessarily employs a wide range of physical, biological, social, behavioral, chemical, and economic disciplines. The demand for a complete package to house the entire system is just beginning to emerge on the drawing board (4). The development of computer model analyses and techniques, such as AI or expert systems, is bringing the parts together.

Putting systems approaches into practice

The growing awareness of the interactions of the natural and social environments and a concern for conserving resources critical to sustaining agriculture into the future have led to several initiatives within agriculture in the United States. The large model for systems analysis is not yet available. Work, however, is moving toward its development in several parts of the United States. The following approaches report some of the initiatives.

A Pacific Northwest approach

STEEP is a multidisciplinary research and education program of USDA's Agricultural Research Service (ARS), Cooperative State Research, Education, and Extension Service (CSREES), and NRCS; commodity commissions; agribusinesses; and local producers in the Pacific Northwest. It focuses on cropland erosion and associated resource issues in the belief that problems of erosion and water pollution can be significantly reduced by integrating improved soil and crop management, plant types, pest management practices, and socioeconomic concerns into a conservation production system (5).

STEEP has provided several advancements in conservation farming. Research on tillage and plant management, for example, has led to increased yields and improved efficiency of nitrogen fertilizer application. No-till drills now have the ability to sow small grains and legumes into moderate to heavy crop residue and into hard, dry soils while applying fertilizer and pesticides. New wheat cultivars have been developed which perform well in conservation tillage systems.

Improved erosion prediction in the Pacific Northwest has been achieved through the development of better relationships for the Universal Soil Loss Equation (USLE) factor. Improved methods of herbicide management, which complement conservation production systems, have reduced water pollution potential. A better understanding of the dynamics of technology adoption has occurred because of increased farmer-researcher interactions; this has resulted in an improvement in farmer attitudes toward erosion control through systems approaches (6).

Economic studies in STEEP have characterized benefits from soil and water conservation systems. In dryland areas, reduced tillage and no-till practices have significantly increased soil



Photo 5-3. As part of USDA's water quality program, ARS and cooperating researchers are investigating the effects of farm pesticides and nitrogen from fertilizer on groundwater. At an Ohio site government researchers and Ohio State University graduate students measure the pH, conductivity, temperature and level of water in a conventional well. (Scott Bauer photo)

Фото 5-3. В рамках программы улучшения качества воды ученые Службы сельскохозяйственных исследований Министерства сельского хозяйства США сотрудничают с учеными университетов при изучении влияния пестицидов и азотных удобрений на почвенные воды. На участке в штате Огайо специалисты Министерства и аспиранты университета штата Огайо определяют кислотность, проводимость, температуру и уровень воды в колодце. (Фото Скота Бауера)



метод экспертных оценок, позволяет соединить обе категории исследований воедино.

Применение системного подхода на практике

Осознание обществом взаимодействий между природными и социальными компонентами окружающей среды и решающей для сельского хозяйства проблемы сохранения природных ресурсов для будущего проявилось в США в создании нескольких инициативных проектов. Пока еще не создано единой модели для анализа системы сельскохозяйственного производства, но работа над ней ведется в разных районах США. Ниже излагаются подходы к созданию такой системы, использованные в некоторых инициативных проектах.

Программа развития Тихоокеанского Северо-Запада (ПРТС)

Это комплексная научно-исследовательская и учебная программа, осуществляемая Службой сельскохозяйственных исследований, Кооперативной службой сельскохозяйственных исследований, образования и внедрения и Службой охраны природных ресурсов Министерства сельского хозяйства США, объединениями товаропроизводителей и отдельными производителями на северо-западном побережье Тихого океана. Комплексные исследования сосредоточены на изучении эрозии пахотных почв и связанного с ней ущерба для природных ресурсов, поскольку сокращение эрозии и загрязнения вод достигается комплексным решением проблем охраны почв, выбора подходящих культур, борьбы с вредителями и социально-экономических проблем сохранения системы сельскохозяйственного производства [5].

В программе ПРТС выдвинут ряд предложений по почвозащитному земледелию. Например, исследования по обработке почв и культуре растениеводства привели к росту урожаев, повышению эффективности минеральных азотных удобрений. Стерневые сеялки дают возможность непосредственно сеять мелкосеменные и бобовые культуры по стерне на сухих и неплодородных почвах с применением удобрений и пестицидов. Выведены новые виды пшеницы, хорошо приспособленные к системе почвозащитной обработки. Путем улучшения соотношения факторов Универсального уравнения потерь почвы (УУПП) достигнута более высокая точность прогнозирования эрозии в регионе Тихоокеанского Северо-Запада. Улучшенные методы применения гербицидов в системе

почвозащитной обработки позволили снизить потенциальную опасность загрязнения вод. Распространение новых технологий обработки явилось результатом тесного взаимодействия местных фермеров с учеными, что обеспечило участие фермеров в противоэрозионных мероприятиях на основе системного подхода [6].

Экономические исследования в рамках программы ПРТС указывают на эффективность почвозащитных и водозащитных мероприятий. В засушливых районах уменьшение и полное отсутствие распашки почв способствовало накоплению почвенной влаги и росту урожайности сельскохозяйственных культур, обеспечило стабильный уровень продуктивности почв [5].

Успех программы ПРТС, в решающей степени, обеспечен комплексным подходом к внедрению технологии. Ключевой документ программы – ежеквартальное издание “Новейшие подходы к внедрению почвозащитного земледелия”, которое обеспечивает обмен информацией. Справочник по почвозащитной обработке, руководство по определению болезней сельскохозяйственных культур и проект оптимальной обработки земли с сохранением природных ресурсов – три наглядных примера внедрения новой технологии в рамках проекта [5].

Программа Развития Среднего Запада (ПРСС)

В 1990 году началась реализация программы ПРСС как элемента президентской инициативы по улучшению качества воды. В рамках этой программы проводятся обширные исследования по изучению влияния традиционных и усовершенствованных систем сельскохозяйственного производства на качество водных ресурсов, глубоко изучаются процессы, воздействующие на водные ресурсы и разрабатываются эффективные стратегии уменьшения загрязнения вод пестицидами и удобрениями [1].

Ряд штатов этого региона (Айова, Миннесота, Миссури, Небраска, Огайо) был выбран в качестве центров реализации программы MSEA. Изучается влияние различных систем земледелия на поверхностные и грунтовые воды с целью определения оптимального количества ресурсов, необходимых для экономичного и разумного ведения хозяйства. Для лучшего понимания суммарного эффекта сельскохозяйственных производственных систем проводятся детальные исследования на разных структурных уровнях: отдельного поля – фермерского хозяйства – речного бассейна – всего региона Среднего Запада.



moisture storage and crop yields and have maintained long-term productivity of the soil resource (5).

A critical factor in the success of STEEP has been its integrated technology transfer component. A key feature has been the *STEEP Extension Conservation Farming Update*, a quarterly publication that facilitates information exchange. A conservation tillage handbook, a rule-based system which assists growers in identifying crop diseases, and optimal farm plans for conservation compliance are three examples of technology transfer in STEEP (5).

A Midwestern approach

In 1990, the MSEA program began as an element of the President's Water Quality Initiative. The program evaluates, through extended research, the effects of conventional and modified agricultural management systems on the quality of water resources, increases the understanding of the processes affecting water resources, and develops cost-effective strategies which reduce water contamination from pesticides and fertilizer nutrients (1).

Iowa, Minnesota, Missouri, Nebraska, and Ohio were selected as centers for MSEA research. The effects of different management systems on surface and ground water are being investigated to determine optimal inputs for each system and to arrive at economically and environmentally responsible systems. In order to better understand the cumulative effects of agricultural production systems, effects will be examined in a nested fashion by field, by fields within farms, by farms within watersheds, and by watersheds extended to the entire Midwestern region.

Research involves ARS and CSREES within USDA, the U.S. Geological Survey, and the Environmental Protection Agency. Technology transfer activities will be led by NRCS and CSREES.

Research will focus:

- In Iowa, on infiltration of nitrate and pesticides into shallow wells;
- In Minnesota, on aquifers such as those of the Anoka Sand Plain and the Wisconsin River Sand Plains;
- In Missouri, on the interactions among cropping systems, claypan integrity, and aquifer water quality in the claypan soil region;
- In Nebraska, on the prevention of further contamination of aquifers in the Central Platte River Valley; and
- In Ohio, on the interactions between agricultural production systems and water quality in buried river valley aquifers.

A Federal conservation approach

Agricultural production systems which address the concurrent needs for profitability, sustainability of the resource base, and

social acceptability are the expressed goals of agriculture in the United States. NRCS provides technical assistance to land users in the private sector in techniques of resource management and resource conservation. The agency uses its *Field Office Technical Guide*, its *National Conservation Planning Manual*, and a strategic plan to accomplish its mission. NRCS is committed to a systems approach to agricultural resource management. Key elements of this approach are a systematic planning process and the concept of resources of concern. The NRCS planning approach addresses resource problems and opportunities observed in the field. The resources of concern are soil, water, air, plants, and animals (and their interactions) that are involved directly and indirectly in the implementation of a resource management system within an agricultural production system.

Natural resource planning assistance within NRCS is directed toward development and implementation of a conservation management system on the land. A conservation management system is identified by its primary use of land or water so that, when installed, it will protect—at a minimum—the resource base. Such a system is designed to meet specific soil loss criteria, maintain water quality as defined by State or Federal criteria, maintain ecological quality, and provide economic return to management (7).

Summary

A systems approach to soil and water conservation and water quality considers the welfare of soil, water, air, plants, and animals. Because the relationships of agricultural production systems are complex, computer-assisted decisions for the planning and implementation of a resource management system within an agricultural production system have become a necessity. A well-designed conservation management system



Photo 5-4. The conservation practices on this Iowa farm work in tandem to form a complex system that protects soil, water, air, plants and animals. (Tim McCabe photo)

Фото 5-4. Почвозащитные технологии на ферме в штате Айова образуют комплексную систему для защиты почвы, воды, воздуха, растений и животных. (Фото Тима МакКейба)



В исследованиях принимают участие Служба сельскохозяйственных исследований и Служба кооперативных исследований, образования и внедрения Министерства сельского хозяйства США, Геологическая служба США и Агентство по охране окружающей среды. Внедрение технологии возлагается на Службу охраны природных ресурсов и Службу кооперативных исследований, образования и внедрения.

В процессе работ будут изучаться:

- в штате Айова – инфильтрация нитратов и пестицидов в поверхностные водоемы;
- в штате Миннесота – водоносные горизонты песчаных равнин Анока и р.Висконсин;
- в штате Миссури – взаимодействие между сельскохозяйственными системами, состоянием водоупорных горизонтов и качеством воды в водоносных горизонтах;
- в штате Небраска – предотвращение дальнейшего загрязнения водоносных горизонтов в долинах рек Центрального плато;
- в штате Огайо – взаимодействие между системами сельскохозяйственного производства и качеством воды в водоносных горизонтах погребенных речных долин.

Федеральная почвосберегающая программа.

Создание систем сельскохозяйственного производства, направленных на одновременное выполнение условий рентабельности, устойчивости ресурсной базы и социальной приемлемости, является прямой задачей сельского хозяйства США. Служба охраны природных ресурсов оказывает техническую помощь землевладельцам в частном секторе по использованию ресурсосберегающих технологий. Разработаны специальные ведомственные руководства по технологиям, по планированию охраны ресурсов, а также стратегический план деятельности. Служба охраны природных ресурсов применяет системный подход к управлению сельскохозяйственными ресурсами. Ключевыми элементами этого подхода являются систематический процесс планирования и концепция проблемных ресурсов. Подход к планированию учитывает ресурсные проблемы и возможности, имеющиеся в полевых условиях. К проблемным ресурсам относятся почва, вода, воздух, растения и животные (а также их взаимодействия), которые прямо или косвенно участвуют в реализации системы управления ресурсами в системе сельскохозяйственного производства.

Планирование природных ресурсов в рамках Службы охраны природных ресурсов направлено на развитие и осуществление почвосберегающей системы ведения сельского хозяйства. Почвосберегающая система определяется основным видом использования почвы или воды и рассчитана на то, чтобы, по меньшей мере, защищать ресурсную базу.

Задача системы – соответствовать определенным критериям ущерба, наносимого почвам, поддерживать качество воды на уровне критериев, установленных данным штатом или федеральными органами, обеспечить высокое качество всей окружающей среды и при этом добиться высокой экономической эффективности хозяйства [7].

Заключение

Системный подход к сохранению почвенных и водных ресурсов и качеству воды связан с разумным использованием почвы, воды, воздуха, растений и животных. В силу сложности внутренних связей в сельскохозяйственной производственной системе, планирование и реализация системы управления ресурсами в сельскохозяйственной производственной системе практически невозможны без применения компьютеров. Хорошо спланированная система управления природосбережением удовлетворяет специфическим критериям потерь почвы, поддерживает качество воды в соответствии с требованиями, установленными правительствами штатов или федеральными органами, поддерживает экологическую чистоту и обеспечивает экономическую эффективность хозяйствования. Такие организации, как Служба охраны природных ресурсов, Служба сельскохозяйственных исследований, Служба кооперативных исследований, образования и внедрения, Геологическая служба США и Агентство по охране окружающей среды концентрируют усилия на системном подходе с тем, чтобы от исследований на уровне поля или фермы перейти к исследованиям на уровне глобальной экосистемы.



meets specific soil loss criteria, maintains water quality as defined by State or Federal criteria, maintains ecological quality, and provides economic return to management. USDA's NRCS, ARS, and CSREES; the U.S. Geological Survey; and the Environmental Protection Agency have ongoing research that centers on farm and field, although the knowledge acquired from the research extends to the global ecosystem.

References

1. Agricultural Research Service and Cooperative State Research Service. 1991. Management systems evaluation area program. A plan for water quality research. U.S. Department of Agriculture, Washington, DC.
2. Holt, Donald A. 1987. Agricultural production systems research. Proceedings of the Annual Meeting of the Agricultural Research Institute, October 7 to 9. Washington, DC.
3. Holt, Donald A. 1988a. The growing potential of expert systems in agriculture. Presented to the Biological Systems Simulation Group Workshop, March 2. University of Florida, Gainesville, FL.
4. Holt, Donald A. 1988b. Implementing AI systems in resource management. Proceedings of the Resource Technology 88 Conference. June 20 to 23. Colorado State University, Fort Collins, CO.
5. Michalson, E.L. and R.I. Papendick. 1991. STEEP, a regional model for environmental research and education. *J. Soil and Water Conservation*, July-August. Ankeny, Iowa, pp. 245-250.
6. Papendick, R.I. 1991. STEEP: A model for conservation and environmental research and education. In *Sustainable Agriculture Research and Education in the Field*. Board on Agriculture. National Research Council. National Academy Press. Washington, DC, pp. 133-144.
7. Soil Conservation Service. 1992. National Conservation Planning Manual. General Manual 450, Part 401. Washington, DC.
8. Soil Conservation Service. 1990. SCS Technical Guide Policy. General Manual 450-TCH, Part 401. Washington, DC.



Литература

1. Служба сельскохозяйственных исследований и Кооперативная служба исследований штатов. 1991. Территориальная программа оценки систем менеджмента. План исследования качества воды. МСХ США, Вашингтон, округ Колумбия.
2. Холт, Дональд А. 1987. Исследования систем сельскохозяйственного производства. Протоколы ежегодной конференции Института исследований сельского хозяйства, октябрь 7-9. Вашингтон, округ Колумбия.
3. Холт, Дональд А. 1988а. Растущий потенциал экспертных систем в сельском хозяйстве. выступление на семинаре группы по симуляции Биологических систем, март 2. Университет Флориды, Гейнсвилл, Флорида.
4. Холт, Дональд А. 1988б. Применение систем AI в менеджменте ресурсов. Протоколы Конференции технологии ресурсов 88. июнь 20-23. Университет Штата Колорадо, Форт Коллинз, Колорадо.
5. Майкелсон, И. Л. и Р. И. Папендик. 1991. ПРТС — региональная модель для экологических исследований и образования. Журнал защиты почв и Вод, июль-август. Анкени, Айова, с. 245-250.
6. Папендик, Р. И. 1991. РЭЭП: модель для консервации и экологических исследований и образования. В книге “Полевые исследования и образование устойчивого сельского хозяйства”. Совет по сельскому хозяйству. Национальный совет по исследованиям. Национал Экедеми Пресс. Вашингтон, округ Колумбия, с. 133-144.
7. Служба охраны почв. 1992. Национальное руководство по планированию консервации. Общее руководство 450, часть 401. Вашингтон, Округ Колумбия.
8. Служба охраны почв. 1990. Техническое руководство по стратегии. Общее руководство 450, часть 401. Вашингтон, округ Колумбия.





Water Conservation and Irrigation

Проблемы водопользования и орошения



Water Conservation and Irrigation

John A. Replogle, Elwin A. Ross, and Richard Van Klaveren

Abstract

This paper discusses the interrelationship of water conservation practices and farm water conveyance systems. The information includes the water control options available to a farmer and notes the structures commonly used to control a water delivery system. In addition, the discussion points out how the use of structural features helps control sediment and floating debris in a well-managed irrigation system.

Introduction

Maintaining long-term, viable irrigation for agriculture depends on the protection of soil and water resources. This involves basic and state-of-the-art irrigation water conservation practices throughout the irrigation delivery and farm water conveyance systems. It extends to the onfarm application systems, the reuse of waste water, and the control and measurement of delivered water to support operation, maintenance, and management of high-efficiency onfarm irrigation systems (12).¹ Systems may collect and reuse return flows from deep percolation and surface runoff. Return flows, however, generally have water quality degradation from sediments, pesticides, and nutrients.

¹ Underlined numbers in parentheses cite sources listed in the References section at the end of this article.

Discussion

Water conservation with respect to irrigation begins with control and measurement of flows in the delivery canals, including control of spills and seepage losses.

Water control

Delivery system operations are affected by the type and location of physical control structures, the control and strategy that can be implemented with these structures, and operating personnel. Most canal control strategies, upstream and downstream, monitor and control the water level. Flow-rate control then becomes a secondary consideration, frequently being assumed to result from depth level control. Controlling depth and flow rate at each structure along a canal may not be necessary, but both must be controlled by the system as a whole (4, 2).

For upstream control, which can be implemented manually, the control structure is adjusted to produce a desired water level upstream of the structure. A constant upstream water level provides a relatively constant discharge through the outlet once the structure is adjusted, although the precise value of that discharge may not be well defined. Upstream control can be convenient from the standpoint of the delivery system operations and labor, but it may not be responsive to farm production needs. It is usually associated with rigid delivery policies, such as rotation delivery. Depending on the length of the system, most upstream control systems require a planning and operational lead time of about 1 to 5 days to be able to match inflow to demand. Shorter lead times are possible if intermediate storage facilities are provided.

Upstream control systems can be equipped with manual gates, remote controlled gates, automatic gates, duckbill weirs, or combinations of these structures (2). Downstream control of canals, which usually implies control of the water source from any or all downstream points of demand, tries to supply the level of service from canals that is expected from pipeline systems. It is less common than upstream control because it is difficult to implement. Such control close to the point of distribution is difficult in most delivery systems and usually requires imaginative engineering. Downstream control uses the water level downstream from the structure to indicate the change in the flow rate needed from the upstream reach. This control is most responsive when the water level of interest



Проблемы водопользования и орошения

Джон А. Реплогле, Эльвин А. Росс, Ричард Ван Клаверен

Резюме

В статье обсуждаются взаимосвязи между применением водоохраных мер и работой водоподающих систем на фермах. Информация включает разные виды регулирования воды, пригодные для фермеров, и перечисляет устройства, обычно используемые для управления системами водоснабжения. Кроме того, обращается внимание на специальные приспособления для контроля за содержанием взвесей и плавающего мусора в хорошо налаженной оросительной системе.

Введение

Длительное сохранение условий устойчивости орошаемого земледелия зависит от мер по защите орошаемых почв и водных ресурсов. Это касается водоохраных мероприятий при орошении земель как в масштабе всей страны, так и при работе водоподающих систем в отдельных фермерских хозяйствах. Это распространяется и на вспомогательные системы, связанные с повторным использованием сточных вод, с регулированием и распределением вод, поступающих дополнительно для повышения эффективности работы фермерских оросительных систем [12]. Оросительные системы могут обеспечивать сбор и повторное использование грунтовых и сбросных вод. Однако в этом случае качество оросительной воды сильно снижается из-за накопления в ней твердых осадков, пестицидов и питательных веществ.

Обсуждение

Охрана вод при орошении начинается с разумного регулирования подачи воды в оросительные каналы, включая контроль за потерями воды на фильтрацию и сбросы в концевых частях оросительных систем.

Регулирование водного режима

Работа системы водообеспечения и подачи воды для орошения зависит от типа и размещения регулирующих механизмов, от их работоспособности, полноты осуществляемых операций и от обслуживающего персонала. Главные задачи контроля в канале, в верхнем и нижнем бьефах, связаны с непрерывным слежением за уровнем воды и с его регулированием. Во вторую очередь принимается во внимание регулирование расхода воды, который часто вычисляется по замерам глубины. Замеры глубины и расхода на каждом участке канала не обязательны, но их следует определять для всей системы в целом. [4,2].

При регулировании потока воды в верхнем бьефе, осуществляемом чаще всего вручную, контрольные механизмы приспособлены для поддержания необходимого уровня оросительной воды выше основного сооружения. Постоянный уровень воды в верхнем бьефе обеспечивает относительно постоянный слив воды через выходное отверстие, хотя объем сливаемой воды нельзя определить достаточно точно. Регулировать поток воды выше канала удобно с точки зрения работы всей оросительной системы, но такой способ его регулирования не всегда отвечает нуждам фермерского хозяйства. Он обычно сопровождается жесткими ограничениями водоподдачи и водооборота. В зависимости от размера и длины оросительной системы, установка и ввод в действие контрольных механизмов для регулирования потока воды в верхнем бьефе требует от 1 до 5 дней, чтобы приток воды соответствовал техническим и хозяйственным требованиям. Установка таких механизмов возможна и за более короткое время, если имеются вспомогательные приспособления для хранения и накопления воды.

Системы регулирования выше канала могут быть оборудованы ручными, дистанционными, автоматическими затворами, водосливами либо



is immediately downstream of the controlling gate. Generally, the water level of interest is several kilometers downstream, and electronic transfer of the needed gate response is used. This often requires considerable computer assistance to achieve appropriate gate response. Local automatic controllers are sometimes used successfully to control the water level immediately downstream from a gate. They are appropriate at secondary canal turnouts or when used in a series with sections of level-top canals (Z). Several methods have been proposed to control water levels in other situations (2, 5, 8, 13).

Control at bifurcations

Bifurcations have three basic control options :

1. Regardless of flow rate, proportional division without automatic or movable controls is possible through weir overfall structures if the sills are constructed to the same elevation. Orifices with the same differential head, such as free discharging orifices placed at the same water depth, will behave similarly.
2. Orifice discharge in one direction and a weir overfall in another can usually maintain a stable discharge through the orifice.
3. A long side weir can pass storm flows to a wasteway while maintaining appropriate head on a structure discharging down the main canal at a small change in flow rate.

Structures

The usual structures used in large canals are radial gates, slide gates, and leaf gates (photo 6-1). The radial gate is a partial cylinder and is mounted to cause those fluid forces that resist gate movement to cancel regardless of flow depth. It thus requires a small net force to cause movement, the major resistance to movement coming from the side seals dragging on the sidewalls of the structure. Vertical slide gates require considerable force to overcome the frictional resistance of the gate in the sidewall guides caused by the water forces against the gate. Leaf gates are basically stiff, flat plates laid on the rectangular canal floor and hinged at the upstream edge. Power winches then lift the downstream edge of the gate to control water flow. When fully raised, the flow stops. Small rectangular slide gates are usually used to control delivery to secondary canals, or laterals. Sometimes these deliveries enter short sections of pipe to pass under canal maintenance roads. Either a rectangular or circular slide gate may cover the upstream end of the round pipe.

Sediment and debris control

Structural features, such as sills and weed racks, can retain bedload sediments and floating debris in the main canal rather than sharing them with the secondary canals (photo 6-2).



Photo 6-1. On a secondary lateral a water control structure regulates irrigation water delivery for the adjacent cropland. (Tim McCabe photo)

Фото 6-1. Установка регулирования полива прилегающих полей на отводном канале. (Фото Тима МакКейба)



Photo 6-2. A newly installed weed rack helps keep floating debris from impeding water delivery to laterals and secondary canals. (Tim McCabe photo)

Фото 6-2. Сороудерживающая решетка препятствует попаданию наносов в отводные и вторичные системы орошения. (Фото Тима МакКейба)



Photo 6-3. USDA technicians inspect a new concrete lined irrigation water canal that will reduce seepage and stabilize delivery. (Tim McCabe photo)

Фото 6-3. Специалисты Минсельхоза США проверяют бетонированный оросительный канал; такая конструкция позволяет сократить потери воды и обеспечить стабильное орошение. (Фото Тима МакКейба)



сочетанием этих приемов [2]. Регулирование потока воды в нижнем бьефе, обычно включающее контроль за всеми источниками воды, расположенными ниже основной системы, представляет собой попытку обеспечить водоснабжение от канала по принципу системы трубопроводов. Этот способ регулирования менее распространен, чем регулирование в верхнем бьефе, потому что является весьма трудоемким. Такой способ регулирования близко к месту распределения представляет сложности для реализации в большинстве систем распределения и, как правило, требует сложного инженерного воплощения. Регулирование потока ниже канала позволяет по уровню воды в нижнем бьефе определять изменения расхода воды, необходимые для потока в верхнем бьефе. Такой способ регулирования наиболее пригоден в том случае, когда уровень воды нижнего бьефа устанавливается непосредственно у регулируемого затвора. Обычно же такой уровень отстоит от затвора на несколько километров и для получения необходимого результата в канале используется электронный передатчик. Часто для этого требуется серьезная компьютерная поддержка, чтобы получить необходимые данные с затворов. Иногда успешно применяют автоматические регуляторы расхода воды и определения ее уровня сразу же после затвора водосброса. Они хорошо подходят для второстепенных водосливов либо в сочетании с регуляторами выше расположенных каналов [7]. Несколько методов предложено для регулирования воды в других ситуациях [2,5,8,13].

Регулирование при разветвлении

Существует три основных способа регулирования при разветвлении оросительной сети:

1. Независимо от расхода воды, пропорциональное распределение ее без автоматических или мобильных регуляторов возможно через структуры водослива, если пороги шлюзов расположены на одном и том же уровне. Сливные отверстия с одинаковым напором воды, такие как отверстия свободного слива, расположенные на одной и той же глубине, работают одинаково.
2. Слив воды через отверстия в одном направлении, а водосброс через затвор в другом направлении обычно поддерживают постоянный расход воды через каждое отверстие.
3. Наличие длинной водосливной плотины обеспечивает сброс в специальный водосбросный канал бурных потоков воды, тогда как в основном канале сохраняется соответствующий напор воды при небольшом изменении скорости потока.

Механизмы регулирования

Для регулирования водоснабжения больших каналов обычно используются радиальные, выдвижные и листовые затворы. Радиальный затвор представляет собой неполный цилиндр, смонтированный таким образом, чтобы создать гидравлические силы для сопротивления движению затвора при закрытии независимо от глубины потока воды. Таким образом, чтобы вызвать движение, требуется лишь небольшое усилие, причем основное сопротивление движению исходит от боковых затворов сооружения. Вертикальные выдвижные затворы нуждаются в значительной силе для преодоления сопротивления трения затвора под напором воды в боковых стенках. Листовые затворы – это жесткие плоские пластины, уложенные на прямоугольном дне канала и закрепленные петлями по краю, расположенному выше по течению. Для регулирования потока воды нижний край пластин поднимается с помощью моторной лебедки. Поток воды прекращается, когда пластины полностью подняты. Небольшие прямоугольные выдвижные затворы обычно применяют для регулирования подачи воды во вспомогательные или боковые каналы. Иногда они используются для подачи воды в короткие трубопроводы, проходящие под дорогами системы обслуживания канала. Для перекрытия верхней части потока в круглой трубе могут использоваться как прямоугольные, так и круговые выдвижные затворы.

Контроль за наносами и отстоем в оросительной сети

Специальные приспособления в виде порогов и речных решеток используются для улавливания наносов и плавающего мусора в главном канале, не допуская их проникновения в боковые каналы.

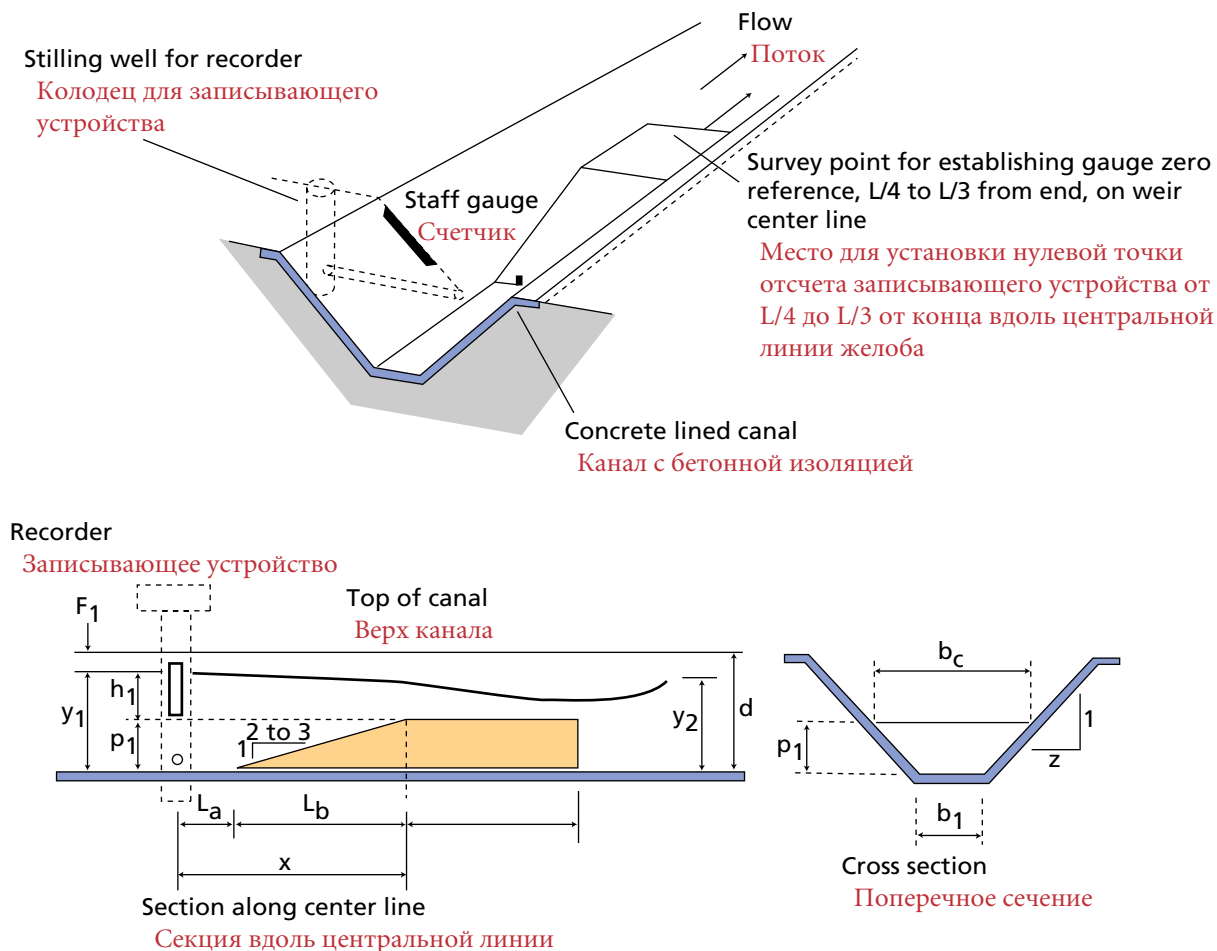
Водосбросы и инфильтрация

Потери воды в питающих каналах неизбежны, но, как правило, их можно сократить. Потери происходят за счет инфильтрации, водосбросов и испарения. Усилия по сохранению воды должны опираться на использование всех практических предупредительных и корректирующих мер ограничения инфильтрации в водохранилищах и каналах. Системы должны работать таким образом, чтобы поверхность воды не превышала расчетного уровня. Эффективная система управления – важное средство борьбы с операционными потерями воды. Часто источником потерь является подача избыточного количества воды. Такие потери могут быть результатом негибкой организации подачи, когда, например, воду подают в течение 24 часов, в то время как потребности удовлетворяются за 21 час. Для



Figure 1. Broad-crested weir style of long-throated flume for a trapezoidal canal

Рис. 1. Водослив с широким порогом длинно-горлового желоба для трапецевидного канала



Spills and seepage

The principal water losses from delivery canals may be unavoidable, but they usually can be reduced. These losses include seepage, operational spills, and evaporation. Water conservation efforts should include the use of all practical protective and corrective measures to limit seepage from reservoirs and canals. These systems should not be operated with the water surface higher than the intended design levels. Good control is essential to limit operational spills. Delivery of water in excess of that requested is a frequent source of loss. Such waste can be the result of rigid delivery policies that may, for example, require 24 hours of on-time when only 21 hours are needed. Allowing farmers to shut off the water to their farms on demand cannot be overemphasized in its importance to water conservation, but this is usually difficult to accommodate in canal operations. A concrete lining reduces seepage and maintenance and stabilizes delivery capacity over many seasons (photo 6-3). In many cases, concrete lining is justified to reduce maintenance costs rather than just to save water.

Flow measurement

Flow measurement is usually desirable at the delivery canal source, at nonproportional bifurcations, and at final farm delivery. It is frequently inferred from control structures. Intermediate measurements may be convenient for control. Slide and radial gates can be used as free-flow or submerged orifice meters if the gate opening and the differential head can be determined. Neither gate is highly reliable without field ratings because of the variety of slide-gate-guide treatments used in practice and the different lip-edge treatments employed on both the slide gates and the radial gates where the gate seals with the floor at complete shutoff. Results accurate to within 5 to 10 percent often can be achieved. Flows in large canals sometimes may be measured through large Parshall flumes. The computer-based calibrations currently used for long-throated flumes and broad-crested weirs (fig. 1) are accurate and result in smaller head losses, cheaper overall construction, and improved accuracy (3). These same devices in smaller sizes are popular for onfarm uses.



экономии воды было бы целесообразно обеспечить возможность отключать подачу воды на фермерские поля при необходимости, но это обычно трудно осуществлять при канальном орошении. Бетонированная облицовка способствует снижению инфильтрации и эксплуатационных расходов и стабилизирует пропускную способность на длительный период. Во многих случаях облицовка бетоном более способствует снижению эксплуатационных расходов, чем экономии воды.

Измерение дебита воды

Измерение дебита воды целесообразно проводить в источнике водоснабжения, на месте разветвления и при подаче воды на фермерские поля. Оно часто связано с системой управления. Для управления удобными могут быть промежуточные измерения. Выдвижные и радиальные затворы могут быть использованы в качестве измерителей как в открытом потоке, так и в подводной приустьевой части, если известны размеры отверстия затвора и дифференциальное гидростатическое давление. Но ни один затвор не может быть надежным без специальных полевых испытаний из-за разнообразия вариантов обработки выдвижных и радиальных затворов. Результаты измерений могут иметь точность от 5 до 10%. Сток воды в больших каналах можно измерять с помощью больших желобов Паршала. Компьютеризированные методы калибровки, используемые в настоящее время для стоковых желобов и для широкополосных затворов (рис.1), являются достаточно точными и обеспечивают уменьшение потерь гидростатического давления, удешевление конструкции и повышение точности измерений [3]. Аналогичные приборы меньших размеров получили распространение в фермерских хозяйствах.

В последние годы для измерения дебита воды в системе основных и фермерских каналов водоснабжения нашли применение ультразвуковые счетчики. Обычно их помещают по всей длине трубопровода. Для трубопровода диаметром более 1 м требуется многоканальный тип ультразвукового счетчика; если диаметр менее 1 м, то для счетчика требуется только один канал распространения ультразвука (рис.2). Точность измерения высокая, но зависит от постоянства сечения трубы, особенно в варианте с одноканальным счетчиком. Входные отверстия затворов, а также колена трубопровода влияют на результаты измерений – требуется продолжительное время испытаний или специальные перегородки для точного определения усредненных величин [3].

Организация оросительных систем

Измерение дебита ирригационной воды является существенной частью организации оросительных работ и управления как распределительными системами, так и оросительными системами на фермах [6]. Знать оросительную норму воды или фактическое ее использование при каждом поливе столь же важно, как и планировать режим орошения. Неоднократно было доказано, что сезонная подача воды на фермы обычно сокращается, если сток соответствующим образом контролируется, регулируется и измеряется.

Планирование орошения сельскохозяйственных культур и почв просто включает расчет времени орошения и определение количества воды, необходимого для полива [6]. Для этих целей используются несколько методов. Недавно разработанные климатические датчики и компьютерные программы свидетельствуют о сдвиге учения об орошении в сторону точных наук. Если режим орошения спланирован в соответствии с точно прогнозируемой потребностью культуры и мониторинг почвенных вод определяет наличие влаги в пределах корнеобитаемой зоны, сезонное водопотребление значительно сокращается, происходит экономия воды. Жестко регламентированный водооборот обычно приводит к избыточному орошению, т.к. вода поступает через определенные периоды и используется по мере поступления, независимо от потребности в ней растений в этот момент. Законодательные ограничения, неадекватная производительность системы водоснабжения, пробелы в знаниях фермеров снижают эффективность метода снабжения по потребности.

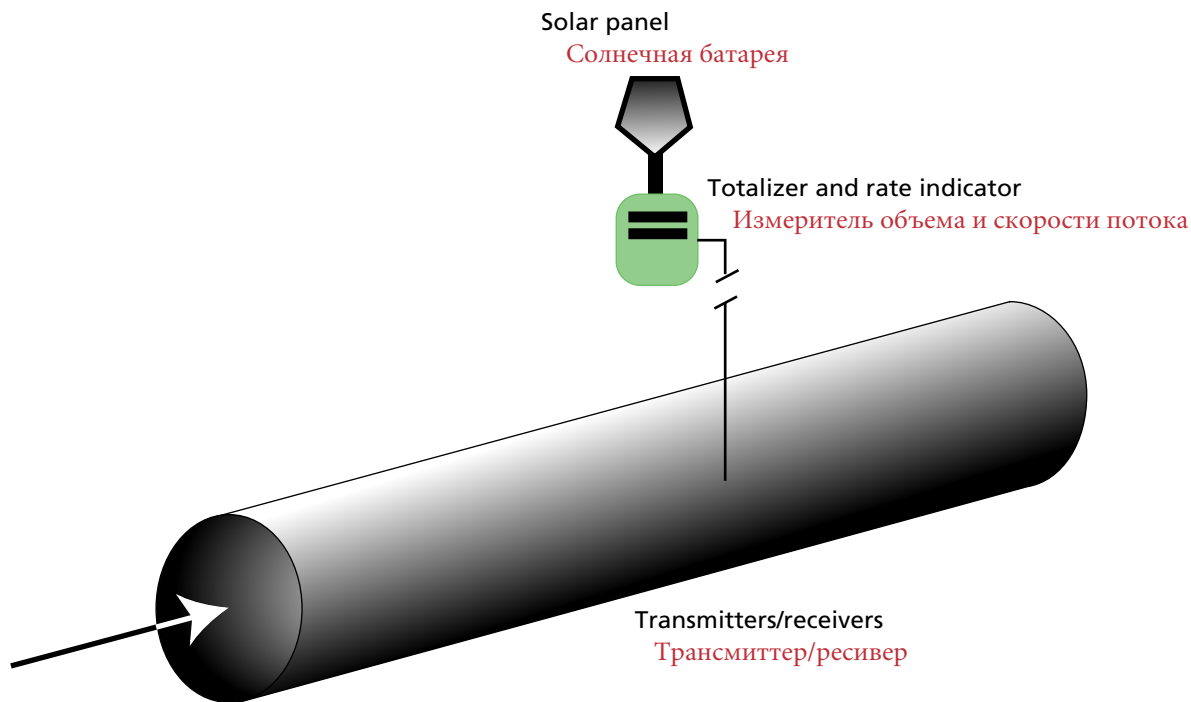
Примечание: коэффициент потенциальной эффективности орошения определяется как отношение чистого веса воды, необходимого для восстановления почвенной влаги в корневой зоне до уровня, не превышающего влажности завядания, к общему количеству использованной воды. Это расчетные значения, и они отражают отдельные поливы, а не сезонную эффективность орошения.

Планирование режима орошения включает приемлемый способ расчета и прогнозирования эвапотранспирации растений, соответствующие методы мониторинга почвенной влаги и измерение расхода оросительной воды [6]. Более того, все методы планирования принимают во внимание ограничения самой оросительной системы и управления ею – например, нижний и верхний пределы доступности



Figure 2. Single path ultrasonic flow meter being used to measure irrigation flows to large farms

Рис. 2 Ультразвуковой датчик потока, используемый для измерения объема ирригационных вод для крупных ферм



In recent years, ultrasonic flow meters have been used to measure flows in delivery system canals and farm systems. These meters are usually placed in lengths of pipe. Pipes more than 1 meter in diameter may have multiple-path styles of ultrasonic meters, while those less than 1 meter may have only one path (fig. 2). Accuracy is good but depends on the uniformity of the pipe flow profile, especially in the single path styles. Entrance gates and pipe elbows can affect results—requiring long sampling times or special baffling to average results accurately (3).

Management of irrigation systems

Measurement of irrigation flows is an essential part of the operation and management of both delivery systems and onfarm systems (6). Knowing the needed water application or the amount of water that was applied for each irrigation is as important as knowing when to schedule the irrigation (photo 6-4). It has been demonstrated repeatedly that seasonal delivery to the farms is generally reduced when flows are adequately monitored, regulated, and measured.

Scheduling irrigation of a specific crop and soil simply involves timing of irrigation and determining the amount of water to apply (6). Several methods of scheduling irrigation can be used. Recently developed climate sensors and computer programs have moved irrigation toward a more

exact science. If applied irrigations are scheduled according to accurately predicted crop need and soil water is monitored to indicate water within the root zone, seasonal water use is generally reduced and water conserved. Rigid rotation tends to cause excess irrigation because the water is only available periodically and is applied whenever available regardless of immediate crop need. Institutional constraints, inadequate capacity of the delivery system, and lack of farmer knowledge limit the success of delivery-on-demand policies.

All irrigation scheduling includes an acceptable way to calculate and predict crop evapotranspiration, some method of adequately monitoring soil water, and a measurement of irrigation flows (6, 9). Furthermore, all scheduling methods consider the limitations of the irrigation system and the management operations being used—for example, low/high water costs and availability; low/high labor costs and availability; scheduling method sensor and equipment costs; general practicability; and farmer interest and technical capability. Farmers follow irrigation schedules and management practices that maximize the use of rainfall during the crop growing season; manage an existing water table; control costs of water or pumping; mitigate short, or potentially short, water supplies; protect public water quality; and minimize soil erosion.



воды и ее себестоимости; нижний и верхний пределы доступности трудовых ресурсов и затрат на их использование; стоимость датчиков и другого оборудования; общую практическую ценность системы; заинтересованность и технические возможности фермеров. Фермеры соблюдают режим орошения и практику организации оросительных работ, которые позволяют максимально использовать дождевые осадки во время вегетационного периода, регулировать существующий уровень воды, контролировать затраты на воду и ее перекачку, компенсировать реальный или потенциальный дефицит водоподачи, поддерживать качество питьевой воды и снижать уровень почвенной эрозии.

В целях экономии воды обычно требуются эффективные методы орошения. Общепринятые способы полива – дождевание, поверхностное орошение, точечное и подпочвенное орошение – могут формироваться в различные системы, обладающие потенциальной эффективностью применения, ограниченную физическими факторами, воздействующими на функционирование этой системы. Конкретные условия определяют выбор системы. Например, в условиях жаркого аридного климата высокоэффективной в общем случае система дождевания может оказаться менее эффективной, чем хорошо сконструированная и организованная система орошения по обвалованным полосам или по бороздам. Одна такая система поверхностного полива испытывалась в Гранд Джанкшн, штат Колорадо, в 1990 г. Система, где использовался относительно новый метод орошения с изменяющейся скоростью потока по спланированным бороздам или обвалованным полосам, позволила снизить расход воды на 23 участка в среднем от 1035 мм до 650 мм за сезон. Опыты проводились на посевах кукурузы на почвах умеренной водопроницаемости. Орошение с изменяющейся скоростью потока позволяет лучше регулировать расход воды, меньше зависит от повторного использования, что способствует экономии оросительной воды, предупреждая ее возможные потери.

В таблице 1 приведены коэффициенты потенциальной эффективности орошения, ожидаемые для различных оросительных систем, рассчитанные Росс и Хедлунд [10]. Коэффициент потенциальной эффективности орошения отражает результаты, которых можно достичь при хорошо сконструированных и хорошо управляемых системах для специфических почвенных условий: водоудерживающей способности почвы, топографии или склона орошения, характеристик ветра, специфики сельскохозяйственной культуры и т.д. В существующих оросительных системах немало

факторов влияют на решение фермера усовершенствовать способ полива или заменить его другим, более эффективным и экономичным. Даже самая лучшая оросительная система может допускать потери воды при неправильной эксплуатации и управлении. Службой охраны природных ресурсов Министерства сельского хозяйства США разработаны “Указания по планированию оросительных систем” (Индекс Оценки Орошения Фермы – ИООФ), которые помогают оценить оросительные системы и уровни управления при планировании и оценке. В настоящее время эти “Указания” используются в западных штатах страны [11]. В условиях аридного климата на Западе США высокие урожаи чаще всего бывают в засушливые годы. Это связано с интенсивным использованием имеющихся ресурсов водоснабжения для возделывания необходимых сельскохозяйственных культур.

Системы повторного использования стока

Системы повторного использования ирригационного стока представляют собой систему коллекторов (открытые каналы или трубопроводы), отстойников или накопительных прудов, или систему возврата (насосы и трубопроводы) [1,7]. Повторные системы чаще всего применяются в системах полива по наклонным бороздам или по наклонным полосам. Повторное использование стока на фермерских полях может поддерживать или улучшать качество воды в потоках к потребителям в тех случаях, когда качество поверхностной воды вызывает озабоченность из-за загрязнения пестицидами, питательными веществами и наносами. Сочетание регулирования водного режима с конструкцией и работой системы сбора и повторного использования стока позволяет:

- обеспечить относительно высокие нормы поступления воды и оперативность в улучшении равномерности распределения воды;
- установить время, достаточно продолжительное для усвоения необходимого количества воды почвой с низким уровнем водопроницаемости;
- использовать накопленные стоки для дополнительного орошения;
- повысить общую эффективность применения орошения путем орошения больших площадей одним и тем же количеством воды или орошения одной и той же площади с меньшим расходом воды;
- обеспечить возможность выращивания более влаголюбивых культур;
- создать временные хранилища воды в системах водоснабжения для вод, теряющихся при выпуске, выпуске или при избыточном поступлении, когда вода фактически не используется.

Кроме того, сочетание регулирования водного режима



An efficient irrigation method or system that uniformly applies the water is generally required in order to conserve water (photo 6-5). The general irrigation methods—sprinkler, surface, micro, and subsurface—can be further divided and defined into various systems that have potential application efficiencies limited by physical factors affecting the operation of that system. Site conditions may determine the system used. In a very hot, arid climate, for example, a highly efficient sprinkler system can be less efficient than a well-designed and well-operated border or furrow system. One such surface system being investigated has produced preliminary results in a 1990 study at Grand Junction, CO. It involved the relatively new technique of surge irrigation on graded furrows or borders, and reduced applied water from an average of 1,035 mm to 650 mm on 23 sites in 1 season. This occurred on corn on a medium-high intake rate soil. Surge irrigation allows better control of applied water and less dependence on reuse, thus conserving water by allowing less opportunity for water losses.

In table 1, Ross and Hedlund show the potential application efficiencies expected for various irrigation systems (10). The potential application efficiency represents what can be attained with well-designed and well-managed systems for specific site conditions—soil intake and water holding capacity characteristics, topography or irrigation slope, wind, crop, and so on. For existing irrigation systems, many factors influence a farmer's decision to improve the system or convert to another method or system that may be more efficient or appear to be more economical. The best irrigation system can waste water through inappropriate operation and mismanagement. The U.S. Department of Agriculture's Natural Resources Conservation Service (NRCS) has developed a planning aid, the Farm Irrigation Rating Index



Photo 6-4. USDA technicians in Colorado conduct irrigation delivery tests to determine optimum flow rates and delivery times to improve onfarm irrigation management systems. (Tim McCabe photo)

Фото 6-4. Специалисты Минсельхоза США проводят в штате Колорадо измерения потоков орошения с целью определения оптимальных скоростей потока и времени орошения для улучшения управления оросительными системами на фермах. (Фото Тима МакКейба)

(FIRI), to assist in evaluating irrigation systems and management levels during the planning or evaluating process. This planning aid is currently being used in several Western States of the United States (11). In the arid Western States, the best crops are frequently associated with drought years. This is attributed to intense management of the available water supply in order to grow a desired crop.

Runoff flow reuse systems

Systems for reusing irrigation runoff that is otherwise lost consist of a collection system (open ditches or pipelines),



Photo 6-5. LEPA (Low Energy Precision Application) irrigation systems conserve water by keeping delivery low to the ground which greatly reduces drift. Additionally, they offer a variety of nozzle configurations to meet diverse delivery needs. (Tim McCabe photo)

Фото 6-5. Системы энергосберегающего точного орошения LEPA обеспечивают экономное использование воды за счет подачи ее непосредственно над поверхностью почвы, что существенно уменьшает снос воды. Кроме того, эти системы укомплектованы различными вариантами насадок, обеспечивающими разнообразные потребности в орошении. (Фото Тима МакКейба)



Photo 6-6. A tailwater irrigation water recovery pond collects excess water (with pesticide, nutrient and sediment), thus maintaining water quality for downstream users. (Tim McCabe photo)

Фото 6-6. Водоем на уровне нижнего бьефа для сбора стоков оросительной воды (с пестицидами, питательными веществами и отложениями) позволяет поддерживать высокое качество поливной воды для конечных потребителей. (Фото Тима МакКейба)



с конструкцией и работой системы сбора и повторного использования стока позволяет решить проблему возможного избыточного стока, возникающую при сокращении длины или глубины канала, а также снизить или полностью исключить сток ниже канала и связанное с этим загрязнение.

Накопительный водоем или отстойник обычно размещают в самой низкой точке орошаемой территории, с тем, чтобы весь сток мог быть собран и повторно использован для орошения. Повторные системы могут быть постоянно действующими обратными системами, использующими отстойник, требующий лишь непродолжительного хранения воды, или системами периодического действия, требующими длительного хранения воды. Если используется водоем, он должен обладать достаточной емкостью, чтобы накапливать сток воды полного цикла орошения, либо обеспечить необходимую норму полива на один полный цикл орошения. Обычно последнее требует меньшего объема накопления воды, но одновременно увеличения размеров отстойника. На рис.3 показано, какого увеличения общей эффективности применения орошения можно ожидать от повторного использования стоков [11]. Водное законодательство в некоторых штатах на Западе страны может не допускать повторное использование воды, учитывая интересы водопользователей в нижней части оросительных систем.

Заключение

Регулирование водного режима и охрана водных ресурсов возможны, когда оросительные системы рационально управляются, обеспечивая скорость и объем подачи воды соответственно потребностям растений в части условий в корнеобитаемой зоне, поглотительной способности почвы и дефицита почвенной влаги. Несмотря на меры, принимаемые для сохранения воды, обычно требуются дополнительные затраты труда на ограничение потерь воды.

Литература

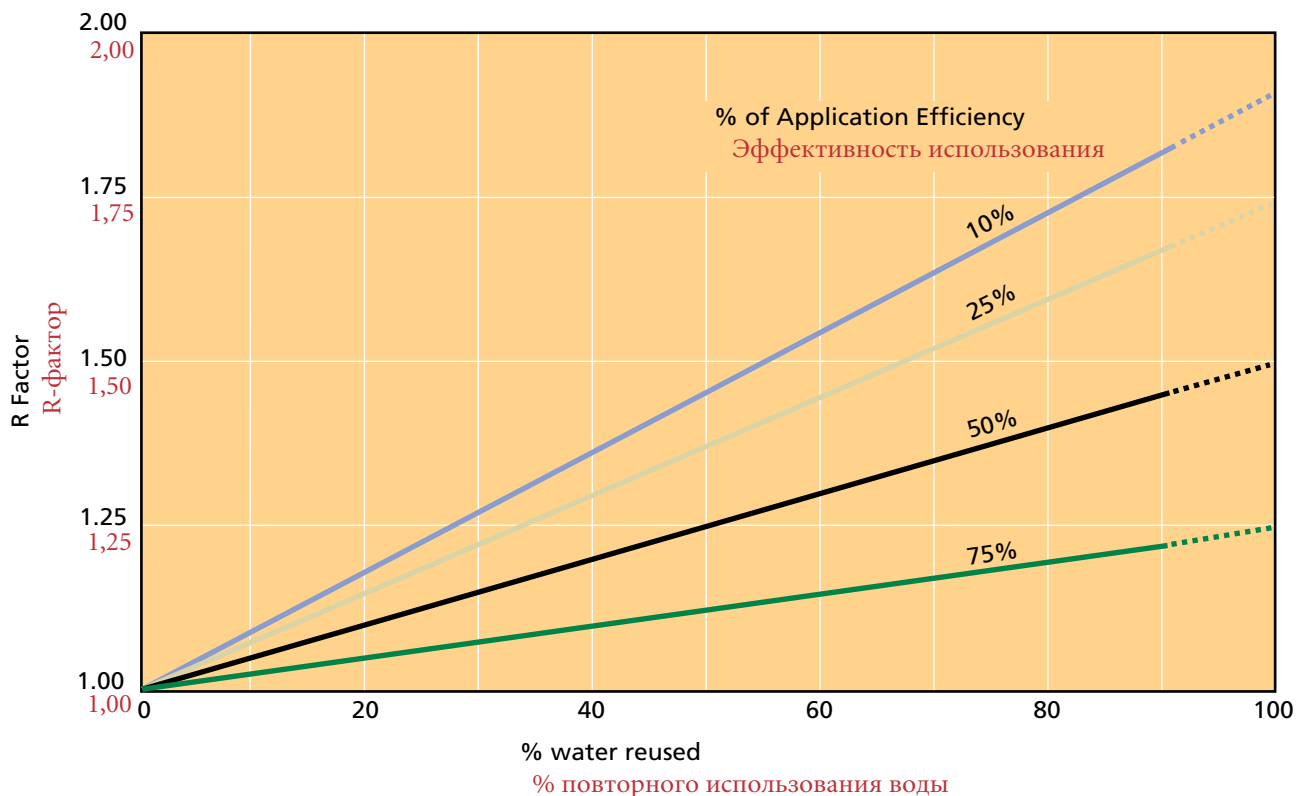
1. Американское общество сельскохозяйственных инженеров. (АОСИ). 1991. Дизайн и установка систем вторичной утилизации стока при поверхностном орошении. Практика инженерии АОСИ: АОСИ EP408.1. Стандарты АОСИ 1991. 38 издание, с. 637-640.

2. Американское общество гражданских инженеров. (АОГИ). 1991. Менеджмент операций и ухода за системами орошения и дренажа. 2-е издание. 432 с.
3. Бос, М.Г., Дж. А. Реплогл и А.Дж. Клемменс. 1991 (1-е издание, 1984, Нью-Йорк: Джон Вайлей и сыновья). Траншеи для измерения потока в системах открытых каналов. 2-е издание. американское общество сельскохозяйственных Инженеров. Сэнт Джозеф, Мичиган. 321 с.
4. Клемменс, А. Дж. и Дж. А. Реплогл. 1989. Управление сетями оросительных каналов. Журнал инженерии ирригации и дренажа. АОГИ, 115(1):96-110.
5. Клемменс, А. Дж., Дж. А. Реплогл и М.Г.Бос. 1987. Компьютерная модель для оценки потока через длинные измерительные траншеи. Служба сельскохозяйственных исследований (ССИ) МСХ США. ССИ-57, 64 с.
6. Хоффман, Гленн Дж., Терри А. Хоувелл, Кеннет Х. Соломон, редакторы. 1990. Менеджмент систем орошения на фермах. Монография. Американское общество сельскохозяйственных инженеров, 1040 с.
7. Дженсен, Марвин Е., редакторы. 1983. Дизайн и управление системами орошения на фермах. Монография № 3. Американское общество сельскохозяйственных инженеров. 829 с.
8. Плосс, Л. Ф. 1987. Автоматизация каналов используя метод электронного фильтра уровня (EL-FLOW). В книге: Планирование, операция, реабилитация и автоматизация ирригационных систем. Протоколы симпозиума. Американское общество гражданских инженеров, с. 164-175.
9. Реплогл, Джон А., Альберт Дж. Клемменс, и Маринус Г. Бос. 1990. Измерение ирригационной воды. Глава 10. В книге: Менеджмент ирригационных систем на фермах. Г. Хоффман, Т. А. Хоувелл и К.Х. Соломон, редакторы. Американское общество сельскохозяйственных инженеров. Монография, стр. 313-370.
10. Росс, Элвин А. и Джон Хедлунд. 1991. Индекс ирригации на фермах. Процедура оценки ирригационной системы и менеджмента. Протоколы специализированной конференции. Отдел ирригации и дренажа АОГИ. Гонолулу, Гавайи, с. 24-30.



Figure 3. Determination of R Factor based on Application Efficiency and percent water reused

Рис. 3 Фактор повторного использования ирригационных вод



sumps or storage ponds, or a return system (pumps and pipelines) (1, 7) (photo 6-6). Reuse systems are employed most commonly with graded furrow and graded border systems. Onfarm reuse of runoff can maintain or improve downstream waters where surface water quality to downstream users is of concern because of pesticide, nutrient, and sediment content. Combining water management with the design and operation of collecting and reusing runoff allows:

- relatively high onflow rates and quicker advance times to improve distribution uniformity;
- set times which are long enough for a low-intake soil to take in the required amount of water;
- use of stored runoff to supplement the irrigation supply;
- higher overall application efficiencies, thus irrigation of more area with the same amount of water or irrigation of the same area with less overall water;
- option of growing higher-consumptive-use crops; and
- the temporary storage of delivery system losses associated with water inflows, outflows, and overflows while not actually using the water.

In addition, combining water management with the design and operation of collecting and reusing runoff alleviates potential excess runoff problems associated with a change to shorter run lengths or shallower depths of application, and reduces or eliminates downstream flows and associated pollutants.

A storage pond or sump is generally located at the low point of an irrigated area so all runoff can be collected and reused. Reuse systems can be a continually operating return system using a sump with little to no storage required or an intermittent return system with storage required. When a storage pond is used, it should have the capacity either to store the runoff from one complete irrigation set or to provide a desirable onflow for one complete irrigation set. Generally, the latter will require less storage volume but larger sumps. Figure 3 shows the increase one can expect with the overall irrigation application efficiency of reusing the runoff (11). Because of water-rights regulations in some Western States, tailwater reuse may not be allowed because of long-term customary dependency by downstream water users.



Table 1. Recommended potential Application Efficiencies for various irrigation systems
 Таблица 1. Рекомендуемые величины коэффициента потенциальной эффективности орошения для различных ирригационных систем

System	Potential Efficiency	Система	Коэффициент
Borders			
Level or basin	60-90%	Горизонтальная или	60-90%
Graded	50-80%	бассейновая	
Contour	50-80%	Наклонная	50-80%
		Контурная	50-80%
Furrow			
Level or basin	50-90%	Горизонтальная или бассейновая	50-90%
Graded	50-70%	Наклонная	50-70%
Contour	50-70%	Контурная	50-70%
Corrugation	50-70%	Гофрированная	50-70%
Surge	60-80%	Волнистая	60-80%
Micro			
Point source	85-90%	Точечный источник	85-90%
Spray emitters	86-90%	Разбрызгиватели-эмиттеры	86-90%
Continuous tape	85-90%	Непрерывная лента	85-90%
Spray heads	85-90%	Распылители	85-90%
Sprinkler			
Periodic move		Дождевальная	
Big guns	55-77%	Периодического движения	
Solid set	60-88%	Крупные орудия	55-77%
Side-roll wheel lat	60-85%	Жесткая конструкция	60-88%
Hand move	60-85%	С боковым валиком	60-85%
		Ручное управление	60-85%
Continuous move			
Big guns	55-77%	Непрерывного движения	
Center pivot	75-88%	Крупные орудия	55-77%
Lateral move	80-90%	Кругового движения	75-88%
Center pivot (LEPA)	75-90%	Бокового движения	80-90%
(Low Energy Precision Appl.)		Кругового движения (ЭТО)	75-90%
		(энергосберегающее точное орошение)	

Note: Potential Application Efficiency is defined as the ratio of net water applied to replace soil water within the root zone not to exceed crop consumptive use versus gross water applied. These are design values and represent single irrigation events, not seasonal application efficiencies.

Потенциальная эффективность орошения определяется как соотношение между количеством воды, использованном для замещения почвенной влаги в корнеобитаемой зоне, не превышающем потребности растений, и общим количеством оросительных вод. Этот коэффициент используется для дизайна и рассчитывается для единичного оросительного периода, а не для сезонной эффективности орошения.

11. Служба охраны почв, МСХ США. 1991. Индекс ирригации на фермах: Метод планирования, оценки и улучшения менеджмента ирригации. Западный национальный технический центр, Портланд, Орегон. Техническая публикация, 63 с.
12. Служба охраны почв, МСХ США. 1951-1992. Национальный инженерный справочник. Секция 15, Ирригация. Главы 1-12.

13. Зимбельман, Даррелл Д. и Давид Д. Бедворс. 1983. Компьютерный контроль системы ирригационных каналов. Журнал Инженерии ирригации и иренажа АОГИ, 109(1), 42-59.



Example: An irrigation “application efficiency” of 50 percent and tailwater (runoff) “percent reuse” of 70 percent would give a factor of 1.35 times the original application efficiency.

Summary

Water management and water conservation are possible when irrigation systems are adequately operated and managed so that irrigation water is supplied according to crop needs in terms of rate and amount matching root zone, soil intake, and soil water deficit. Although water is conserved, additional labor is generally required to minimize or eliminate waste water.

References

1. American Society of Agricultural Engineers (ASAE). 1991. Design and Installation of Surface Irrigation Runoff Reuse Systems. ASAE Engineering Practice: ASAE EP408.1. ASAE Standards 1991. 38th Edition, pp. 637-640.
2. American Society of Civil Engineers (ASCE). 1991. Management operation and maintenance of irrigation and drainage systems. 2nd ed. 432 pp.
3. Bos, M.G., J.A. Replogle, and A.J. Clemmens. 1991 (1st ed., 1984, New York: John Wiley & Sons). Flow measuring flumes for open channel systems. 2nd ed. American Society of Agricultural Engineers. St. Joseph, MI. 321 pp.
4. Clemmens, A.J. and J.A. Replogle. 1989. Control of irrigation canal networks. *J. Irrigation and Drainage Engineering*. ASCE. 115 (1):96-110.
5. Clemmens, A.J., J.A. Replogle, and M.G. Bos. 1987. Flume: A computer model for estimating flow through long-throated measuring flumes. USDA Agricultural Research Service. ARS-57, 64 pp.
6. Hoffman, Glenn J., Terry A. Howell, Kenneth H. Solomon, eds. 1990. Management of farm irrigation systems. Monograph. American Society of Agricultural Engineers. 1040 pp.
7. Jensen, Marvin E., ed. 1983. Design and operation of farm irrigation systems. Monograph No. 3. American Society of Agricultural Engineers. 829 pp.
8. Ploss, L.F. 1987. Canal automation using the electronic filter level offset (EL-FLOW) method. In: Planning, operation, rehabilitation and automation of irrigation delivery systems. Symposium Proceedings. American Society of Civil Engineers, pp. 164-175.
9. Replogle, John A., Albert J. Clemmens, and Marinus G. Bos. 1990. Measuring irrigation water. Chapter 10. In: Management of farm irrigation systems. G. Hoffman, T.A. Howell, and K.H. Solomon, eds. American Society of Agricultural Engineers. Monograph, pp. 313-370.
10. Ross, Elwin A. and John Hedlund. 1991. Farm Irrigation Rating Index. A procedure to evaluate both irrigation systems and management. Proceedings of Specialty Conference. Irrigation and Drainage Division of ASCE. Honolulu, HI. pp. 24-30.
11. Soil Conservation Service (SCS), USDA. 1991. Farm Irrigation Rating Index (FIRI): A method for planning, evaluating, and improving irrigation management. Western National Technical Center (WNTC), Portland, OR. Technical Release, 63 pp.
12. Soil Conservation Service (SCS), USDA. 1951-1992. National Engineering Handbook. Section 15, Irrigation. Chapters 1 through 12.
13. Zimbelman, Darell D. and David D. Bedworth. 1983. Computer control for Irrigation canal system. *J. Irrigation and Drainage Engineering*. ASCE, 109(1), 42-59.



Use of Saline Drainage Water for Irrigation

Применение засоленных дренажных вод для орошения

Use of Saline Drainage Water for Irrigation

James E. Ayars, Virgil L. Backlund, James D. Rhoades, and Kenneth K. Tanji

Abstract

Traditionally, saline agricultural drainage water has been disposed of by allowing it to percolate deep into the area above the permanent ground water level or by discharging it into river systems for transport to the ocean. Evaporation ponds dispose of saline drainage water in regions where there are few opportunities for deep percolation and river discharge. However, its potentially hazardous impact on wildlife makes the accumulation of toxic elements in these ponds a major concern. Therefore, other methods to dispose of the drainage water are being considered, such as reusing it to irrigate crops.

Introduction

Salt-affected soil is not limited to the arid and semiarid climates. However, it is most often found where the total annual precipitation is less than 250 millimeters (mm) and where the soil originates from marine geologic formations. Irrigated cropland in an arid climate will eventually require root-zone drainage; the resulting saline drainage water will need to be removed (photo 7-1).

Drainage water use strategies

In California, the three possible strategies for using saline drainage water to produce crops are in situ, blended, and cyclic. Each strategy requires specific site application and management techniques.

In the in situ strategy, the crop uses water directly from the shallow ground water. When using saline subsurface water on crops, the depth of the water table, the quality and quantity of the ground water, and the salt tolerance of the plants have to be considered. The more closely the crop's rooting depth and salt tolerance match the depth and salinity of the ground water, the more likely the plants are to extract the saline ground water. The in situ strategy requires irrigation water management methods that induce plant water use from available ground water.

The next strategy, blending, uses two waters that differ in quality and come from different sources. Blending can be done either by network or by soil dilution. Using blended water usually restricts the crop selection; this is because many crops respond to the weighted mean water salinity regardless of the blending method. However, blending good-quality

irrigation water with water that is too saline can negate the benefits of extending the water supply.

The cyclic strategy requires at least two sources of water. One must be of better quality and lower in salt, while the other can have a higher salt content. Under this strategy, the different sources of water are never blended or mixed. A rotation of salt-tolerant and moderately salt-sensitive crops is possible. The salt-tolerant crops would be irrigated with the saline water; the moderately salt-sensitive crops would be irrigated with the better quality water. Note that both crops

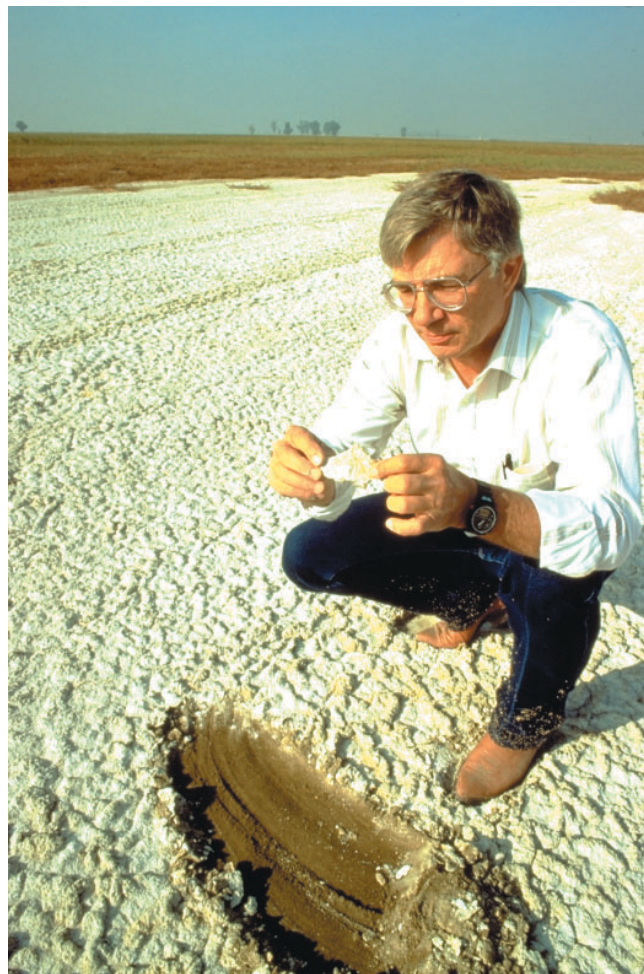


Photo 7-1. Severely salt-damaged farmland in California's San Joaquin Valley. (Scott Bauer photo)

Фото 7-1. Почвовед Службы сельскохозяйственных исследований Джим Родес изучает образец сильнозасоленной почвы в долине Сан-Хоакин, штат Калифорния. (Фото Скота Бауера)



Применение засоленных дренажных вод для орошения

Джеймс Е. Айерс, Виргил Л. Беклунд, Джеймс Д. Родес, Кеннет К. Танджи

Резюме

Обычно минерализованные дренажные воды удаляются с полей путем просачивания в почвенный слой над постоянным уровнем грунтовых вод, либо путем сброса в речную сеть, откуда они попадают в океан. В районах, где возможности удаления минерализованных вод путем глубокой фильтрации или разгрузки в реки ограничены, для дренажных вод устраивают испарительные бассейны. Однако потенциальная опасность для животного мира является основной проблемой при скоплении токсичных веществ в подобных водоемах. В связи с этим рассматриваются другие методы удаления дренажных вод, такие как повторное их использование для орошения сельскохозяйственных культур.

Введение

Распространение засоленных почв не ограничивается условиями аридного или полуаридного климата. Однако они чаще всего встречаются там, где количество осадков не превышает 250 мм в год, и где на почвообразование влияют геологические формации морского происхождения. Орошаемые земли в условиях аридного климата требуют дренажа корнеобитаемого слоя почвы; в результате этого образуются минерализованные дренажные воды и возникает потребность их удаления.

Стратегия использования дренажных вод

В Калифорнии существуют три возможных способа использования минерализованных дренажных вод при возделывании сельскохозяйственных культур: *in situ*, смешанный и циклический. Каждый из них пригоден для определенных условий и требует соответствующей техники управления.

Способ *in situ* предусматривает непосредственное использование растениями влаги грунтовых вод из близких к поверхности горизонтов. При использовании минерализованных грунтовых вод для сельскохозяйственных культур следует принимать во внимание их уровень, качество и обилие, а также солеустойчивость растений. Чем больше глубина корнеобитаемой зоны и солеустойчивость растений приближаются к уровню и засоленности грунтовых вод, тем выше вероятность использования растениями

грунтовой воды. Стратегия использования минерализованных дренажных вод *in situ* требует такой организации орошения, которая способствует использованию грунтовых вод растениями.

Другой, смешанный способ использует оросительную воду из двух источников, различных по качеству. Смешивание воды может происходить либо в оросительной сети, либо в самой почве. Использование смешанной воды обычно ограничивает выбор сельскохозяйственных культур; это вызвано тем, что многие культуры чувствительны к средневзвешенному показателю засоленности воды, независимо от способа смешивания. Однако смешивание высококачественной оросительной воды со слишком засоленной водой может свести на нет эффект от увеличения подачи воды в результате использования двух источников.

Циклический способ предполагает использование по крайней мере двух источников воды. Вода одного из них должна быть лучшего качества с низким содержанием солей, вода другого может быть сильно минерализованной. При этом способе воды различных источников не смешиваются. Возможно чередование солеустойчивых и умеренно чувствительных к засолению культур в севообороте. Солеустойчивые растения поливаются минерализованной водой, культуры с умеренной чувствительностью к засолению – водой лучшего качества. Следует заметить, что в период появления всходов и те и другие растения нуждаются в поливе высококачественной водой. Кроме того, при циклическом способе исключаются условия устойчивого засоления почвенного профиля.

Обсуждение результатов

In situ

Опытное применение способа *in situ* проводилось на ферме Мурриета в долине Сан Хоакин в Калифорнии. В этом опыте был выбран режим орошения, способствующий развитию корневой системы и потреблению растениями воды. Показатели стрессового состояния растений, такие как запас воды в листьях (ЗВЛ) [4] и индекс всасывающего давления почвенной влаги [7] при определении сроков полива, эффективно способствовали использованию растениями поверхностных грунтовых вод [5,1].



need to be irrigated with good-quality water during emergence. Also note that under cyclic use, steady-state salinity conditions in the soil profile are never reached.

Discussion

In situ

An experiment implementing the *in situ* strategy was conducted at Murrieta Farms in the San Joaquin Valley of California. In the experiment, the farm's irrigation schedule was managed to induce root extension and crop water use. Crop-based parameters of stress, such as leaf water potential (LWP) (4)¹ and crop water stress index (Z) to establish the time of irrigation, have effectively promoted the use of shallow ground water (5) (1). Using these techniques for irrigation scheduling extended the irrigation interval without inducing excessive plant stress. This method of irrigation scheduling was tested on a cotton crop at the above site in 1982, 1983, and 1984; an average of 16 percent of the evapotranspiration crop (ET_c) was taken from the shallow saline ground water 7 deciSiemens/meters (dS/m) with a maximum extraction of approximately 35 percent.

Wallender et al. (17) found that cotton could extract up to 60 percent of its ET_c from saline ground water (6 dS/m). Grimes and Henderson (3) found that in fine-textured soils the maximum contribution from the ground water was a function of water quality and water table depth. In general, they found that the maximum potential extraction occurred with increasing ground water salinity of 5 to 20 dS/m if the depth to the water table also increased from 1.5 to 2.25 meters (m). Hutmacher et al. (6) found that in column lysimeters with a fixed depth to the water table of 1.2 m, ground water use by cotton was not affected until the salinity exceeded 16 dS/m, which is approximately two times the threshold value for yield reduction in the Maas-Hoffman equation (8). Sugar beets grown in the same columns exhibited the same response. When evaluating the water for irrigation purposes, the use of saline ground water was not restricted until the salinity was much higher than the threshold values used for no yield reduction.

Blended

An experiment in the blending strategy was conducted at the Broadview Water District (BWD), a 4,080 hectare (ha) irrigation and drainage district located in the western section of the San Joaquin Valley in California. (See figure 1.) BWD did not have a surface drainage outlet to the San Joaquin River; it collected its surface runoff and saline subsurface drainage and recirculated them into the irrigation supply

¹ Underlined numbers in parentheses cite sources listed in the References section at the end of this article.

Figure 1. Location map in California

Рис. 1 Схема местоположения опытных участков в Калифорнии



system. This caused the water table to rise. Subsurface drainage systems were installed to help deal with the rising water table. Today, nearly 90 percent of the land has subsurface drains. There is concern over the complete recirculation of drainage water and the resulting potential impact on crop production (2). A detailed study was conducted on the quality of irrigation return flows in the general area, including the BWD (13), (14), (15), and (16). During the 1975-76 irrigation season, 161-510 centimeter/hectare (cm/ha) of drainage water was mixed with 180-860 cm/ha of canal water to irrigate 4,000 ha of cropland.

Table 1 presents the average water quality during the 1975-76 irrigation season. The canal water was of excellent quality but was significantly degraded in salinity and boron after it was blended with drainage water. Figure 2 shows the average accumulation of salt electrical conductivity (EC) of soil saturation extract and boron in 14 sampling sites. In spite of the salt- and boron-affected soil, the yields of cotton, tomatoes, barley, wheat, alfalfa seed, cantaloups, and sugar beets were not seriously effected. But there were problems. After 27 years—1954-1981—of continuous drainage water reuse, the EC of the blended irrigation water had risen to about 3.2 dS/m; this caused a decline in growth and yields. In 1976, 800 ha of tomatoes were planted in the area



Применение этого способа при планировании орошения позволило увеличить межполивной период, не вызывая стрессового состояния растений. Этот метод планирования орошения был проверен на посевах хлопчатника на этой же ферме в 1982, 1983 и 1984 гг.; количество использованной растениями минерализованной грунтовой воды (7 dS/m) составило в среднем 16% от величины эвапотранспирации растений ($ЭТ_p$), при этом максимальная величина ее составила 35%.

Валлендер и др. [17] установили, что хлопчатник может извлекать до 60% эвапотранспирации (по $ЭТ_p$) из высокоминерализованной (6 dS/m) грунтовой воды. Граймс и Хендерсон [3] показали, что в почвах тяжелого механического состава максимум потребления влаги грунтовой воды есть функция ее качества и глубины уровня. Они обнаружили, что в большинстве случаев максимальное потенциальное извлечение воды растениями имеет место в пределах значений минерализации от 5 dS/m до 20 dS/m, если глубина грунтовых вод также увеличивается от 1,5 м до 2,25 м. Хатмакер и др. [6] установили, что в опытах, проводившихся в лизиметрических колоннах с фиксированной глубиной зеркала воды на уровне 1,2 м, содержание солей в растворе не оказывало отрицательного влияния на хлопчатник, пока оно не превышало 16 dS/m, что примерно в два раза выше значения пороговой величины для снижения уровня урожайности, рассчитанной по уравнению Маас-Хоффман [8]. В аналогичных опытах с сахарной свеклой обнаружена сходная реакция растений на содержание солей в грунтовой воде. При оценке воды для целей орошения можно сделать вывод, что минерализованная грунтовая вода может использоваться без ограничений при условии, что засоленность ее не превышает определенного порога, после которого может наступить снижение урожайности.

Смешанный способ

Опыты по изучению стратегии смешивания проводили в ирригационном округе Бродвью (ОБ) площадью 4080 га, в западной части долины Сан-Хоакин в штате Калифорния (рис. 1). Округ Бродвью не обеспечен поверхностным дренажем и не имеет стока в реку Сан-Хоакин; воды поверхностного стока и внутрипочвенного дренажа рециркулируют в ирригационную систему. Это вызывает повышение уровня грунтовых вод. Внутрипочвенные дренажные системы установлены с целью воспрепятствовать повышению уровня грунтовых вод. На сегодняшний день около 90% территории имеет внутрипочвенный дренаж. Некоторую озабоченность вызывает полная рециркуляция дренажных вод и, как следствие, ее

возможное влияние на урожайность сельскохозяйственных культур [2]. Было проведено детальное изучение качества возвратных дренажных вод на территории, включающей ОБ [13, 14, 15 и 16]. В сезоне орошения 1975-76 гг. 161-510 см/га дренажных вод были смешаны со 180-860 см/га поливной воды из каналов для орошения 4000 га пашни.

В таблице 1 приведены средние показатели качества воды в оросительном сезоне 1975-76 гг. Отличное качество воды в оросительном канале значительно ухудшилось по показателям минерализации и содержания бора после смешивания с дренажной водой. На рис. 2 показана электропроводность солей (ЕС) из насыщенной вытяжки и бора в 14 образцах, собранных с различных участков. Несмотря на повышенное содержание солей и бора в почве, урожаи хлопчатника, томатов, ячменя, пшеницы, люцерны, канталупы (мускусной дыни) и сахарной свеклы практически не пострадали. Но со временем возникли другие проблемы. За 27 лет (1954-1981 гг.) непрерывного повторного использования дренажных вод электропроводность смешанной оросительной воды повысилась до 3,2 dS/m; это вызвало снижение роста и урожайности возделываемых культур. В 1976 г. помидоры были посажены на площади 800 га, орошаемой дренажной водой. К 1988 г. помидоры уже не сажали из-за высокого засоления верхнего горизонта почвы (табл.2). Высокое содержание солей замедляет всхожесть семян томатов.

Циклический способ

Испытание и демонстрация стратегии циклического повторного использования минерализованных дренажных вод по Роаде [9, 10] проводились в январе 1982 г. на коммерческой ферме в Имперской долине в Калифорнии. При этом способе минерализованная, например дренажная или поверхностная вода, заменяет воду хорошего качества для орошения определенных культур в севообороте, когда эти культуры находятся в соответствующей, устойчивой к засолению стадии роста. При этом "хорошая" вода использовалась для полива растений, чувствительных к засолению.

Две схемы севооборотов были испытаны в течение четырех лет на площади 20 га. Первая представлена двухгодичным последовательным севооборотом пшеницы, сахарной свеклы и канталупы. В этом севообороте для предпосевного и ранних поливов пшеницы и сахарной свеклы и для всех поливов бахчевых использовалась вода из реки Колорадо с содержанием растворимых твердых веществ 900 мг/л. Для вегетационных поливов использовали воду из реки Аламо (дренажная вода, растворенные вещества =



Table 1. Seasonal water quality data for the Broadview Water District in 1975-76

Таблица 1. Сезонные данные по качеству воды в округе Бродвью, 1975-1976 гг.

Description Описание	EC (dS/m) Электропроводность, dS/m	Boron (mg/L) Бор, мг/л	Sodium adsorption ratio (mM/L) ^{1/2} Содержание обменного натрия (мМ/л) ^{1/2}
Fresh canal water Пресная вода канала	0.55 0,55	1.2 1,2	0.16 0,16
Captured drain water Дренажная вода	2.51 2,51	5.2 5,2	1.84 1,84
Delivered mixed irrigation water Смешанная оросительная вода	1.55 1,55	3.3 3,3	0.90 0,90

Table 2. Soil quality data in the Broadview Water District in 1987

Таблица 2. Данные по качеству воды в округе Бродвью, 1987 год

Constituents* / Компоненты*

Description Описание	ECe (dS/m) Электропроводность, dS/m	Boron (mg/L) Бор, мг/л	Sodium adsorption ratio (mM/L) ^{1/2} Содержание Обменного Натрия (мМ/л) ^{1/2}	Se (µg/L) Se, мкг/л
Minimum Минимальный	0.9 0,9	0.5 0,5	10.9 10,9	4.0 4,0
Average Средний	5.0 5,0	2.7 2,7	27.3 27,3	76.0 76,0
Maximum Максимальный	14.8 14,8	10.3 10,3	1.1 1,1	690 690

*Soluble constituents from composite samples in the 0.9 to 1.8 m soil depths.

*Растворимые вещества из почвенных образцов, отобранных с глубины 0,9-1,8 м.

receiving ground water. By 1982, no tomatoes were planted because of high salinity in the surface soils (see table 2); high salinity impedes the germination of tomato seeds.

Cyclic

A test and demonstration of Rhoades's cyclic reuse strategy (9) (10) were conducted on a commercial farm in California's Imperial Valley in January 1982. In this strategy, saline water such as drainage or shallow ground water is substituted for the "good" water and used to irrigate certain crops in the rotation when they are in a suitably salt-tolerant growth stage. The "good" water is used for the salt-sensitive growth stages.

Two cropping patterns were tested in this 4-year, 20-ha field experiment. One was a 2-year successive crop rotation of wheat, sugar beets, and cantaloups. In this rotation, Colorado

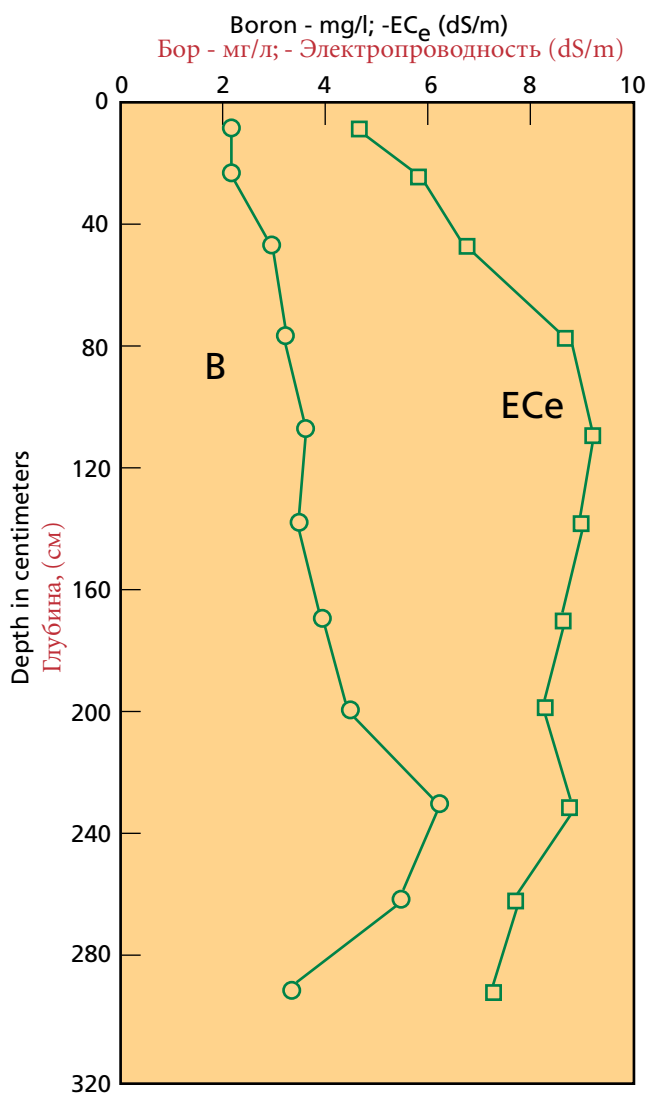
River water—900 milligrams per liter total dissolved solids—(mg/L TDS) was used for the preplant and early irrigation of wheat and sugar beets and for all irrigations of the melons. The remaining irrigation was with the Alamo River (drainage water of 3,500 mg/L TDS). The other was a 4-year block rotation consisting of 2 years of cotton, a salt-tolerant crop; followed by wheat, an intermediate salt-tolerant crop; and then by alfalfa, a more salt-sensitive crop. Drainage water was used for the irrigation of cotton after seedling establishment; beginning with the wheat crop, only water from the Colorado River was used.

The yields of the crops grown in the successive and block rotation or rotations are given in tables 3 and 4, respectively. In either cycle of the rotation, no significant losses in the yields of the wheat and sugar beet crops occurred from substituting drainage water even in the greater amount, cA 65



Figure 2. Profile distribution of salinity and boron in the Broadview Water District, 1975-77

Рис. 2 Распределение водорастворимых солей и бора по профилю почвы опытного участка в ирригационном округе Бродвью



3500 мг/л). Другой севооборот представлял собой четырехгодичную блочную ротацию: два года посевов хлопчатника (солеустойчивой культуры), за которыми следовали пшеница (промежуточная по устойчивости культура) и люцерна, более чувствительная к засоленности. Дренажной водой поливали хлопчатник после появления всходов, а начиная с посевов пшеницы использовалась исключительно вода из реки Колорадо.

Показатели урожайности культур при последовательном и блочном севооборотах представлены соответственно в табл. 3 и 4. В каждом

цикле севооборота не наблюдалось существенного снижения урожайности пшеницы и сахарной свеклы при использовании для полива дренажных вод даже в больших количествах (сА 65-75%) вместо воды из реки Колорадо для полива этих культур после появления всходов. Средняя урожайность канталупы, полученная на участках сА, оказалась на 10% ниже контрольной, но эта разница не является статистически существенной. Урожайность товарных дынь, измеренная в количестве стандартных упаковок канталупы, собранных при уборке, в 1985 г. не отличалась в вариантах сА и сА, но в обоих случаях оказалась выше, чем в контрольном варианте (табл. 3). Следовательно, не наблюдалось существенного снижения урожая канталупы при выращивании ее на полях, орошавшихся водой из р. Колорадо, которые ранее были минерализованы дренажной водой при поливах пшеницы и сахарной свеклы.

Урожай каждой культуры, полученные в блочном севообороте, приведены в табл.4. В 1982 г. не отмечалось снижения урожайности хлопководства в первом году при поливе дренажной водой из р. Аламо, даже когда эта вода использовалась в предпосевной период и в период формирования всходов (вариант А). Тот же результат – отсутствие существенного снижения урожайности хлопчатника (вторая культура в севообороте) при использовании для полива воды р.Аламо имел место и в 1983 г. Однако в этом случае в период формирования всходов использовали воду р. Колорадо (рекомендуемая стратегия – вариант сА). Как и ожидалось, существенное снижение очередного урожая хлопководства последовало при использовании для полива одной только минерализованной воды из р. Аламо (“экстремальный-контрольный вариант” А). Потери урожайности были вызваны, главным образом, уменьшением густоты стояния растений, происходившим на втором году из-за чрезмерно высокого уровня засоленности почвы в период становления всходов. Не отмечалось никаких потерь урожайности зерна пшеницы или сена люцерны в блочном севообороте в связи с предшествующим использованием поливной воды из р. Аламо; эти участки остались в том же состоянии, в каком они были, когда их поливали водой из р. Колорадо.

Посевы на землях, орошавшихся дренажными водами, никогда не были более низкого качества, а зачастую давали более качественную продукцию, нежели контрольные. Это верно и в отношении культур, выращиваемых на землях, ранее орошавшихся дренажными водами. Относящиеся к этому фактические данные о качестве культур приводятся в [11].



Table 3. Yields of crops in successive rotation, crop/year
 Таблица 3. Урожайность сельскохозяйственных культур в последовательном севообороте, Культура/год

Treatment ¹ Вариант орошения ¹	Wheat/1982 ² Пшеница ² 1982 г.	Sugar beets/1983 ³ Сахарная свекла ³ 1983 г.	Cantaloups/1983 ⁴ Канталупа ⁴ 1983 г.
C	3.60 (0.06) ⁶	4.3 (0.1)	392 (12)
C	3,60 (0,06) ⁶	4,3 (0,1)	392 (12)
Ca	3.60 (0.08)	4.3 (0.2)	384 (10)
Ca	3,60 (0,08)	4,3 (0,2)	384 (10)
cA	3.71 (0.06)	4.1 (0.1)	355 (14)
cA	3,71 (0,06)	4,1 (0,1)	355 (14)

Treatment ¹ Вариант орошения ¹	Wheat/1984 ² Пшеница ² 1984 г.	Sugar beets/1985 ³ Сахарная свекла ³ 1985 г.	Cantaloups/1985 ⁴ Канталупа ⁴ 1985 г.
C	3.51 (0.09)	4.1 (0.1)	115 (5)
C	3,51 (0,09)	4,1 (0,1)	115 (5)
Ca	3.46 (0.10)	4.1 (0.1)	142 (8)
Ca	3,46 (0,10)	4,1 (0,1)	142 (8)
cA	3.55 (0.09)	3.9 (0.1)	139 (12)
cA	3,55 (0,09)	3,9 (0,1)	139 (12)

1. C = Colorado River water used solely for irrigation; Alamo River water used in relatively smaller (Ca) and larger (cA) amounts, after seedling establishment with Colorado River water for wheat and sugar beets. Cantaloups only irrigated with Colorado River water.
2. Tons of grain per acre.
3. Tons of sugar per acre.
4. Pounds of seed per acre.
5. Commercial yield in number of cartons per plot; plot size = 750 x 38 feet = 0.6543 acres.
6. Value within () is standard error of mean; six replicates.

1. C – вода реки Колорадо, используемая для орошения; вода реки Аламо, используемая для орошения в малых (Ca) и больших (cA) количествах после появления всходов пшеницы и сахарной свеклы. Канталупа орошалась только водой реки Колорадо.
2. Тонн зерна/акр.
3. Тонн сах. свеклы/акр.
4. Фунтов семян на акр.
5. Урожайность с одного участка размером 750 x 38 футов = 0,6543 акра.
6. Число в скобках – стандартная ошибка среднего; шесть повторностей.

- 75 percent for Colorado River water for the irrigation of these crops after seedling establishment. The mean yield of cantaloups obtained in the cA plots was about 10 percent lower than the control, but the difference was not statistically significant. The yields of the fresh-market melons—measured in numbers of cartons of cantaloup obtained by commercial harvest operations—in 1985 were higher in the Ca and cA treatments than in the C treatment, but did not differ. (See table 3.) Hence, no significant yield loss was observed from growing cantaloups on land that had been irrigated with water from the Colorado River and that had previously been salinized with drainage water to irrigate wheat and sugar beets.

The yield of each crop obtained in the block rotation is given in table 4. In 1982, there was no loss in lint yield in the first cotton crop from using drainage water from the Alamo River for irrigation, even when it was used for irrigation during the preplant and seedling establishment periods (treatment A). In 1983, there was no significant loss in lint yield in the second cotton crop from using Alamo River water; this followed seedling establishment that used water from the Colorado River (the recommended strategy treatment, cA). As expected, there was a significant and substantial loss of lint yield where the Alamo River water was used solely for irrigation (the “extreme-control” treatment, A). This loss of yield was caused primarily by a loss of stand that occurred in the second year



При использовании рекомендуемой стратегии уровни засоленности и щелочности поддерживались в приемлемых пределах как для формирования всходов, так и для последующего развития культуры в севообороте. Данные о засоленности и щелочности почвы приводятся в [12].

Выводы

Фермы Мурриета

Если для полива используются большие количества минерализованной воды при близких грунтовых водах, то неотъемлемой частью режима орошения становится регулирование засоленности почвенного профиля. Предпосевной полив на паровых полях или вымывание солей атмосферными осадками могут быть использованы для поддержания достаточно низкого уровня засоленности поверхностных горизонтов почвы, с тем, чтобы избежать негативного влияния на всхожесть посевов. Минерализованные дренажные воды можно использовать для вегетационных поливов достаточно укоренившихся растений.

Ирригационный округ Бродвью

Хотя в ряде случаев повторное использование дренажных вод является оправданным, от такой практики отказались примерно три десятилетия назад из-за ее негативного влияния на севообороты. В округе Бродвью для орошения всех культур дренажные воды повторно использовались в смеси с минерализованной водой из каналов.

Если бы вода высокого качества использовалась только для полива чувствительных к засоленности культур, а также для полива всех видов растений на стадии появления всходов, а минерализованные дренажные воды – только для полива устойчивых к засоленности растений, тогда была бы возможность более продолжительного повторного использования минерализованных дренажных вод. При оценке этой альтернативной стратегии повторного использования воды, округ Бродвью сообщил, что для повторного использования дренажных вод на его территории площадью 4000 га система водоподдачи должна быть существенно модифицирована.

Имперский ирригационный округ

Результаты полевых опытов, проведенных в реальных производственных условиях, подтверждают, что стратегия циклического управления посевами и водоподачей может быть использована для организации повторного использования минерализованных вод для орошения. При этой стратегии дренажные воды как бы “отсекаются”, изолируются от воды хорошего качества и повторно используются при поливе солеустойчивых культур в едином проекте. В конечном счете, объемы использования вторичных дренажных вод без смешивания с водой хорошего качества существенно сокращаются.

Заключение

О возможности применения циклического способа орошения говорят следующие факты:

- Формирования горизонта солевого максимума в корнеобитаемом слое почвы в результате продолжительного использования дренажных вод можно избежать, если дренажные воды использовать периодически.
- При орошении солеустойчивых культур дренажными водами отмечается существенное уменьшение засоленности, если в период возделывания на тех же почвах, чувствительных к засоленности культур, они орошаются водой высокого качества.
- Предпосевные поливы и тщательная организация орошения в период появления всходов способствуют вымыванию солей из поверхностного слоя почвы.
- Данные полевых опытов подтверждают обоснованность стратегии “циклического” повторного использования дренажных вод для орошения. Эта стратегия осуществима, если минерализованная вода не содержит потенциально токсичных веществ типа бора, которые труднее, чем другие соли, поддаются выщелачиванию.



Table 4. Yields of crops in block rotation, crop/year

Таблица 4. Урожайность сельскохозяйственных культур в блочном севообороте, Культура/год

Treatment ¹ Вариант орошения	Cotton/1982 ² Хлопок/1982 ²	Cotton/1983 ³ Хлопок/1983 ³	Wheat/1984 ³ Пшеница/1984 ³	Alfalfa/1985 ⁴ Люцерна/1985 ⁴
C	2.62 (.07) ⁵	2.06 (.10)	3.43 (.06)	7.8 (0.4)
C	2,62 (0,07) ⁵	2,06 (0,10)	3,43 (0,06)	7,8 (0,4)
cA	2.65 (.06)	2.00 (.06)	3.43 (.06)	7.0 (0.5)
cA	2,65 (0,06)	2,00 (0,06)	3,43 (0,06)	7,0 (0,5)
A	2.76 (.04)	1.32 (.05)	3.41 (.05)	7.4 (0.3)
A	2,76 (0,04)	1,32 (0,05)	3,41 (0,05)	7,4 (0,3)

1. C = Colorado River water used solely for irrigation; A = Alamo River water used solely for irrigation; cA = Alamo River water used for irrigation after seedling establishment with Colorado River water for cotton. Wheat and alfalfa irrigated only with Colorado River water.
2. Commercial yield or lint, bales per acre.
3. Tons of grain per acre.
4. Tons of dry hay per acre.
5. Value within () is standard error of mean.

1. C – вода реки Колорадо, используемая для орошения; A – вода реки Аламо, используемая для орошения после появления всходов хлопчатника. Пшеница и люцерна поливались только водой реки Колорадо.
2. Урожайность с одного поля.
3. Тонн зерна/акр.
4. Тонн сухого сена/акр.
5. Число в скобках – стандартная ошибка среднего.

because salinity was excessively high in the seedbed during the establishment period. No loss in yield of wheat grain or alfalfa hay occurred in the block rotation associated with the previous use of water from the Alamo River; these lands were in the same condition that they had been when they were irrigated with Colorado River water.

Crops grown on land irrigated with drainage water were never inferior and were often of superior quality. This was also true for crops grown on land where drainage water had previously been used. Supporting data on crop quality can be found in reference 11.

When the recommended strategy was employed, salinity and sodicity levels were kept within acceptable limits for seedling establishment and the subsequent growth of the crops grown in the rotation. Data on soil salinity and sodicity can be found in reference 12.

Summary

Murrieta Farms

If large quantities of saline water are used from the shallow ground water, then maintenance of the soil salinity profile becomes a vital part of the required management. Preplant irrigation in fallow periods or leaching from rainfall can be used to keep the salinity levels in the surface soils low enough so that germination will not be affected. Saline drainage water can be used for crop irrigation after stand establishment.

Broadview Water District

Although drainage water reuse is a viable option in a number of situations, this practice was abandoned for nearly 3 decades due to severe impacts on cropping patterns. In the case of the BWD, drain water reuse involved blending saline drainage water with nonsaline canal water to irrigate all crops grown.

If good-quality water had been used only for salt-sensitive crops and germination of all crops—with saline water used only on salt-tolerant crops—it might have been possible to sustain drainage water reuse longer. When this alternative reuse strategy was appraised, the BWD responded that the conveyance system for this 4,000-ha district would have to be extensively modified to practice cyclic use of drainage waters.

Imperial Irrigation District

The results obtained in this field experiment under actual farming conditions support the credibility of the cyclic crop and water management strategy to facilitate the use of saline water for irrigation. In this strategy, the drainage water is intercepted, isolated from the good-quality water, and reused for the irrigation of suitably salt-tolerant crops in the same project. Ultimately, a greatly reduced volume of secondary drainage water is disposed of in some manner other than blending.



Литература

1. Айарс, Дж.Е. и Р.А. Шонеман. 1986. Использование засоленных вод из поверхностных горизонтов растениями хлопка. Трансакции американского общества сельскохозяйственных инженеров (АОСИ), 29(6):1674-1678.
2. Дикей, ГЛ. и Г.Х. Стоун. 1972. Исследования Мендоты-Густина, Графства Фресно и Мерсед, Калифорния. МСХ США, Служба охраны почв, Дэвис, Калифорния.
3. Граймс, Д.В. и Д.В. Хендерсон. 1984. Развитие потенциала ресурсов низкозалегающих грунтовых вод. Завершающий отчет Калифорнийскому центру водных ресурсов. Проект OWRT В-216-Cal, Университет Калифорнии, Дэвис, Калифорния.
4. Граймс, Д.В. и Х. Ямада. 1982. Взаимоотношение роста и урожая хлопка и минимального водного потенциала листа. Растениеводство, 22(1)134- 139.
5. Хэнсон, Б.Р. и С.В. Кайт. 1984. Расписание орошения при высоком уровне засоленных грунтовых вод. Трансакции американского общества сельскохозяйственных инженеров, 27(5): 1430-1434.
6. Хатмакер, Р.Б., Дж.Е. Айарс, С.С. Вэйл, Р.А. Шонеман и Л. Маркез. 1987. Использование воды с/х культурами из низкозалегающих грунтовых вод: измерения в малых лизиметрах. Ежегодный отчет исследовательской лаборатории менеджмента воды. Фресно, Калифорния.
7. Идсо, С.Б., Р.Дж. Регинато и С.М. Фарах. 1982. Водный стресс в растениях, вызванный недостатком почвенной и атмосферной влаги, определяемый по температуре листьев. 28:1143.
8. Маас, Е.В. и Г.Дж. Хоффман. 1977. Устойчивость с/х культур к засолению – современная оценка. Журнал инженерии, ирригации и дренажа АОГИ, 103 (IR2):115-134.
9. Рoadс, Дж. Д. 1984. Новая стратегия использования засоленных вод для ирригации. Протоколы специализированной конференции по ирригации и дренажу АОГИ, “Вода – сегодня и завтра”, июль 24 - 26, 1984, Флагстафф, Аризона, с.231-236.
10. Рoadс, Дж. Д. 1984. Вторичное использование засоленных дренажных вод для ирригации: стратегия уменьшения засоления рек. В книге Р.Х. Френч (издатель) “Засоленность Каналов и Резервуаров”, гл. 43, с. 455-464. Баттерворс Паблицинг, Стонехам, Массачусетс.
11. Рoadс, Дж. Д., Ф.Т. Бингхам, Дж. Летей, П.Й. Пинтер, Мл., Р.Д. Ле Мерт, В.Дж. Алвес, Г.Дж. Хоффман, Дж. А. Реплогл, Р.В. Свейн и П.Г. Пачеко. 1988а. Вторичное использование дренажных вод для ирригации. Результаты исследований в Имперской долине. I. Гипотеза, экспериментальные процедуры и результаты по с/х культурам. Хильгардия. 56:1-16.
12. Рoadс, Дж. Д., Ф.Т. Бингхам, Дж. Летей, П.Й. Пинтер, Мл., Р.Д. Ле Мерт, В.Дж. Алвес, Г.Дж. Хоффман, Дж. А. Реплогл, Р.В. Свейн и П.Г. Пачеко. 1988б. Вторичное использование дренажных вод для ирригации. Результаты исследований в Имперской долине. II. Засоление почвы и водный баланс. Хильгардия. 56:17-44.
13. Танджи, К.К. 1981. Изучение возвратных ирригационных вод в Калифорнии. Журнал инженерии ирригации и дренажа АОГИ, 107 (IR2):209-220.
14. Танджи, К.К., Дж.В. Биггар, Г.Л. Хоумер, Р.Дж. Миллер и В.О. Пруитт. 1977. Менеджмент сбросных Ирригационных вод. 1975-76. Ежегодный отчет агентству по защите окружающей среды США, Статья 4011 по водной науке и инженерии, Университет Калифорнии, Дэвис; Калифорния, 199 страниц.
15. Танджи, К.К., Дж.В. Биггар, Г.Л. Хоумер, Р.Дж. Миллер и В.О. Пруитт. 1977. Менеджмент сбросных ирригационных вод. 1975-76. Ежегодный отчет агентству по защите окружающей среды США, статья 4015 по водной науке и инженерии, Университет Калифорнии, Дэвис; Калифорния, 245 с.
16. Танджи, К.К., М.М. Игбал, А.Ф. Квек и др. 1977. Варьирование возвратных стоков поверхностной ирригации. Сельское хозяйство Калифорнии 31(5):30-31.
17. Баллендер, В.В., Д.В. Граймс., Д.В. Хендерсон и Л.К. Стромберг. 1979. Оценка вклада поверхностных грунтовых вод в сезонную эвапограснипарадщю хлопка. Агрономический журнал 71(6):1056-1060.



Overview

The feasibility of the cyclic strategy is supported by the following:

- The maximum soil salinity in the root zone resulting from continuous use of drainage water will not occur when the water is used part of the time;
- Substantial alleviation of salt buildup resulting from irrigation of salt-tolerant crops with drainage water will occur during the time salt-sensitive crops are irrigated with better quality waters;
- Proper preplant irrigation and careful irrigation management during germination and seedling establishment will cause salts to leach out of the seed area and from shallow soil depths; and
- Data obtained in field experiments to date support the credibility of this “cyclic” reuse strategy. This strategy is feasible providing the saline water does not contain potentially toxic elements, such as boron, which are not as easily leached and controlled as are other salts.

References

1. Ayars, J.E. and R.A. Schoneman. 1986. Use of saline water from shallow water table by cotton. *Transactions of the ASAE*, 29(6):1674-1678.
2. Dickey, G.L., and G.H. Stone. 1972. *Mendota-Gustine Study, Fresno and Merced Counties, California*. USDA, Soil Conservation Service, Davis, CA. 85 pages.
3. Grimes, D.W. and D.W. Henderson. 1984. Developing the resource potential of a shallow water table. Completion Report to California Water Resources Center. OWRT Project B-216-Cal, Univ. of California, Davis, CA.
4. Grimes, D.W. and H. Yamada. 1982. Relations of cotton growth and yield to minimum leaf water potential. *Crop Sci.* 22(1):134-139.
5. Hanson, B.R. and S.W. Kite. 1984. Irrigation scheduling under saline high water tables. *Transactions of the ASAE*, 27(5):1430-1434.
6. Hutmacher, R.B., J.E. Ayars, S.S. Vail, R.A. Schoneman, and L. Marquez. 1987. Crop water use from shallow ground water: measurements in small weighing lysimeters. *Water Management Research Laboratory Annual Report*, 15-16. Fresno, CA.
7. Idso, S.B., R.J. Reginato, and S.M. Farah. 1982. Soil and atmosphere-induced plant water stress in cotton as inferred from foliage temperature. *Water Resources Research* 28:1143.
8. Maas, E.V. and G.J. Hoffman. 1977. Crop salt tolerance-current assessment. *J.Irrig. and Drainage Div., ASCE*, 103(IR2):115-134.
9. Rhoades, J.D. 1984. New strategy for using saline waters for irrigation. *Proc., ASCE Irrigation and Drainage Speciality Conf., Water—Today and Tomorrow*, July 24-26, 1984, Flagstaff, AZ. pp. 231-236.
10. Rhoades, J.D. 1984. Reusing saline drainage waters for irrigation: a strategy to reduce salt loading of rivers. In: R.H. French (ed.) “Salinity in Watercourses and Reservoirs,” Chap. 43, p. 455-464. Butterworth Publ., Stoneham, MA.
11. Rhoades, J.D., F.T. Bingham, J. Letey, A.R. Dedrick, M. Bean, G.J. Hoffman, W.J. Alves, R.V. Swain, P.G. Pacheco, and R.D. LeMert. 1988a. Reuse of drainage water for irrigation. Results of Imperial Valley Study. I. Hypothesis, experimental procedures and cropping results. *Hilgardia*. 56:1-16.
12. Rhoades, J.D., F.T. Bingham, J. Letey, P.J. Pinter, Jr., R.D. LeMert, W.J. Alves, G.J. Hoffman, J.A. Replogle, R.V. Swain, and P.G. Pacheco. 1988b. Reuse of drainage water for irrigation: results of Imperial Valley Study. II. Soil salinity and water balance. *Hilgardia*. 56: 17-44.
13. Tanji, K.K. 1981. California Irrigation Return Flow Studies. *ASCE Journal of Irrigation and Drainage Division* 107(IR2):209-220.
14. Tanji, K.K., J.W. Biggar, G.L. Homer, R.J. Miller, and W.O. Pruitt. 1976. *Irrigation Tailwater Management, 1975-76. Annual Report to U.S. Environmental Protection Agency, Water Science and Engineering Paper 4011*, University of California, Davis, CA, 199 pages.
15. Tanji, K.K., J.W. Biggar, G.L. Homer, R.J. Miller, and W.O. Pruitt. 1977. *Irrigation Tailwater Management, 1976-77. Annual Report to U.S. Environmental Protection Agency, Water Science and Engineering Paper 4014*, University of California, Davis, CA, 245 pages.
16. Tanji, K.K., M.M. Iqbal, A.F. Quek, et al. 1977. Surface Irrigation Return Flows Vary. *California Agriculture* 31(5):30-31.
17. Wallender, W.W., D.W. Grimes, D.W. Henderson, and L.K. Stromberg. 1979. Estimating the contribution of a perched water table to the seasonal evapotranspiration of cotton. *Agronomy Journal* 71(6):1056-1060.

Management of Organic Waste

Утилизация органических ОТХОДОВ

Management of Organic Waste

James N. Krider and Rufus L. Chaney

Abstract

Managing organic waste is a significant and growing challenge in the United States. Efforts are being made to recycle waste constituents through the soil-plant system in addition to using commercial fertilizer more efficiently and producing better crops. Through agricultural research and technology, the Natural Resources Conservation Service (NRCS) has found that effective use of organic waste benefits farmers financially and allows them to keep environmental stewardship as a leading priority.

But there are some concerns. For example, having more animals on fewer and smaller farms increases the potential for ground and surface water pollution. And there is concern about using municipal sewage sludge on cropland. Here, the focus has been on heavy metals in sludges and how they affect plant and animal health. Many of these concerns have been resolved through research that has defined a No Observed Adverse Effect Level (NOAEL). NOAEL sludge is low risk, making it good for application on agricultural land. New methods to assess the risks of sludge use have also helped resolve problems. Despite the risks, research and technology have shown that the use of organic waste can be beneficial.

Introduction

Among farmers in the United States, the objective of organic waste management is to use waste beneficially within Federal and State environmental guidelines. Organic material used on farms may originate on the farm or be brought from other sources to the farm. Livestock manure is an example of the former. Municipal sewage sludge is an example of the latter; here, the waste is usually used as a crop nutrient or to condition the soil. Common outside sources of organic waste are livestock operations and municipal sewage treatment facilities.

Livestock and livestock waste

Information on livestock operations can be found in the 1992 Census of Agriculture (10).¹ The Census provides data on land use and the number of animals by type and on how many farms they reside. Census data are gathered approximately every 5 years, allowing us to study trends.

¹ Underlined numbers in parentheses cite sources listed in the References section at the end of this article.

Table 1 provides a sample of the type of data available from the Census.

Data for 1978 to 1992 show a trend toward fewer farms with larger animal populations. This is especially true for poultry. In that time, the number of chickens for egg production and broilers per farm increased by approximately 170 percent each, while the number of farms producing chickens and broilers declined by 63 and 46 percent, respectively. Most of the waste produced by these operations is recycled through the soil-plant system. However, because livestock in many places is being concentrated on fewer locations, there may be more waste material produced than the available cropland needs. Consequently, other uses must be found for the waste.

The total livestock and poultry waste produced each year in the United States is estimated to have a net weight of nearly 1.25 billion metric tons. This amount of manure would provide enough nitrogen to fertilize approximately 60 million hectares (ha) with 100 kilograms (kg) of nitrogen (N).

Table 2 shows typical amounts of various constituents found in U.S. livestock and poultry wastes (9). These values vary from one operation to another according to the ration fed.

Municipal sludge

Scientific research conducted since 1970 to assess the benefits and risks of using municipal sewage sludge on cropland shows that a NOAEL-quality sludge is low risk. Adsorption of metals and organics in sludge at adsorption sites accounts for the fact that equal amounts of metals or organics can be applied in NOAEL sludge without adverse effects, whereas adding pure chemicals to soils could cause problems. Table 3 shows typical median concentrations of metals and some organics in sludge in the United States (3, 4).

Laws and regulations

The Federal Water Pollution Control Act of 1972 (Public Law 92-500), sometimes called the Clean Water Act (CWA), along with subsequent amendments, establishes goals for the chemical, physical, and biological quality of water in the United States. The Environmental Protection Agency (EPA) establishes water quality criteria needed to enforce national legislation. Regulations that specifically address livestock waste are covered under provisions of the National Pollutant Discharge Elimination System (NPDES)—a permission



Утилизация органических отходов

Джеймс Н.Кридер и Руфус Л.Чейни

Резюме

Утилизация органических отходов является важной проблемой, значение которой в Соединенных Штатах все более возрастает. В настоящее время, наряду с более эффективным использованием химических удобрений и повышением урожайности культур, предпринимаются усилия по включению компонентов органических отходов в круговорот веществ в системе почва – растение. Исследования, проведенные Службой охраны природных ресурсов (СОПР), показали, что эффективное использование органических отходов является экономически выгодным для фермеров и позволяет уделять необходимое внимание защите окружающей среды.

Однако здесь имеются некоторые проблемы. Например, рост поголовья скота на фоне уменьшения количества и увеличения размеров животноводческих ферм увеличивает потенциальную опасность загрязнения грунтовых вод. Проявляется также озабоченность по поводу использования отходов городской канализации для удобрения сельскохозяйственных угодий – главным образом, в связи с содержанием в осадках тяжелых металлов и воздействием последних на развитие растений и здоровье животных. Многие из этих проблем были решены в результате исследований, которые позволили определить показатель ориентировочного безопасного уровня воздействия – ОБУВ. Отходы канализации, состав которых соответствует ОБУВ, не представляют большой опасности и пригодны для удобрения полей. Новые методы оценки риска при использовании этих отходов также помогли решить проблемы. Несмотря на риск, наука и практика показали, что использование органических отходов может быть выгодным.

Введение

Для фермеров Соединенных Штатов цель утилизации органических отходов состоит в том, чтобы их использование было выгодным и соответствовало федеральным законам и законодательствам штатов по охране окружающей среды. Органический материал, применяемый на фермах, либо имеет местное происхождение, либо завозится из других источников. Примером первого служит навоз, а последнего –

отходы городской канализации, которые обычно используются для подкормки растений или для улучшения состояния почвы. Типичными внешними источниками органических отходов являются животноводческие хозяйства и очистные сооружения городской канализации.

Домашний скот и отходы животноводства

Информация о животноводческих хозяйствах содержится в Сельскохозяйственной переписи 1992 года [10]. В переписи представлены данные об использовании земель, количестве скота по видам и количестве животноводческих ферм. Данные переписи публикуются примерно раз в пять лет, что позволяет проследить тенденции. Таблица 1 дает представление о том, какие данные можно почерпнуть в переписи.

Данные за период с 1978 по 1992 гг. указывают на тенденцию сокращения количества ферм при одновременном увеличении поголовья скота на одну ферму. В первую очередь это касается птицеводства. За рассматриваемый период количество кур-несушек и бройлеров в расчете на одну ферму увеличилось примерно на 170% для обоих видов птицы, в то время как количество ферм снизилось соответственно на 63% и 46%. Большая часть помета в этих хозяйствах была утилизирована через систему почва – растение. Однако, поскольку во многих местах скот содержится на ограниченных площадях, количество отходов может превышать потребности в них на имеющихся в распоряжении фермеров сельскохозяйственных угодьях. Следовательно, должны быть найдены другие виды использования этих отходов.

Общее количество отходов, ежегодно производимых на животноводческих и птицеводческих хозяйствах США, оценивается в 1,25 млрд. тонн. Такого количества навоза достаточно, чтобы обеспечить азотом приблизительно 60 млн. га при норме 100 кг азота на 1 га.

В таблице 2 приведен типичный химический состав навоза скота и птицы на фермах США.[9] Эти показатели различны на разных фермах в зависимости от рациона кормления животных.



Table 1. Livestock and poultry—1992 compared to 1978
 Таблица 1. Скотоводство и птицеводство 1992 г. в сравнении с 1978 г.

Item Наименование	Number of farms/ % change Количество ферм/ % изменения, (тыс.)	Number of animals (thousands) Поголовье, (тыс.)	Number per farm/ % change Поголовье на 1 ферму/% изменения, (тыс.)
Poultry / Птицеводство			
Chickens 3 months old or older Цыплята возрастом 3 и более месяцев	88 / (-)63%	351,310	3,992 / (+)171%
Broilers and other meat-type chickens Бройлеры и другие цыплята мясного типа	29 / (-)46%	888,617	30,642 / (+)167%
Turkeys Индейки	14 / (-)26%	87,612	6,364 / (+)234%
	14 / (-)26%	87612	6364 / (+)234%
Livestock / Скотоводство			
Cattle and calves Крупный рогатый скот	1074 / (-)20%	96,136	89 / (+)15
Beef Мясной	803 / (-)16%	32,546	41 / (+)13%
Dairy Молочный	155 / (-)50%	9,492	61 / (+)84%
Hogs and pigs Свиньи	191 / (-)57%	57,563	301 / (+)131%
Sheep and lambs Овцы	81 / (-)11%	10,770	133 / (-)1%

process that includes regulation of pollutant discharge from concentrated animal feeding operations. In most cases, States enforce the provisions of NPDES through authority delegated to them by EPA. This recognizes the States' rights and puts the granting of permission closer to the actual operations.

As sludge may be rich in metal and organic contaminants and pathogens, it is generally agreed that using sewage sludge on agricultural land requires regulation. However, this does not mean that sludge cannot be a valuable resource. Sludge use in the United States became regulated in 1979 (11). This regulation dealt with pathogen reduction, soil pH control, and agricultural land applications of cadmium and polychlorinated biphenyls (PCB's). CWA amendments required EPA to develop a complete set of regulations that protect different segments of the environment equally. During the past decade, methods were identified to assess the risk of sludge-applied contaminant transfer in the food chain. These

methods were reduced to the 12 fundamental pathways for risk assessment shown in table 4 (3, 4). These pathways are an effective approach to assessing risk of contaminant transfer to humans, livestock, and wildlife.

The constituents of organic waste

Organic waste holds a variety of chemical and biological constituents.

These include:

- the biodegradable organic fraction that, when in water, causes a demand for oxygen;
- nitrogen which should be limited to applications for crop production while protecting humans and fish;
- phosphorus that can affect the viability of bodies of water through eutrophication;



Городские отходы

Научные исследования, проводящиеся с 1970 года с целью определения выгоды от использования отходов городских канализаций в качестве удобрения и связанного с этим риска, показывают, что отходы, состав которых удовлетворяет ОБУВ, не представляют большой опасности для окружающей среды.

Адсорбция металлов и органических веществ в осадках сточных вод в отстойниках позволяет применять городские отходы и избежать при этом вредных эффектов, в то время как внесение в почву химических удобрений в чистом виде может вызвать определенные проблемы. В табл.3 показаны типичные средние концентрации металлов и некоторых органических веществ в городских отходах в США [3,4].

Законы и правила

Федеральный закон о контроле загрязнения водной среды 1972 г. (“Публичный закон” 92-500), иногда называемый “Актом чистой воды”, и последующие поправки к нему устанавливают цели в отношении химического, физического и биологического качества воды в Соединенных Штатах. Агентство по защите окружающей среды (АЗОС) устанавливает критерии качества воды, соответствующие национальному законодательству. Правила, касающиеся конкретно отходов животноводства, изложены в положениях Национальной системы прекращения выброса загрязнений (НСПВЗ) – системы предписаний, которая определяет порядок удаления отходов с предприятий концентрированного содержания скота. В большинстве случаев власти штатов проводят в жизнь положения НСПВЗ через полномочия, делегированные им агентством по защите окружающей среды. АЗОС признаёт права штатов, приближая таким образом разрешительный процесс непосредственно к предприятиям.

Поскольку городские отходы могут содержать большие количества металлов, органических загрязнителей и патогенных микроорганизмов, повсеместно признано, что необходим определенный порядок использования этих отходов на сельскохозяйственных угодьях. Это, однако, не означает, что отходы не могут быть ценным ресурсом. Государственный контроль за использованием городских отходов в Соединенных Штатах был установлен в 1979 г. [11]. В правилах оговаривались вопросы снижения содержания патогенов, регулирования кислотности почв, внесения в почву кадмия и полихлорных бифенолов. Поправки к “Акту чистой воды” требовали от АЗОС разработки полного набора правил, которые бы в одинаковой мере защищали различные сферы окружающей среды. В

течение последнего десятилетия были разработаны методы оценки опасности передачи загрязняющих веществ, поступающих в почву с городскими отходами, по “продовольственной цепочке”. Эти методы были сведены к 12 основным способам оценки риска, показанным в табл. 4 [3,4]. Эти способы являются эффективным механизмом оценки риска передачи вредных веществ людям, домашним и диким животным.

Состав органических отходов

Органические отходы содержат разнообразные химические и биологические компоненты, к которым относятся:

- способная к биохимическому разложению органическая фракция, которая при попадании в водную среду окисляется, создавая биологическую потребность в кислороде;
- азот, применение которого должно быть ограничено нуждами растениеводства, одновременно не допуская вреда человеку и рыбным ресурсам;
- фосфор, который может влиять на жизнеспособность водоемов путем эвтрофикации;
- бактерии и патогенные микроорганизмы, содержащиеся в навозе и канализационных отходах, непосредственно связаны с проблемами здоровья людей;
- тяжелые металлы, такие как медь, цинк, кадмий и другие, потенциально токсичные для людей и животных (табл. 3).

Озабоченность общественности по поводу фитотоксичности тяжелых металлов, токсичности “продовольственных цепочек” или токсичности по отношению к животным способствовала проведению интенсивных исследований и разработке регулирующих положений во многих странах. Краткое изложение результатов исследований приводится в табл. 5.

Преимущества использования органических отходов.

Использование органических отходов на полях является очень важным, поскольку органический азот в меньшей степени, чем азот минеральных удобрений, загрязняет грунтовые воды. Ценным компонентом органических отходов является также фосфор. В некоторых щелочных почвах, испытывающих дефицит железа, городские отходы представляют собой чрезвычайно эффективное железистое удобрение, которое не могут заменить никакие удобрения промышленного производства.



Table 2. Characteristics of livestock and poultry waste as excreted
 Таблица 2. Характеристика экскрементов домашнего скота и птицы

Component	Units	Dairy-lactat. cow	Beef feeder, 750-1,100 lb		Swine grower 40-220lb	Chickens	
Компоненты	Единицы измерения	Молочные дойные коровы	Мясные породы 750-1100 фунтов		Свиньи 40-220 фунтов	Цыплята	
			High forage diet	High energy diet		Layer	Broiler
			высоко объемная диета	высоко калорийная диета		Несушки	Бройлеры
Cattle / Крупный рогатый скот							
Weight	lb/d/1,000*	80.00	59.10	51.20	63.40	60.50	80.00
Вес	фунт/день/1000*	80,00	59,10	51,20	63,40	60,50	80,00
Volume	ft ³ /d/1,000**	1.30	0.95	0.82	1.00	0.93	1.26
Объем	фут ³ /день/1000**	1,30	0,95	0,82	1,00	0,93	1,26
Moisture	%	87.50	88.40	88.40	90.00	75.00	75.00
Влажность	%	87,50	88,40	88,40	90,00	75,00	75,00
Total solids	% w.b.+	12.50	11.60	10.00	25.00	25.00	25.00
	lb/d/1,000	10.00	6.78	5.91	6.34	15.10	20.00
Взвешенные вещества +	% сыр.вещ..+	12,50	11,60	10,00	25,00	25,00	25,00
	фунт/день/1000	10,00	6,78	5,91	6,34	15,10	20,00
Volatile solids	lb/d/1,000	8.50	6.04	5.44	5.40	10.80	15.00
Летучие компоненты	фунт/день/1000	8,50	6,04	5,44	5,40	10,80	15,00
Fixed solids	lb/d/1,000	1.50	0.74	0.47	0.94	4.30	5.00
Твердые компоненты	фунт/день/1000	1,50	0,74	0,47	0,94	4,30	5,00
Chemical oxygen demand	lb/d/1,000	8.90	6.11	5.61	6.06	13.70	19.00
ХПК (химическая потребность в кислороде)	фунт/день/1000	8,90	6,11	5,61	6,06	13,70	19,00
5-Day biological oxygen demand	lb/d/1,000	1.60	1.36	1.36	2.08	3.70	5.10
БПК ₅ (биохимическая потребность в кислороде за 5 дней)	фунт/день/1000	1,60	1,36	1,36	2,08	3,70	5,10
Nitrogen	lb/d/1,000	0.45	0.31	0.30	0.42	0.83	1.10
Азот	фунт/день/1000	0,45	0,31	0,30	0,42	0,83	1,10
Phosphorus	lb/d/1,000	0.07	0.11	0.09	0.16	0.31	0.34
Фосфор	фунт/день/1000	0,07	0,11	0,09	0,16	0,31	0,34
Potassium	lb/d/a,000	0.26	0.24	0.21	0.22	0.34	0.46
Калий	фунт/день/1000	0,26	0,24	0,21	0,22	0,34	0,46

* Pounds per day per 1,000 pounds of animal (1 Pound = 0.454Kg = Kg/day/100 Kg of animal).

** Cubic feet per day per 1,000 pounds of animal (1 cu ft = 28.3L).

+ Percent, wet basis.

* Фунты в день на 1000 фунтов веса животного (1 фунт = 0,454 кг = кг/день/100 кг живого веса).

** Кубический фут в день на 1000 фунтов веса животного (1 куб фут = 28,3 л).

+ % на сырое вещество.



В почвах часто наблюдается дефицит цинка и меди, особенно на старопахотных землях. Городские отходы и отходы животноводства являются лучшим источником цинка и меди, чем минеральные удобрения.

Поскольку во многих местах, в целях сокращения транспортных расходов, для обезвоживания городских отходов используется гашеная известь, в отходах часто содержится достаточное количество извести или ее эквивалента, что позволяет фермерам экономить средства. Для предотвращения внесения избыточного количества азота, объем внесения органических остатков с очистных сооружений или животноводческих ферм должен быть ограничен. Применение избыточного количества органического азота может привести к просачиванию нитратов в грунтовые воды. По этой причине применение азота должно строго соответствовать потребностям растений.

Система утилизации отходов на фермах

Организация системы утилизации органических отходов на фермах включает ряд последовательных операций. Эти функции – производство, сбор, хранение, обработка, транспортировка и использование – связаны с выполнением мероприятий по охране почвенных и водных ресурсов [9]. Мероприятия эти направлены на защиту всех природных ресурсов и окружающей среды. Чтобы быть эффективной, система утилизации отходов на фермах должна быть интегрирована в общую систему управления ресурсами в масштабе фермы.

Рациональное управление – ключевой элемент бесперебойного и экономичного функционирования системы утилизации отходов. Фермеру необходимо знать, как протекают совместно все эти различные процессы и как связаны между собой системы управления ресурсами. Например, фермер должен понимать, как органические отходы могут быть включены в программу управления плодородием почв на ферме и как это вписывается в график почвообработки и посевных работ.

Важной частью всех систем управления является количество воды и периодичность ее поступления – как с атмосферными осадками, так и при орошении. Именно количественные характеристики водоподдачи – объем и скорость – определяют транспортировку качественных составляющих воды. Таким образом, для эффективной программы утилизации отходов важно уметь правильно управлять водными ресурсами. Существуют сезонные различия в характеристиках

поверхностных водостоков и инфильтрационных процессах в почве. Зная особенности водного баланса территории, фермер может планировать сроки внесения в почву органических веществ с целью оптимизации задержания веществ, которые могут загрязнять поверхностные или грунтовые воды.

Критерии качества

Критерии для многих технологий сохранения почвенных и водных ресурсов содержатся в специальных стандартах, используемых агентствами технической помощи [8]. Имеются стандарты по управлению отходами, прудам-отстойникам и очистным сооружениям; лагунам по обработке отходов; управлению стоками; утилизации отходов; использованию питательных веществ; фильтрующим растительным полосам и установкам для компостирования. Для обеспечения надежной защиты всех других природных ресурсов используются и другие стандарты, в частности, стандарты по борьбе с эрозией почв, обработке почв, управлению орошением и растениеводству.

Обсуждение и заключение

В некоторых районах увеличение поголовья скота и концентрация его при уменьшении количества животноводческих ферм создает дисбаланс между количеством навоза и размером площадей, на которых он может быть использован. Фермер, имеющий избыток навоза, может применять повышенные дозы органических удобрений на своей ферме (что может привести к загрязнению окружающей среды); передать избыточное количество навоза на соседние фермы; продать навоз владельцам приусадебных участков, либо структурировать навоз с помощью аэробных процессов для длительного хранения.

С ростом поголовья скота и возрастанием требований к чистоте воды появятся новые технологии обработки и утилизации отходов животноводства. Некоторые из этих технологий снижают концентрацию отходов путем создания полей фильтрации; другие методы структурируют навоз быстрее и экономичнее. Существует практика смешивания органических отходов городов и ферм в интегрированном процессе переработки.

Применение городских отходов на фермах связано с потенциальной угрозой здоровью человека и чистоте окружающей среды, что объясняет осторожный подход к их использованию. Исследования ведутся по многим вызывающим озабоченность вопросам, в частности, как тяжелые металлы и органические



Table 3. Concentrations of selected trace elements in dry digested sewage sludges,¹ NOAEL sludge limits, and limiting pathway^(3, 4)

Element	Historical range		1990 median sludge	"Maximum domestic sludge"	NOAEL sludge limits	Limiting pathway
	Min.	Max.				
Arsenic, ppm	1.1	230	6	—	100 ²	2F Sludge ingestion
Cadmium	1	3,410	7	25	18	1F Garden foods
Cadmium/Zinc	0.1	110	0.8	1.5	1.5	—
Cobalt	11.3	2,490	—	200	—	Not regulated
Copper	84	17,000	463	1,000	1,200	7 Phytotoxicity
Chromium	10	99,000	40	1,000	3,000 ^{2,3}	12 Ground water
Fluoride	80	33,500	260	1,000	—	—
Iron	0.1	15.4	1.7	4	—	—
Mercury	0.6	56	4	10	15 ⁴	4 Sludge ingestion
Manganese	32	9,870	260	—	—	—
Molybdenum	0.1	214	11	25	35 ⁵	5 Livestock feed
Nickel	2.0	5,300	29	200	500	7 Phytotoxicity
Lead	13	26,000	106	1,000	300	2F Sludge ingestion
Tin	2.6	329	14	—	—	—
Selenium	1.7	17.2	5	—	32	5 Livestock feed
Zinc	101	49,000	725	2,500	2,800	7 Phytotoxicity
Polychlorinated biphenyls (PCB), ppm	<1	1,000	0.21	10	2.13	4S Sludge ingestion

1. Composting using wood chips as a bulking agent generally produces composted sludge 50 percent as high in trace elements as a digested sludge from the same treatment plant.
2. Adjusted downward for pretreatment considerations.

3. No adverse effects reported for any Cr³⁺ level in municipal sludge.
4. Molybdenum limit raised because Molybdenum slowly leaches from alkaline soils.

- bacteria and pathogens, associated with livestock manure and municipal sludge, have a direct link to human health problems; and
- heavy metals, such as copper, zinc, cadmium, and others that are potentially toxic to humans and livestock. (See table 3.)

Public concern about heavy metal phytotoxicity, food chain toxicity, or toxicity to livestock has led to extensive research and to development of regulations in many nations. Table 5 provides a brief synopsis of findings.

The benefits of using organic waste

Use of organic waste on agricultural land is important (photo 8-1). Organic nitrogen is less likely to cause ground water pollution than chemical nitrogen fertilizers. The phosphorus in organic waste is also valuable. In some iron-deficient calcareous soils, municipal sludge is a remarkably beneficial iron fertilizer that cannot be replaced with any regular commercial fertilizer.

Zinc and copper are often deficient or become deficient in soil that has been used for many years to produce crops. Municipal sludge and some livestock waste is a better source of zinc and copper than metal fertilizer. Because hydrated



Таблица 3. Концентрации некоторых микроэлементов в сухих канализационных отходах¹, пределы ОБУВ и определяющие их пути оценки риска^(3,4)

Элемент	Исторически установленные пределы значений		1990 Среднее содержание	Максимальный уровень в навозе домашних животных	Пределы ОБУВ для осадка	Пути оценки риска, определяющие пределы ОБУВ ²
	мин.	макс.				
Мышьяк	1,1	230	6	—	100 ²	Попадание в организм при глотании осадка с пылью
Кадмий	1	3410	7	25	18	Продукция, выращенная на огороде
Кадмий/Цинк	0,1	110	0,8	1,5	1,5	—
Кобальт	11,3	2490	—	200	—	Правила не установлены
Медь	84	17000	463	1000	1200	Фитотоксичность
Хром	10	99000	40	1000	3000 ^{2,3}	—
Фтор	80	33500	260	1000	—	—
Железо	0,1	15,41	1,7	4	—	—
Ртуть	0,6	56	4	10	15	Попадание в организм при глотании осадка с пылью
Марганец	32	9870	260	—	—	—
Молибден	0,1	214	11	25	354	Грунтовые воды
Никель	2	5300	29	200	500	Попадание в организм при глотании осадка с пылью
Свинец	13	26000	106	1000	300	—
Олово	2,6	329	14	—	—	Корм скота
Селен	1,7	17,2	5	—	32	—
Цинк	101	49000	725	2500	2800	Фитотоксичность
ПХБ, мг/кг ¹ (полихлорбифенилы)	1	1000	0,21	10	2,13	Попадание в организм при глотании осадка с пылью

1. Компостирование с использованием деревянных щепок в качестве наполнителя обычно дает компост, который содержит в два раза меньше микроэлементов по сравнению с сухими перегнившими канализационными отходами с той же станции обработки сточных вод.

2. ОБУВ может быть понижен при условии необработанного осадка.

3. ОБУВ относится к содержанию в форме Cr⁺³.

4. Ограничения для Мо повышены в связи с медленным выносом молибдена из щелочных почв.

вещества в осадках влияют на почву, растения и животных. Некоторые сомнения, тем не менее, остаются, особенно в отношении зараженных осадков в выбросах промышленных предприятий в канализационные системы. Исследования показали, что особенности химических свойств почв и растений предохраняют животных от следов тяжелых металлов как в естественных почвах, так и в почвах, удобренных городскими отходами.

Некоторые металлы усваиваются растениями в минимальных количествах даже в том случае, если почва богата ими. К этим металлам относятся хром, свинец, олово и титан. Другие элементы, такие как цинк, медь и азот, могут ограничивать урожайность

растений из-за фитотоксичности. Однако концентрация металлов в кормовых культурах, страдающих от существенной фитотоксичности, недостаточна для того, чтобы нанести вред животным [6]. Только селен, молибден и кадмий не ограничены этими природными процессами до уровней, безопасных для использования в пищу или в качестве корма для скота. Сочетание цинковой фитотоксичности в чувствительных овощных культурах, таких как салат, когда содержание цинка в листьях превышает 500 мг/кг [1], и взаимодействия цинка и кадмия в кишечнике предотвращает заболевания от кадмия у людей, которые употребляют овощи в больших количествах. Безопасный уровень



lime is used in sludge dewatering at many locations to save sludge transport costs, some sludge has enough lime, or lime equivalent, to save farmers money. To prevent application of excessive nitrogen, organic material from municipal facilities or from livestock operations has to be restricted. Applying excessive amounts of organic nitrogen can result in undesirable nitrate leaching to ground water; therefore, nitrogen applications are limited to crop requirements.

Farm waste management system

Organizing a waste management system to deal with organic waste on a farm involves a series of individual functions (photo 8-2). These functions—production, collection, storage, treatment, transfer, and utilization—are carried out by implementing soil and water conservation practices (9). The practices are arranged to protect all resources and the environment. To be effective, agricultural waste management systems must be an integral part of a farm's overall resource management system.

Proper management is the key element in making a waste management system run smoothly and economically. The farmer needs to know how all the various activities flow together and how resource management systems are interrelated. For example, the farmer needs to understand how organic wastes can be integrated into the farm's nutrient management program and how this activity fits with tillage and planting schedules.

The amount of water and the frequency with which it occurs, whether as process-generated water or precipitation, is an important part of all management systems. It is the water quantity—volume and rate—that is the driving force behind the transport of water quality constituents. Consequently, it is essential to know how to manage water to have an effective waste management program. Water budgets show seasonal variations in runoff from the land and infiltration into the soil. With an understanding of water budgets, the farmer can schedule applications of organic material on the land to optimize retention of materials that could contaminate surface and ground water.

Quality criteria

Criteria for many of the soil and water conservation practices are contained in conservation practice standards used by technical assistance agencies (8). Some standards deal with waste management, waste storage ponds, and structures; waste treatment lagoons; roof runoff management; waste utilization; nutrient management; vegetated filter strips; and composting facilities. Many other standards are used to ensure that all the other associated resources are protected. They include standards for soil erosion control, tillage, irrigation water management, and plant sciences.

Discussion and conclusion

In some areas, increases in livestock and housing livestock on fewer, more concentrated feeding operations cause an imbalance between the amount of manure available and the land on which it can be spread. A farmer with too much manure may apply higher-than-necessary amounts of manure to the land (which could have a negative environmental effect); spread the excess manure on adjoining farms; sell the manure to home gardeners; or aerobically stabilize the manure for long-term storage.

As animal populations and demand for clean water grow, innovative techniques will be used to treat and manage livestock waste. Some of these techniques will reduce the strength of wastes through use of constructed wetlands (photo 8-3); other methods will stabilize manures more rapidly and economically. Yet other efforts will merge organic wastes from urban centers with those from agricultural areas for a more integrated recycling effort.

Using municipal sludge on farms raises questions of potentially serious health and environmental risks and has led to a cautious approach to using sludge on farmland. Research is addressing many of the concerns about how heavy metals and organics react in sludge on soils, plants, and animals. Some cautions remain, however, particularly regarding contaminated sludge in industrial discharges to sewage systems. Research has shown that soil and plant chemistry protects animals from trace elements in both natural soil and sludge-amended soil.

Some metals are only minimally absorbed by plants, even when soils are rich in elements such as chromium, lead, tin, and titanium. Other elements, such as zinc, copper, and nitrogen, may limit plant yields through phytotoxicity, but the concentration of metal in forage crops suffering from substantial phytotoxicity is not high enough to injure livestock (6). Only selenium, molybdenum, and cadmium are not limited by these natural processes to levels safe for use as food and livestock feed. The combination of zinc phytotoxicity to sensitive vegetable crops, such as lettuce, when foliar zinc exceeds about 500 milligrams per kilogram (mg/kg) (1) and the interaction of zinc and cadmium in the intestine, prevents cadmium injury to humans who consume high amounts of garden vegetables over their lifetime. The NOAEL sludge cadmium limit of 25 mg/kg dry weight protects humans, livestock, and wildlife.

Sludge chemical properties control the availability of sludge-applied metals more than soil properties do. For example, if soluble salts of the metals are added to soil, plant uptake is usually a linear response to the added metals. However, when low-cadmium sludge is applied, plant cadmium approaches a plateau with an increasing sludge application rate. At





Photo 8-1. The application of animal waste to cropland reduces fertilizer needs and helps improve water quality. (Tim McCabe photo)

Фото 8-1. Внесение навоза в почву сокращает потребность в удобрениях и помогает улучшить качество воды. (Фото Тима МакКейба)



Photo 8-3. In Alabama a constructed wetland is used to filter waste from a hog operation. (Tim McCabe photo)

Фото 8-3. В Алабаме создаются специальные поля фильтрации для обработки отходов свиноводческих ферм. (Фото Тима МакКейба)



Photo 8-2. In a cooperative effort to educate and inform all livestock and dairy producers, USDA is working with selected farmers to demonstrate safe and effective waste management practices. (Tim McCabe photo)

Фото 8-2. С целью обучения и информации всех фермеров-скотоводов, Министерство сельского хозяйства США кооперирует с отдельными фермерами для демонстрации безопасных и эффективных технологий утилизации отходов. (Фото Тима МакКейба)

воздействия для кадмия в городских отходах (ОБУВ) составляет 25 мг/кг, что обеспечивает защиту людей, домашних и диких животных.

Химические свойства городских отходов влияют на доступность содержащихся в них металлов в большей степени, чем свойства почв. Например, если растворимые соли металлов добавляются в почву, то потребление их растениями находится в линейной зависимости от внесенных металлов. Однако, если используются отходы с низким содержанием кадмия, количество кадмия в растениях достигает порогового уровня по мере увеличения объема удобрений. При рекомендуемом уровне pH увеличение содержания кадмия в растениях прекращается, когда норма внесения удобрений достигает 224 т/га. Отходы с высоким содержанием кадмия вообще не должны использоваться в сельском хозяйстве. Соответствующие фундаментальные исследования показывают, что высокий уровень содержания гидроксида железа в отходах может значительно усилить адсорбцию металлов. Сильная адсорбционная способность органических отходов к металлам позволяет управлять поступлением металлов в растения.

Люди являются ключевым звеном системы утилизации отходов. Они должны определять количество и сроки их внесения. Они должны понимать, как климатический фактор влияет на систему и как система сочетается с другими мероприятиями на ферме. И, конечно, они должны знать, как система утилизации отходов влияет на наши природные ресурсы.



Table 4. Pathways for risk assessment of potential transfer of sludge-applied trace contaminants to humans, livestock, or the environment, and the most exposed individual to be protected by regulation to be based on the pathway analysis^(3, 4, 12)

Index

	Pathway	Most Exposed Individual
1	Sludge→Soil→Plant→Human	General food chain; 2.5% of all food for lifetime.
1F	Sludge→Soil→Plant→Human	Home garden 5 yrs. after last sludge application; 50% of garden foods for lifetime.
1D&M ¹	Sludge→Soil→Plant→Human	Home garden with annual sludge application; ~50% of garden foods for lifetime.
2F	Sludge→Soil→Human Child	Residential soil, 5 yrs. after last sludge incorporation; 200 mg soil/d.
2-D&M	Sludge→Human Child	Sludge product; 200 mg sludge/d for 5 yrs. or 500 mg sludge/d for 2 yrs.
3	Sludge→Soil Plant→Animal→Human	Rural farm families; ~40% of meat produced on sludge-amended soil, for lifetime.
4-Surface	Sludge→Animal→Human	Rural farm families; ~40% of meat produced on sludge-sprayed pastures, for lifetime.
4-Mixed	Sludge→Soil→Animal→Human	Rural farm families; ~40% of meat produced on sludge-amended soils, for lifetime.
5	Sludge→Soil→Plant→Animal	Livestock fed feed, forages, and grains, 100% of which are grown on sludged land.
6-Surface	Sludge→Animal	Grazing livestock on sludge-sprayed pastures; 1.5% sludge in diet.
6-Mixed	Sludge→Soil→Animal	Grazing Livestock; 2.5% sludge-soil mixture in diet.
7	Sludge→Soil→Plant	"Crops"; vegetables in strongly acidic sludged soil.
8	Sludge→Soil→Soil Biota	Earthworms, slugs, bacteria, fungi in sludged soil.
9	Sludge→Soil→Soil Biota→Predator	Shrews or birds; 33% of diet is earthworms from sludge-amended soil.
9-Direct	Sludge→Soil→(Soil Biota)→Predator	Shrews or birds; habitat is sludge-amended soil.
10	Sludge→Soil→Airborne Dust→Human	Tractor operator.
11	Sludge→Soil→Surface Water→Human	Water Quality Criteria; fish bioaccumulation, lifetime.
12	Sludge→Soil→Air→Human	Farm households.
12W	Sludge→Soil→Groundwater→Human	Farm wells supply 100% of water used for lifetime.

1. D&M refers to sludge products distributed or marketed.



Таблица 4. Пути оценки риска потенциального перемещения микроэлементов и органических отходов в организм человека, домашних животных или в окружающую среду и объекты, наиболее подверженные воздействию и требующие охраны и специального нормирования при анализе риска ^(3,4,12)

	Пути миграции	Объекты, наиболее подверженные воздействию
1	Отходы→Почва→Растение→Человек	Общая пищевая цепь; 2,5% всей пищи в течение жизни
1Ф	Отходы→Почва→Растение→Человек	Приусадебный участок через 5 лет после последнего внесения удобрений; 50% пищи с участка в течение жизни
2ДиМ ¹	Отходы→Почва→Растение→Человек	Приусадебный участок с ежегодным внесением отходов в качестве удобрений; 50% пищи с участка в течение жизни
2ДиМ	Отходы→Почва→Ребенок (играющий во дворе)	Почва в жилом массиве через 5 лет после последнего внесения отходов; 200 мг почвы в день
2ДиМ	Отходы→Ребенок	Органические отходы; 200 мг в день в течение 5 лет или 500 мг в день в течение 2 лет
3	Отходы→Почва→Растение→Животное→Человек	Сельские фермерские семьи; 40% мяса, произведенного на удобренных отходами почвах, в течение жизни
4 –Поверхностный	Отходы→Животное→Человек	Сельские фермерские семьи; 40% мяса, произведенного на пастбищах, удобренных жидкими отходами, в течение жизни
4-Смешанный	Отходы→Почва→Животное→Человек	Сельские фермерские семьи; 40% мяса, произведенного на удобренных отходами почвах, в течение жизни
5	Отходы→Почва→Растение→Животное	Скот, выращенный на кормах и зерне, полученных исключительно с удобряемых отходами полей
6-Поверхностный	Отходы→Животное	Скот, пасущийся на пастбищах, удобренных жидкими отходами; 1,5% отходов в рационе
6-Смешанный	Отходы→Почва→Животное	Пасущийся скот; 2,5% смеси почва-отходы в рационе
7	Отходы→Почва→Растение	Корма, выращенные на сильнокислой почве, удобренной отходами
8	Отходы→Почва→Почвенная биота	Дождевые черви, улитки, бактерии, грибы в почве, удобренной отходами
9	Отходы→Почва→Почвенная биота→Потребитель почвенной биоты	Землеройки или птицы; 33% рациона – черви из почвы, удобренной отходами
9-Прямой	Отходы→Почва→Почвенная биота→Потребитель	Землеройки или птицы, обитающие на почве, удобренной отходами
10	Отходы→Почва→Пыль→Человек	Тракторист
11	Отходы→Почва→Поверхностные воды→Человек	Критерии качества воды; аккумуляция в рыбе в течение жизни
12	Отходы→Почва→Воздух→Человек	Жители ферм
12ДиМ	Отходы→Почва→Грунтовые воды→Человек	Колодцы ферм, поставляющие 100% потребляемой воды, в течение жизни

1. ДиМ - обозначение отходов, распространяемых в свободной продаже.



Table 5. Heavy metals: Environmental effects ^{(1), (2)}
 Таблица 5. Воздействие тяжелых металлов на окружающую среду ^(1,2)

Concern Проблема	Elements Элементы	Environment Объекты окружающей среды, подверженные воздействию	Remarks Примечание
Phytotoxicity vegetable crops Фитотоксичны для овощных культур	Zinc, Copper, Nitrogen Цинк, медь, азот	Strongly acidic soils Сильнокислые почвы	No observed problems with NOAEL sludges Нет проблем при соблюдении ОБУВ
Livestock toxicity Токсичны для домашних животных	Selenium Селен	—	Does not accumulate in sludge В отходах не аккумулируется
	Molybdenum Молибден	—	Few sludges have excess but monitoring is essential Избыток в отходах встречается редко, но мониторинг необходим
	Copper Медь	Ruminants Жвачные	Not accumulated below sludge concentrations of about 1,000 mg/kg ⁽³⁾ Не аккумулируется при концентрации в отходах ниже 1000 мг/кг ⁽³⁾
Human toxicity Токсичны для человека	Cadmium Кадмий	Rice—Japan Рис – Япония	Excess = Mild kidney disease ⁽⁴⁾ При избытке развивается болезнь почек ⁽⁴⁾
		Oysters—New Zealand Устрицы – Новая Зеландия	No effect ⁽⁵⁾ Никакого вредного эффекта ⁽⁵⁾
		Vegetables— UK & US Овощи – Великобритания и США	No effect at high Zinc:Cadmium ratio ⁽⁶⁾ Никакого вредного эффекта при высоком отношении Zn/Cd ⁽⁶⁾

1. Baker and Bowers, 1988.
2. Baxter et al., 1982.
3. & 4. Chaney, 1990 a,b.
5. Friberg et al., 1985.
6. Logan and Chaney, 1983.
7. Sharma et al., 1983.

1. Бейкер и Боуэрс, 1988.
2. Бакстер и др., 1982.
- 3,4. Чейни, 1990 а,б.
5. Фрайберг и др., 1985.
6. Логан и Чейни, 1983.
7. Шарма и др., 1983.



Литература

1. Бейкер, Д.Е. и М.Е. Боуерс. 1988. Влияние кадмия на здоровье, предсказанное на основе данных роста и элементного анализа салата, выращенного на почве, загрязненной выбросами цинкового плавильного завода. Среда микросубстанций и здоровье. 22:281-295.
2. Бакстер, Дж.С., Б. Барри, Д. Е. Джонстон и Е.В. Кинхолтц. 1982. Накопление тяжелых металлов в тканях крупного рогатого скота при заглатывании сухого остатка сточных вод. Журнал качества окружающей среды 11:616-620.
3. Чейни, Р.Л. 1990а. Двадцать лет исследований применения на полях — регулирование полезного использования. Биоцикл 31(9):54-59.
4. Чейни, Р.Л. 1990б. Здоровье населения и использование сухого остатка сточных вод — влияние на пищевую цепь. Биоцикл 31(10):68:73.
5. Фриберг, Л., Г.Г. Элиндер, Т. Кьелстром и Г. Ф. Нордерг (редакторы). 1985. Кадмий и здоровье: токсикологическая и эпидемиологическая оценка. Т. 1. Воздействие, доза и метаболизм. СиАрЭс Пресс, Бока Ратон, Флорида.
6. Логан Т.Дж., и Р.Л. Чейни. 1983. Утилизация муниципальных сточных вод и сухого остатка сточных вод на полях – металлы, с. 235-323. В книге А. Л. Пейдж и др. (редакторы)– Утилизация муниципальных сточных вод и сухого остатка сточных вод на полях. Университет Калифорнии, Риверсайд, Калифорния.
7. Шарма, Р.П., Т. Кьелстром и Дж.М. МакКензи. 1983. Кадмий в крови и моче курящих и некурящих, употребляющих большое количество кадмия с пищей. Токсикология 29:1631.
8. МСХ США. 1988. Национальный справочник по консервационным методам. Служба охраны почв, Вашингтон, округ Колумбия.
9. МСХ США. 1992. Полевой справочник менеджмента отходов сельского хозяйства. Служба защиты почв, Вашингтон, округ Колумбия.
10. Министерство торговли США. 1992. Статистические данные по сельскому хозяйству, Т. 1, Серия “Географические районы”, часть 51, Бюро переписи, округ Колумбия.
11. Агенства по защите окружающей среды (АЗОС) США. 1979. Критерии классификации предприятий и методов захоронения твердых отходов. Федеральный регистрар 44(179):53438-53464.
12. Агенства по защите окружающей среды (АЗОС) США. 1989. Развитие методологии оценки риска при применении на полях, распределении и маркетинге муниципального сухого остатка сточных вод. АЗОС/600/6-89/001.



recommended pH, no increase in crop cadmium occurred up to 224 metric tons/ha. High-cadmium sludge should not be used in agriculture. Related basic research shows that high levels of hydrous ferric oxide in sludge can well adsorb sludge metals. The availability of metal to plants is controlled by the sludge's strong ability to adsorb metals.

People are the key to making a waste management system work. They must know how much waste to apply to the land and when to apply it. They must understand how climate influences the management system and how the system is integrated with other farm activities. And, of course, they must know how waste management affects our natural resources.

References

1. Baker, D.E., and M.E. Bowers. 1988. Health effects of cadmium predicted from growth and composition of lettuce grown in gardens contaminated by emissions from zinc smelters. *Trace Subst. Environ. Health* 22:281-295.
2. Baxter, J.C., B. Barry, D.E. Johnson, and E.W. Kienholz. 1982. Heavy metal retention in cattle tissues from ingestion of sewage sludge. *J. Environ. Qual.* 11:616-620.
3. Chaney, R.L. 1990a. Twenty years of land application research—Regulating beneficial use. *BioCycle* 31(9):54-59.
4. Chaney, R.L. 1990b. Public health and sludge utilization—food chain impact. *BioCycle* 31(10):68:73.
5. Friberg, L., G.G. Elinder, T. Kjellstrom, and G.F. Nordberg (eds.). 1985. *Cadmium and health: A toxicological and epidemiological appraisal*. Vol. 1. Exposure, dose, and metabolism. CRC Press, Boca Raton, FL.
6. Logan T.J., and R.L. Chaney. 1983. Utilization of municipal wastewater and sludge on land-metals. pp 235-323. In A.L. Page et al. (eds.). *Utilization of Municipal Wastewater and Sludge on Land*. Univ. California, Riverside, CA.
7. Sharma, R.P., T. Kjellstrom, and J.M. McKenzie. 1983. Cadmium in blood and urine among smokers and nonsmokers with high cadmium intake via food. *Toxicology* 29:163-171.
8. U.S. Department of Agriculture. 1988. *National Handbook of Conservation Practices*. Soil Conservation Service, Washington, DC.
9. U.S. Department of Agriculture. 1992. *Agriculture Waste Management Field Handbook*, Soil Conservation Service, Washington, DC.
10. U.S. Department of Commerce. 1992. *Census of Agriculture, Volume 1, Geographic Area Series, Part 51*, United States Bureau of the Census, Washington, DC.
11. U.S. Environmental Protection Agency. 1979. Criteria for classification of solid waste disposal facilities and practices. *Federal Register* 44(179):53438-53464.
12. U.S. Environmental Protection Agency. 1989. Development of risk assessment methodology for land application and distribution and marketing of municipal sludge. EPA/600/6-89/001.

Controlled Agricultural Drainage as Related to Water Quality

Регулируемый дренаж сельскохозяйственных земель и качество воды

Controlled Agricultural Drainage as Related to Water Quality

R. W. Skaggs, R.D. Wenberg, J.W. Gilliam, N.R. Fausey, C.E. Carter, and R.L. Bengtson

Abstract

This article reports the progress of research on agricultural drainage systems and the effect of various water management techniques on water quality. Research on both conventional and controlled agricultural drainage systems has provided basic data to determine the impacts of those practices on water quality. The discussion stresses the importance of proper management to protect water quality.

Introduction

Almost all soils require drainage for crop production. About 25 percent (43 million ha) of the cropland in the United States requires improved drainage for efficient agricultural production. A good account of the extent and value of drainage improvements in the United States is presented in a publication of the U.S. Department of Agriculture (USDA), *Farm Drainage in the United States: History, Status and Prospects* (34).¹ Increasingly, the impacts on the environment of draining wetlands for agricultural production are viewed with concern because this reduces the wetlands available for wildlife habitat and those available to help improve water quality.

Research over the past 20 years has shown that the installation and management of control structures in the drainage outlets can reduce pollutant loading from drained lands and help conserve water and increase agricultural yields. Controlled drainage can be regulated to lower the water table during periods when intensive drainage is needed, such as the seedbed preparation stage or during extended rainy periods. Drainage intensity may be reduced during other periods by installing a weir in the control structure, or otherwise blocking the drains, to raise the water level in the outlet. This procedure reduces drainage outflows and pollutant loading, while raising water tables and conserving water for crops. This discussion summarizes the impacts of conventional drainage and controlled drainage on nutrients and other pollutant loads, water quality, and crop yields.

Discussion

Effect of drainage on water quality

Compared to natural conditions, improved drainage may increase peak outflow rates (7, 17, 19, 21), sediment losses (1, 19, 30), and fertilizer nutrients losses (14, 17, 26, 27). For land in agricultural use and where drainage outlets are in place, further drainage improvements may reduce peak outflow rates and the losses of some pollutants while increasing the losses of others.

The design and management of a controlled drainage system determine the path, rate, and quality of water leaving a field. For example, systems that depend primarily on surface drainage tend to have higher water tables, less storage volume for infiltrating rainfall, and higher rates of surface runoff than do systems with more intensive subsurface drainage (2, 4, 5, 17, 22, 34). Intensive subsurface drainage, simulated for drains 15 meters apart, reduced surface runoff by a factor of 5 in a Rains sandy loam in eastern North Carolina (fig. 1). Subsurface drainage reduces the occurrence of high water tables, promotes soil aeration, increases mineralization and nitrification, and reduces denitrification. As a result, nitrate concentrations in shallow ground water and drainage outflow increase with the intensity of subsurface drainage (15). Thus, although subsurface drains tend to reduce surface runoff and the pollutants carried with it, such as phosphorus and sediment, they increase subsurface drainage, including the outflow of nitrates and other soluble nonadsorbed contaminants.

The results summarized above have been consistently observed in a wide range of locations and conditions as witnessed by reports from North Carolina (14, 16, 17, 31), Illinois (23), Indiana (5), Iowa (3), Ohio (24, 29), Georgia (20), Canada (8), England (18), and Ireland (6). There have been exceptions. Subsurface drainage of a Louisiana soil high in clay content reduced losses of sediment, phosphorus, and nitrate (4). Tile drainage of a sandy citrus grove increased both nitrate and phosphorus losses (28). Data in the 1980's showed unusually high losses of phosphorus and sediment in subsurface drainage water from soils high in clay content, which may have been due to flowthrough macropores (9, 29). These exceptions indicate that the mechanisms governing loss of pollutants from poorly drained soils are complex and that the effect of drainage on pollutant losses may vary from soil to soil.

¹ Underlined numbers in parentheses cite sources listed in the References section at the end of this article.



Резюме

В статье рассматриваются результаты исследований по дренажным системам сельскохозяйственного назначения и влияние различных способов управления водными ресурсами на качество воды. В процессе исследований, проведенных на обычных и регулируемых дренажных системах, получены данные, характеризующие их влияние на качество воды. В обсуждении подчеркивается важность правильного управления с позиций охраны качества воды.

Введение

Почти все почвы нуждаются в дренаже для возделывания сельскохозяйственных культур. В США для получения высоких урожаев улучшение условий дренажа требуется на 25% (43 млн га) сельскохозяйственных угодий. Хорошее представление о развитии и значении работ по улучшению дренажа в США дает публикация Министерства сельского хозяйства США: «Сельскохозяйственный дренаж в США: история, состояние и перспективы» [34]. Все большую озабоченность вызывают последствия осушения заболоченных земель в связи с их влиянием на окружающую среду, поскольку в результате уменьшается площадь местообитаний диких животных, а также ландшафтов, благотворно влияющих на качество воды.

Исследования, выполненные за последние 20 лет, показывают, что установка и работа управляющих устройств на выходе дренажных вод может уменьшить их загрязнение веществами, выносимыми с дренируемой территории, помочь сохранить качество воды и повысить урожайность. Управляемый дренаж можно регулировать таким образом, чтобы понизить уровень грунтовых вод, когда нужна интенсивная дренированность, например, при предпосевной обработке почвы или во время затяжных дождей. В другие периоды интенсивность дренажа можно уменьшить, вмонтировав в регулирующее устройство специальную запруду или перекрыв дренажные трубы другим способом, чтобы поднять уровень воды в водосливе. В результате уменьшается дренажный сток и объем веществ, загрязняющих воду при одновременном повышении уровня грунтовых вод и

сохранении влаги, необходимой для развития растений. Данная статья обобщает результаты воздействия обычного и управляемого дренажа на питательные элементы и другие загрязняющие вещества, качество воды и урожайность.

Обсуждение

Влияние дренажа на качество воды

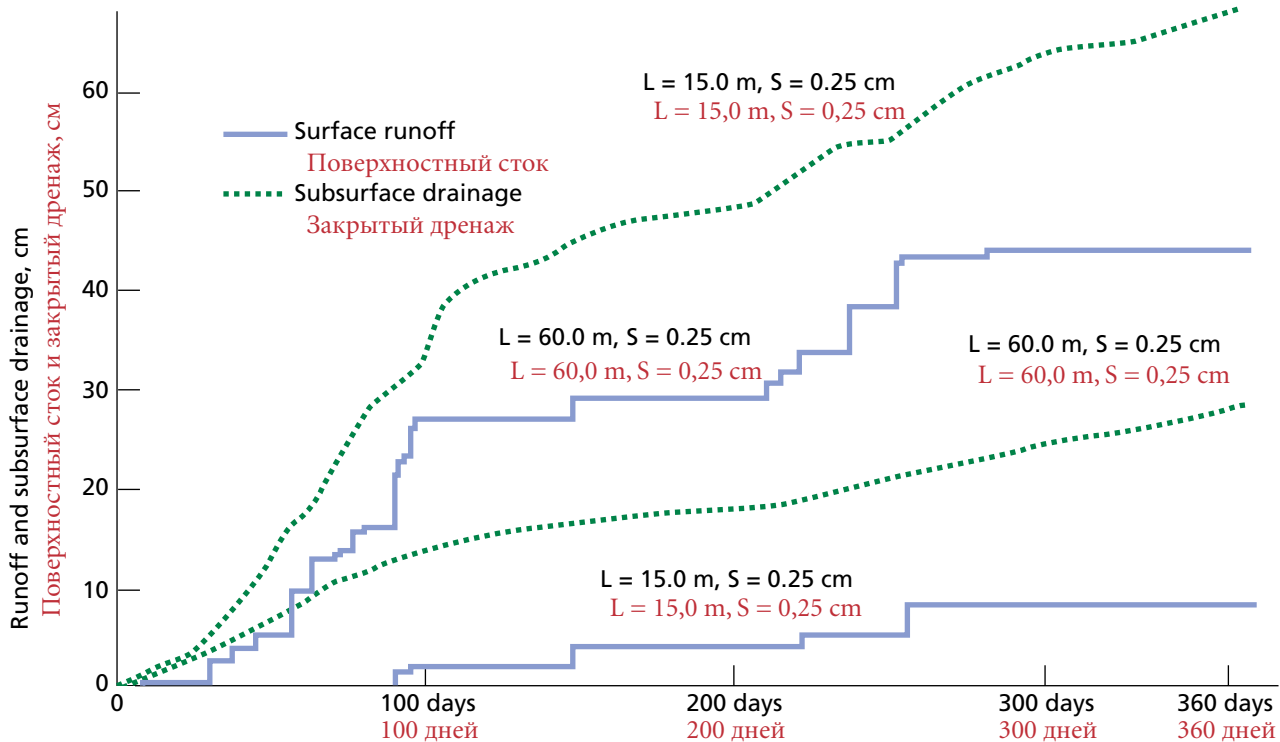
По сравнению с природными условиями, улучшенный дренаж может увеличить пиковую интенсивность стока [7, 17, 19, 21], размыв наносов [1, 19, 30] и потерю элементов питания, вносимых с удобрениями [14, 17, 26, 27]. Для земель сельскохозяйственного использования, где дренажные системы имеют водослив, дальнейшее улучшение дренированности может уменьшить пиковую интенсивность стока и вынос некоторых загрязняющих веществ, увеличивая в то же время вынос других.

Конструкция и управление регулируемой дренажной системой определяет направление, расход и качество воды, удаляемой с поля. Например, в системах поверхностного (открытого) дренажа обычно отмечается более высокий уровень грунтовых вод, меньший объем накопления инфильтрующихся осадков и большая интенсивность поверхностного стока по сравнению с системами более интенсивного подземного (закрытого) дренажа [2, 4, 5, 17, 22, 34]. Интенсивный закрытый дренаж с междренными расстояниями 15 м на опесчаненных суглинках в Северной Каролине снизил величину поверхностного стока в пять раз (рис.1). Закрытый дренаж уменьшает возможность подъема грунтовых вод, обеспечивает аэрацию почв, усиливает процессы минерализации и нитрификации и тормозит денитрификацию. В результате концентрация нитратов в неглубоко залегающих грунтовых водах и дренажном стоке увеличивается с возрастанием интенсивности глубокого дренажа [15]. Таким образом, хотя закрытый дренаж и уменьшает поверхностный сток и вынос загрязняющих веществ, таких как фосфор и минеральные примеси, он одновременно увеличивает вынос нитратов и других растворимых неадсорбируемых загрязнителей.



Figure 1. Simulated annual cumulative surface runoff and subsurface drainage

Рис. 1 Смоделированный ежегодный суммарный поверхностный сток и закрытый дренаж



Good subsurface drainage (L = 15.0 m, S = 0.25 cm) and for poor subsurface drainage (L = 60.0 m, S = 0.25 cm). Adapted from Skaggs and Nassehzadeh-Tabrizi, 1981.

Хороший закрытый дренаж (междренья L=15 м, сечение S=0,25 см), плохой закрытый дренаж (междренья L=60 м, сечение S=0,25 см). По Скагсу и Наззехзадеху-Табризи, 1981.

Controlled drainage

A schematic of a controlled drainage system is shown in figure 2. The parallel drains shown in the figure may be either buried drain pipes or open ditches. The control structures for open ditch outlets are normally flashboard risers that are placed on the upstream end of a culvert (photo 9-1). The culvert passes through a fill in the ditch, which serves as a field access. Flashboards may be placed in the structure to vary the elevation of the weir, which is the level that the ditch water must attain before drainage outflow takes place. Float-controlled and overflow devices for controlling the outlet water level in a main drainage pipe are commercially available (13).

Controlled drainage reduces outflow rates and conserves water for crop use. Evapotranspiration (ET) removes water from the soil profile, lowering the water table and causing water to move from the outlet through the laterals and into the soil profile. Thus, water that would normally leave the field via the drainage outlet system is conserved for use by the crop.

Additional protection from drought can be provided by pumping water into the drainage outlet to maintain a preset water level upstream of the control structure.

Effect of controlled drainage on water quality

Water management practices, such as controlled drainage and subirrigation, significantly affect the route and the rate at which excess water drains from the land; consequently, these practices may have a substantial effect on water quality parameters, lowering the concentration of some and raising the concentration of others. In 1970, researchers concluded that nitrate concentrations in drainage waters could be reduced by anaerobic conditions (25, 35). This implied the possibility of designing drainage systems specifically to take advantage of denitrification, which Meek et al. demonstrated with submerged drains (25). Gilliam et al. have shown that controlled drainage increased denitrification and substantially reduced nitrates in the shallow ground water of a poorly drained coastal plains soil (17). Controlling drainage outlets during the winter reduced nitrate outflows by



Результаты, приведенные выше, нашли подтверждение в различных природных условиях, о чем свидетельствуют сообщения из Северной Каролины [14, 16, 17, 31], Иллинойса [23], Индианы [5], Айовы [3], Огайо [24, 29], Джорджии [20], Канады [8], Англии [18] и Ирландии [6]. Есть и исключения. На глинистых почвах Луизианы закрытый дренаж вызвал уменьшение выноса минеральных частиц, фосфора и нитратов [4]. Гончарный дренаж в песчаных почвах на плантации цитрусовых увеличил вынос как нитратов, так и фосфора [28]. Данные за 80-е годы свидетельствуют о необычно большом выносе фосфора и минеральных частиц в закрытой дренажной системе на почвах с высоким содержанием глины, что может быть связано с передвижением влаги по макропорам [9, 29]. Эти исключения говорят о сложности механизма, управляющего выносом загрязнителей из плохо дренированных почв и о варьировании результативности работы дренажа в зависимости от особенностей почвы.

Регулируемый дренаж

Схема регулируемой дренажной системы представлена на рис.2. Параллельные дрены, показанные на рисунке, могут быть закрытыми (подземные дрены) или открытыми (канавы). Регулирующие устройства для водовыпуска открытых дрен представляют собой обычно подъемное ограждение (подъемный затвор), который помещают в верхней части дренажной трубы – кульверта (фото 9-1). Кульверт проходит через насыпь в открытой дрене, которая служит для подхода к полю. Затворы могут быть установлены в сооружении с целью изменения уровня воды в водосливе, который соответствует уровню воды в открытой дрене, перед ее сбросом. Поплавковые и сливные устройства, регулирующие уровень воды в водосливе главной дрены, выпускаются промышленностью [13].

Управляемый дренаж уменьшает интенсивность стока и сохраняет воду для потребления растениями. Под влиянием эвапотранспирации (ЭТ) удаляются воды из почвенного профиля, понижается уровень грунтовых вод, что приводит к подтоку воды из водослива через распределитель в почву. Таким образом, вода, которая в обычных условиях была бы удалена с поля, благодаря дренажно-выпускному устройству сохраняется для потребления растениями. Дополнительная защита от засухи может быть обеспечена путем накачки воды в дренажный слив, чтобы сохранить определенный уровень воды выше дренажного устройства.

Влияние регулируемого дренажа на качество воды

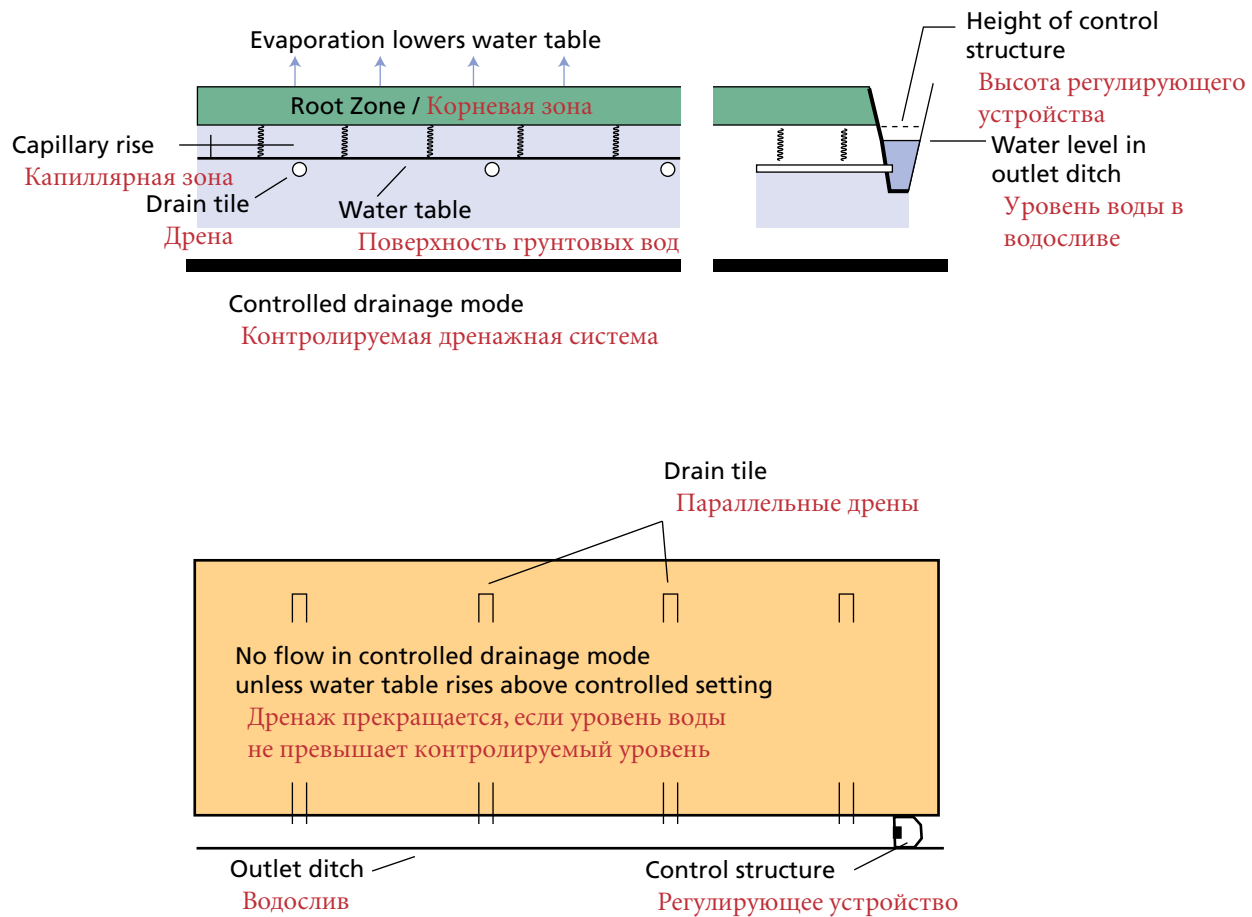
Методы управления водными ресурсами, такие как регулируемый дренаж и внутрпочвенное орошение, оказывают большое воздействие на направленность и интенсивность удаления излишков воды, которая собирается в дренах; следовательно, эти методы могут оказывать существенное влияние на показатели качества воды, понижая концентрацию одних веществ и повышая концентрацию других. В 1970 г. исследователи пришли к выводу, что концентрация нитратов в дренажных водах может снизиться в анаэробных условиях [23, 25]. Это означает, что возможно проектирование дренажных систем, позволяющих использовать преимущества денитрификации, что было продемонстрировано в работе Мик и др. на примере затопленных дрен [25]. Гиллиам и др. показали, что управляемый дренаж усиливает денитрификацию и существенно уменьшает содержание нитратов в неглубоких грунтовых водах и плохо дренированных почвах береговых равнин [17]. Управляемые дренажные водовыпуски в зимнее время позволяют снизить вынос нитратов на 50%. Эванс и др. установили, что управляемый дренаж уменьшает общий объем дренажных вод, а также содержание азота и фосфора, на примере пяти дренажных систем, управляемых фермерами и находящихся в различных природных условиях с различными типами почв [11]. Подобные уменьшения дренажного стока отмечались Гиллиам и др. в 1979 г. [17]. Это уменьшение дренажного стока существенно снизило вынос как фосфора и минеральных частиц, так и азота.

Управляемый дренаж заметно увеличивает интенсивность денитрификации, что определяется по резкому уменьшению концентрации нитратов в зоне насыщения. Концентрация нитратов может снизиться на 20% по сравнению с ее значениями в водах обычных дренажных систем, но концентрация общего азота несколько увеличивается. Управление дренажом, однако, мало влияет на общую концентрацию азота в водовыпусках открытых дрен [11,16]. Влияние управляемого дренажа на общий сброс вод состоит в активном воздействии на содержание азота в водах. Evans et al. проанализировали результаты наблюдений за 125 объекто/лет, собранные в ходе восьми независимых полевых испытаний на 14 почвах Северной Каролины [12]. Они пришли к выводу, что управляемый дренаж, по сравнению с обычным, уменьшил общий дренажный сброс вод на 30%; одновременно уменьшился вынос азота и фосфора. Ежегодные потери азота в краевой части поля уменьшились в среднем на 45% (10 кг/га), а общего фосфора – на 35% (0,12 кг/га) [12].



Figure 2. Schematic of a controlled drainage system

Рис. 2 Схема контролируемой дренажной системы



Drainage stops when the water table drops to the same level as the top of the control structure (weir). The water table continues to recede, however, because of evapotranspiration.

Дренаж прекращается, когда поверхность грунтовых вод опускается до того же уровня, что и вода в управляемом водосливе. Тем не менее, уровень грунтовых вод продолжает снижаться за счет эвапотранспирации.

about 50 percent. Evans et al. found that controlled drainage reduced total drainage volume as well as nitrogen and phosphorus from five farmer-operated controlled drainage systems for a range of soil types and conditions (11). Similar decreases in drainage volume were noted by Gilliam et al. in 1979 (17). These large decreases in drainage volume substantially reduced outflows of phosphorus and sediment as well as nitrogen.

on total outflow. Evans et al. reviewed results from 125 site-years of experimental data from 8 separate field studies on 14 North Carolina soils (12). They concluded that, compared to no control, controlled drainage reduced total drainage outflows by about 30 percent and reduced both nitrogen and phosphorus losses. Annual total nitrogen losses at the field edge were reduced by an average of 45 percent (10 kg/ha) and total phosphorus by 35 percent (0.12 kg/ha) (12).

Controlled drainage clearly increases denitrification as determined by the dramatically reduced nitrate concentrations in the saturated zones. Nitrate concentrations may be reduced by up to 20 percent, compared to no control, but total nitrogen concentrations are somewhat increased. Drainage control, however, has little effect on total nitrogen concentrations in drainage outlet ditches (11, 16). The big impact on nitrogen-loading is the effect of controlled drainage

The effects of soil properties, site parameters, drainage system designs, and control strategy on nitrate-nitrogen and phosphorus losses can be evaluated with simulation models (10, 31). Although controlled drainage is very effective in reducing nitrogen outflows, simulations usually predict increased phosphorus losses because predicted surface runoff is increased by drainage control. This is contrary to field studies which found that drainage control reduced both



Влияние почвенных свойств, параметров участка, конструкции дренажной системы и стратегии управления на вынос нитратного азота и фосфора могут быть оценены по результатам моделирования [10, 31]. Хотя управляемый дренаж очень эффективен в снижении выноса азота, моделирование обычно прогнозирует увеличение потерь фосфора, поскольку прогнозные поверхностный сток увеличивается в результате управления дренажом. Это противоречит полевым данным, которые показывают, что управление дренажом уменьшает вынос как азота, так и фосфора. Вероятная причина разногласий состоит в том, что при моделировании обычно пренебрегают глубинной и боковой фильтрацией. Вынос с полей путем фильтрации при высоком уровне грунтовых вод может быть значительным, хотя фильтрационные воды проходят на своем пути через зоны с ничтожным содержанием нитратного азота и незначительным внутрипочвенным перемещением фосфора. В результате модели прогнозируют меньшую эффективность управляемого дренажа, чем экспериментальные данные. И результаты модельных экспериментов, и опытные данные демонстрируют благоприятное воздействие управляемого дренажа на качество воды при правильной организации управления. Если управление организовано неправильно, этот метод дренирования может вызвать ухудшение качества воды [16, 31].

Благодаря потенциально благоприятным последствиям воздействия управляемого дренажа на окружающую среду, этот метод дренирования отнесен регулирующими административными органами штата Северная Каролина к “лучшему методу управления” водным режимом. Последние восемь лет администрация штата принимала долевое участие в установке контролирующих устройств на дренажных системах для водосборных бассейнов, почвы которых особенно чувствительны к потере питательных элементов. Фермеры уже признали целесообразность управляемого дренажа, поскольку он позволяет сберечь воду и увеличивает урожайность. В Северной Каролине управляющие устройства установлены в открытых дренах на площади более 95000 га. В ближайшее время предполагается увеличить эту площадь на 12000 га. На основании полевых опытов, выполненных на нескольких почвах, установлено, что вынос нитратного азота с контролируемых площадей в Северной Каролине ежегодно уменьшается более чем на 680000 кг. В штатах Вирджиния, Делавер, Мэриленд теперь имеются свои программы долевого участия в затратах по созданию регулируемых систем дренажа с целью улучшения качества воды.

Заключение

Становится все более очевидно, что дренаж и связанные с ним системы управления водным режимом должны создаваться с учетом потребностей и сельского хозяйства, и окружающей среды. Для удовлетворения потребностей сельского хозяйства могут быть использованы несколько альтернативных вариантов управления дренажом и водными ресурсами; однако некоторые из них более других удовлетворяют природоохранным требованиям. Задача состоит в том, чтобы выбрать системы с минимальным уровнем негативного воздействия на окружающую среду. Управляемый дренаж – “лучший метод управления”, который может быть использован в целях сохранения качества воды и уменьшения выноса питательных элементов и минеральных частиц в водотоки и устья рек. В некоторых случаях “лучшим методом управления” является увеличение интенсивности закрытого дренажа для снижения уровня загрязнения водотоков и сокращения поверхностного стока. Результаты последних исследований и полевых экспериментов являются основой для выбора соответствующей конструкции дренажа и связанных с ней систем управления водными ресурсами. Однако несмотря на значительные успехи последнего двадцатилетия в познании воздействия этих систем и методов управления на окружающую среду, многое еще предстоит узнать о сложных механизмах, управляющих выносом загрязняющих веществ из дренируемых почв. Полевые исследования продолжаются на ряде объектов в США в целях расширения наших возможностей по разумному регулированию водного режима в слабо дренированных почвах.



nitrogen and phosphorus outflows. A likely cause of the discrepancy is that simulation models usually assume deep and lateral seepage are negligible. Seepage from a field with an elevated water table can be significant as the seepage water passes through the reduced zones with negligible nitrate-nitrogen concentrations and negligible subsurface phosphorus movement. Consequently, the simulation models usually predict smaller effects of controlled drainage than those measured in the field. Results of simulation studies and experience with systems in the field both clearly show that controlled drainage systems benefit water quality when properly managed. Used improperly, these practices can harm water. (16, 31).



Photo 9-1. Simple controlled drainage devices can be constructed using culvert materials and flashboards that can be added and removed to adjust outflow. (Tim McCabe photo)

Фото 9-1. Простейшее устройство для управления дренажом и регулирования водосброса может быть собрано из подсобных материалов: остатков дренажных труб и досок, укрепляющих конструкцию. (Фото Тима МакКейба)

Because of its potential environmental benefits, controlled drainage has been accepted as a “best-management practice” by the regulatory agencies in North Carolina. Structures to achieve control have been cost-shared by the State of North Carolina in nutrient-sensitive watersheds for the past 8 years. Farmers have readily accepted controlled drainage because it conserves water and increases yields. Control structures have been placed in ditches draining over 95,000 ha in North Carolina, with another 12,000 ha expected to be added in 1992. Based on results of field experiments on several soils, it is estimated that nitrate-nitrogen outflows from the controlled areas in North Carolina have been reduced by over 680,000 kg annually. Virginia, Delaware, and Maryland now have cost-share programs to support the use of controlled drainage to improve water quality.

Summary

It is becoming increasingly clear that drainage and related water-management systems must be designed to consider both agricultural and environmental objectives. Several drainage/water management alternatives can be used to satisfy agricultural objectives; however, some of the alternatives are more beneficial to the environment than others. The challenge is to select those methods that will minimize negative environmental impacts. Controlled drainage is a “best-management practice” (BMP) which may be used to conserve water and reduce nutrient and sediment losses to streams and estuaries. In some cases, increasing subsurface drainage intensity to reduce surface runoff would be a BMP for controlling nonpoint source pollution. Past research and field experience has provided a rational basis for the selection and design of drainage and related water-management systems. Although significant advances in our knowledge of environmental impacts and methods for managing these systems have been made in the last 20 years, much must be learned about the complex mechanisms that govern losses of pollutants from drained soils. Research on field sites is continuing at a number of locations in the United States to provide answers that will improve our ability to manage poorly drained soils.



Литература

1. Аскю, Г. Р. и Т. М. Вильямс. 1984. Концентрация осадков с интенсивно подготовленных болот. Прикладное лесоводство 8:152-157.
2. Баден, В. и Р. Эггелсман. 1968. Гидрологический бюджет верховых болот в Атлантическом регионе. Протоколы 3-го Международного конгресса по торфу, Квебек, с. 206-211.
3. Бейкер, Дж.Л. и Х.П. Джонстон. 1977. Влияние подпочвенного дренажа на качество воды. Протоколы Третьего национального симпозиума по дренажу, публикация Американского общества сельскохозяйственных инженеров (АОСИ) 1-77:91-98. АОСИ, СэйнтДжосеф, Мичиган.
4. Бенгстон, Р.Л., С. Е.Картер, Х. Ф. Моррис и Дж. Г. Ковальчук. 1984. Уменьшение загрязнения воды с помощью подпочвенного дренажа. Транскрипты АОСИ, 27(1):80-83.
5. Ботчер, А. Б., Е.Дж. Монке и Л. Ф. Хаггинс. 1981. Содержание питательных элементов и осадков в подпочвенной дренажной системе. Транскрипты АОСИ, 24(5):1221-1226.
6. Бюрк, В. 1972. Аспекты гидрологии покровного торфа в Ирландии. Международный симпозиум по гидрологии заболоченных территорий. Минск, Белоруссия, 16 с.
7. Кемпбелл, К.Л., С. Кумар и Х.П. Джонстон. 1972. Эффект спрямления русла на характеристики наводнений и стока. Транскрипты АОСИ, 15:94-98.
8. Чиенг, С.Т. 1988. Потери азота на сельскохозяйственных землях с подпочвенным дренажом и ирригацией. Статья АОСИ № 88-2607. АОСИ, СэйнтДжосеф, Мичиган.
9. Кулли, Дж. Л. Б. и Е. Ф. Болтон. 1983. Концентрация взвешенных частиц и фосфора с глиняной почвы: II. Исследование бассейна стока. Журнал качества окружающей среды, 12(4):498-503.
10. Дил, С. С., Дж.В. Гиллиам, Р.В. Скаггс и К. Д. Кониха. 1986. Предсказание потерь азота и фосфора из избранных почв прибрежных равнин Северной Каролины в зависимости от дизайна дренажной системы. Сельскохозяйственные экосистемы, 18:37-51.
11. Эванс, Р.О., Дж.В. Гиллиам и Р.В.Скаггс. 1989. Эффект сельскохозяйственного менеджмента грунтовых вод на качество дренажных вод. Отчет № 237 Исследовательского института водных Ресурсов. Университет Северной Каролины.
12. Эванс, Р.О., Дж.В. Гиллиам и Р.В.Скаггс. 1990. Директивы по менеджменту контролируемого дренажа для улучшения качества дренажных вод. Бюллетень Сельскохозяйственной службы внедрения Северной Каролины AG-443. Ралей, Северная Каролина, 16 с.
13. Эванс, Р.О. и Р.В.Скаггс. 1985. Сельскохозяйственный менеджмент воды для почв прибрежных равнин. Бюллетень АО-355 Сельскохозяйственной службы внедрения Северной Каролины, Университет Штата Северная Каролина, Ралей, Северная Каролина, 11 с.
14. Фоусс, Дж.Л., Р.В. Скаггс, Дж. Е. Айарс и Х.В. Белчер. 1991. Контроль уровня грунтовых вод и использование близко лежащих грунтовых вод. В книге Г. Дж. Хоффман, Т. А. Хоуелл, и К.Х. Соломон (редакторы) – Менеджмент ирригационных систем ферм. Монография АОСИ, АОСИ, СэйнтДжосеф, Мичиган.
15. Гамбрелл, Р. П., Дж.В. Гиллиам и С.Б. Вид, 1975b. Потери азота из почв прибрежных равнин Северной Каролины. Журнал качества окружающей среды. 4:317-323.
16. Гиллиам, Дж.В. 1987. Качество дренажных вод и окружающая среда. Основной доклад. Протоколы 5-го Национального дренажного симпозиума Публикация АОСИ 7-87, с. 19-28.
17. Гиллиам, Дж.В., Р.В.Скаггс и С.Б. Вид. 1979. Контроль дренажа для уменьшения потерь азота с сельскохозяйственных полей. Журнал качества окружающей среды, 8:137-142.
18. Гиллиам, Дж.В. и Р.В. Скаггс. 1986. Контролируемый сельскохозяйственный дренаж для поддержания качества воды. Журнал инженерии ирригации и дренажа АОГИ, 112(3):254-263.
19. Харрис, Г. Л., М.Дж. Госс, Р. Дж. Доуделл, К.Р. Хоусе и П. Морган. 1984. Изучение кротового дренажа с упрощенной культивацией для озимых культур на глине. Журнал сельскохозяйственных наук, 102, 561-581.



References

1. Askew, G.R. and T.M. Williams. 1984. Sediment concentrations from intensively prepared wetland sites. *S.J. Appl. For.*, 8:152-157.
2. Baden, W. and R. Eggelsman. 1968. The hydrologic budget of the highbogs in the Atlantic region. *Proc. Third Int. Peat Congress, Quebec*, pp. 206-211.
3. Baker, J.L. and H.P. Johnson. 1977. Impact of subsurface drainage on water quality. *Proc. Third National Drainage Symposium, ASAE Publ.* 1-77:91-98. ASAE, St. Joseph, MI.
4. Bengtson, R.L., C.E. Carter, H.F. Morris, and J.G. Kowalczyk. 1984. Reducing water pollution with subsurface drainage. *Trans. ASAE*, 27(1):80-83.
5. Bottcher, A.B., E.J. Monke, and L.F. Huggins. 1981. Nutrient and sediment loadings from a subsurface drainage system. *Trans. ASAE*, 24(5):1221-1226.
6. Burke, W. 1972. Aspects of the hydrology of blanket peat in Ireland. *Int. Symp. Hydrology of Marsh-Ridden Areas, Minsk, Byelorussian SSR*, 16 pp.
7. Campbell, K.L., S. Kumar, and H.P. Johnson. 1972. Stream straightening effects on flood-run-off characteristics. *Trans. ASAE*, 15:94-98.
8. Chieng, S.T. 1988. Nitrogen leaching in agricultural lands with subsurface drainage and subirrigation. *ASAE Paper No. 88-2607*. ASAE, St. Joseph, MI.
9. Culley, J.L.B. and E.F. Bolton. 1983. Suspended solids and phosphorus loads from a clay soil: II. Watershed study. *J. Environ. Qual.*, 12(4):498-503.
10. Deal, S.C., J.W. Gilliam, R.W. Skaggs, and K.D. Konyha. 1986. Prediction of nitrogen and phosphorus losses from selected North Carolina Coastal Plain soils as related to drainage system design. *Agric. Ecosyst. Environ.*, 18:37-51.
11. Evans, R.O., J.W. Gilliam, and R.W. Skaggs. 1989. Effects of agricultural water table management on drainage water quality. *Water Resour. Res. Inst. Univ. North Carolina Rep. No. 237*.
12. Evans, R.O., J.W. Gilliam, and R.W. Skaggs. 1990. Controlled drainage management guidelines to improve drainage water quality. *North Carolina Agric. Ext. Serv. Bull. AG-443*. Raleigh, NC, 16 p.
13. Evans, R.O. and R.W. Skaggs. 1985. Agricultural water management for coastal plains soils. *Bull. AG-355*, North Carolina Agric. Ext. Serv. NC State Univ., Raleigh, NC, 11 p.
14. Fouss, J.L., R.W. Skaggs, J.E. Ayars, and H.W. Belcher. 1991. Water table control and shallow groundwater utilization. In G.J. Hoffman, T.A. Howel, and K.H. Solomon, eds. *Management of farm irrigation systems*. ASAE Monograph, ASAE, St. Joseph, MI.
15. Gambrell, R.P., J.W. Gilliam, and S.B. Weed. 1975b. Nitrogen losses from soils of the North Carolina Coastal Plain. *J. Environ. Qual.* 4:317-323.
16. Gilliam, J.W. 1987. Drainage water quality and the environment. Keynote address. *Proc. Fifth Nat. Drain. Symp.*, ASAE Publ. 7-87, pp. 19-28.
17. Gilliam, J.W., R.W. Skaggs, and S.B. Weed. 1979. Drainage control to diminish nitrate loss from agricultural fields. *J. Environ. Qual.*, 8:137-142.
18. Gilliam, J.W. and R.W. Skaggs. 1986. Controlled agricultural drainage to maintain water quality. *J. Irrig. Drain. Div.*, 112(3):254-263.
19. Harris, G.L., M.J. Goss, R.J. Dowdell, K.R. Howse, and P. Morgan. 1984. A study of mole drainage with simplified cultivation for autumn-sown crops on a clay soil. *J. Agric. Sci. Comb.*, 102, 561-581.
20. Hill, A.R. 1976. The environmental impacts of agricultural land drainage. *J. Environ. Mgmt.*, 4:251-274.
21. Hubbard, R.K. and J.M. Sheridan. 1983. Water and nitrate-nitrogen losses from a small, upland Coastal Plain watershed. *J. Environ. Qual.*, 12:291-295.
22. Irwin, R.W. and H.R. Whiteley. 1983. Effects of land drainage on stream flow. *Can. Water Resour. J.*, 8:88-103.
23. Istok, J.D. and G.F. Kling. 1983. Effect of subsurface drainage on runoff and sediment yield from an agricultural watershed in western Oregon, U.S.A. *J. Hydrology*, 65:279-291.
24. Kohl, D.H., G.B. Shearer, and B. Commoner. 1971. Fertilizer nitrogen: contribution to nitrate in surface water in a cornbelt watershed. *Science*, 174:1331-1334.
25. Logan, T.J., G.W. Randall, and D.R. Timmons. 1980. Nutrient content of tile drainage from cropland in the North Carolina Central Region. *North Central Research Bull. No. 268*, Wooster, OH.



20. Хилл, А. Р. 1976. Экологическое влияние дренажа с сельскохозяйственных земель. Журнал экологического менеджмента, 4:251-274.
21. Хаббард, Р. К. и Дж. М. Шеридан. 1983. Потери воды и азота с небольшого бассейна стока на прибрежных равнинах. Журнал качества окружающей среды, 12:291-295.
22. Ирвин, Р.В. и Х. Р. Уатлей. 1983. Эффект дренажа с поверхности земли на течение реки. Канадский журнал водных ресурсов, 8:88-108.
23. Исток, Дж. Д. и Г. Ф. Клинг. 1983. Эффект подпочвенного дренажа на количество стока и взвешенных частиц с сельскохозяйственного бассейна стока в западном Орегоне, США. Гидрология, 65:279-291.
24. Кол, Д. Х., Г. Б. Ширер и Б. Коммонер. 1971. Азот удобрений: вклад в наземные воды в бассейне стока кукурузного региона. Наука, 174:1331-1334.
25. Логан, Т.Дж., Г.В.Рандалл и Д.Р. Тиммонс. 1980. Содержание питательных элементов в водах гончарного дренажа с полей центрального региона Северной Каролины. Северный исследовательский бюллетень № 268, Вустер, Огайо.
26. Мик, Б.Д., Л.Б. Грасс, Л. С. Виллардсон, и А. Дж. МакКензи. 1970. Потери внесенного азота в зависимости от окислительного статуса почв. Труды Американского общества почвоведения, 33(4):575-578.
27. Николлс, К.Х. и Х.Р. МакКриммон. 1974. Питательные элементы в подпочвенных водах и водах поверхностного стока голландского болота, Онтарио. Журнал качества окружающей среды, 3(1):31-35.
28. Ричард, П., С. Т. Чиенг и Н. К. Нагпал. 1989. Движение воды и питательных веществ в сельскохозяйственной почве при наличии и отсутствии дренажа. В книге Дж.Б. Саммерса и С.С. Андерсона, редакторы. – Токсические вещества в ирригационных и дренажных с/х водах, международная экологическая перспектива. 2-я Всеамериканская региональная конференция, Международные сообщения по ирригации и дренажу. Оттава, стр. 281-292.
29. Роджерс, Дж. С., Е. Х. Стюарт, Д.В. Калверт, и Р. С. Манселл. 1977. Качество воды из цитрусовой посадки с подпочвенным дренажом. Протоколы 3-го Международного симпозиума по дренажу, Публикация АОСИ 1-77, с. 99-103. 30.
30. Шваб, Г.О., Н. Р. Фаусей и Д. Е. Копчак. 1980. Содержание взвешенных частиц и химикатов в сельскохозяйственных дренажных водах. Транскрипты АОСИ, 23(6): 1446-1449.
31. Скаггс, Р.В., Дж.В. Гиллиам, Т.Дж. Шитс и Дж.С. Барнс. 1980. Эффект застройки сельскохозяйственных земель на дренажные воды в районе приливов Северной Каролины. Отчет № 159 Исследовательского института водных ресурсов университета Северной Каролины.
32. Скаггс, Р.В. и Дж.В. Гиллиам. 1981. Эффект дизайна и оперирования дренажной системы на транспорт нитратов. Транскрипты АОСИ, 24(4):929-934.
33. Скаггс, Р.В. и А. Нассехзадех-Табризи. 1981. Дизайн дренажных систем для наземной очистки сточных вод. Журнал инженерии, ирригации и дренажа АОГИ, 108 (IR3): 196-211.
34. МСХ США. 1987. Дренаж на фермах в США: история, состояние и перспективы. Различные публикации № 1455, МСХ США, Служба экономических исследований, Вашингтон, округ Колумбия.
35. Уатлей, Х.Р. и С. Р. Гате. 1979. Источники и количество поверхностного дождевого стока в трех небольших бассейнах стока. Кандская сельскохозяйственная инженерия, 21:1-7.
36. Виллардсон, Л. С., Б. Д. Мик, Л. Б. Грасс, Г.Л. Дикей и Дж.В. Бейли. 1970. Установка дрен для восстановления нитратов. Грунтовые воды, 8(4): 11-13.



26. Meek, B.D., L.B. Grass, L.S. Willardson, and A.J. MacKenzie. 1970. Applied nitrogen losses in relation to oxygen status of soils. *Proc. Soil Sci. Soc. Am.*, 33(4):575-578.
27. Nicholls, K.H. and H.R. MacCrimmon. 1974. Nutrients in subsurface and runoff waters of the Holland Marsh, Ontario. *J. Environ. Qual.*, 3(1):31-35.
28. Richard, P., S.T. Chieng, and N.K. Nagpal. 1989. Water and nutrient movement in an agricultural soil under drained and undrained conditions. In J.B. Summers and S.S. Anderson, eds. *Toxic substances in agricultural water supply and drainage, an international environmental perspective*. 2nd. Pan-American Reg. Conf., Int. Comm. Irrig. Drain. Ottawa, pp. 281-292.
29. Rogers, J.S., E.H. Stewart, D.V. Calvert, and R.S. Mansell. 1977. Water quality from a subsurface drained citrus grove. *Proc. 3rd Int. Drain. Symp.*, ASAE publ. 1-77, pp. 99-103.
30. Schwab, G.O., N.R. Fausey, and D.E. Kopcak. 1980. Sediment and chemical content of agricultural drainage water. *Trans. ASAE*, 23(6):1446-1449.
31. Skaggs, R.W., J.W. Gilliam, T.J. Sheets, and J.S. Barnes. 1980. Effect of agricultural land development on drainage waters in the North Carolina Tidewater Region. *Water Resour. Res. Inst., Univ. North Carolina Rep. No. 159*.
32. Skaggs, R.W. and J.W. Gilliam. 1981. Effect of drainage system design and operation on nitrate transport. *Trans. ASAE*, 24(4):929-934.
33. Skaggs, R.W. and A. Nassehzadeh-Tabrizi. 1981. Design of drainage systems for land treatment of wastewater. *J. Irrigation and Agric. Div., ASCE*, Vol. 108 (IR3): 196-211.
34. USDA. 1987. *Farm Drainage in the United States: History, Status and Prospects*. Misc. Publ. No. 1455, USDA, ERS, Washington, DC.
35. Whiteley, H.R. and S.R. Ghate. 1979. Sources and amounts of overland runoff from rain on three small watersheds. *Can. Agric. Eng.*, 21:1-7.
36. Willardson, L.S., B.D. Meek, L.B. Grass, G.L. Dickey, and J.W. Bayley. 1970. Drain installation for nitrate reduction. *Ground Water*, 8(4):11-13.



Computer Modeling for Water Quality

Моделирование качества воды с помощью компьютеров

Computer Modeling for Water Quality

James N. Krider, Fred D. Theurer, Robert J. Wagenet, William A. Jury, Arlin D. Nicks, and Ralph A. Leonard

Abstract

Quickly solving a large number of mathematical equations has become possible with the advent of mainframe and personal computers. Development of algorithms that simulate effects on water quality caused by a variety of agricultural management decisions has been a natural outgrowth of the computational speed and power of today's computers. Water quality models provide the Natural Resources Conservation Service (NRCS) planner and the decisionmaker—the farmer—with a number of options for managing resources to achieve economic and environmental goals. Action agencies working with both the research community and the farmer help formulate physical and management conservation practice options for the farmer to consider. Operational-level computer models are used to evaluate the consequences of natural resource management decisions related to land use and management. Computer models are used in U.S. agriculture specifically to address the transport and fate of nitrogen, pesticides, and salinity.

Introduction

Agricultural water quality research in the United States focuses mainly on the fate and transport of agricultural chemicals (fertilizer nutrients and pesticides), erosional processes and sediment transport, salinity management, and, to a lesser degree, organic waste management. All of the processes being researched are driven by water—from rain, snow, or thaw. Nearly all fundamental agricultural water quality research concentrating on physical and chemical processes is carried out by the Agricultural Research Service (ARS) of the U.S. Department of Agriculture (USDA). The USDA Economic Research Service (ERS) examines the economic consequences of various agricultural practices, contributing an important perspective to federally funded agricultural research. The USDA Cooperative State Research, Education, and Extension Service (CSREES), through the nationwide Cooperative Extension System (CES), supports water quality research through individual State experiment stations that are under the direct control of land-grant universities and by providing partial funding of individual projects co-sponsored with universities or other nonprofit organizations.

The U.S. Geological Survey (USGS), an agency in the U.S. Department of the Interior (DOI), is responsible for monitoring the quality and quantity of the Nation's surface and ground water. It also conducts special water quality studies in various geographical regions—often in downstream waters where the effects of agricultural operations can be assessed.

All of these natural resources management organizations develop mathematical models to describe the physical phenomena they investigate. These models are coded into computer languages so that they may be processed electronically by mainframes and personal computers. Many are complex research-level models that are formulated to address a specific resource concern.

NRCS is the USDA agency that provides technical assistance directly to the agricultural producers to help them manage their natural resources. NRCS uses the results of the research-level water quality computer models to develop operational-level water quality models and other techniques that help producers improve their agricultural operations within established Federal and State water quality standards. The Environmental Protection Agency (EPA), a Federal agency, establishes minimum national water quality standards and has the authority to enforce them, if necessary, through broad regulatory powers vested by Congress. However, most of the responsibility to ensure that the standards are met is vested in the States, and many State standards are more stringent than those of the Federal Government.

The following sections present information regarding the collection and use of weather data for computer modeling; the computer modeling developments that describe nutrient, pesticide, and salinity processes ascribed to agricultural activities; and NRCS plans to classify, evaluate, and select appropriate models for use in implementing techniques for managing nonpoint sources of agricultural contamination.

Discussion

Hydrology and weather generator techniques

One model developed specifically for evaluating water quality of field-size areas is Chemical, Runoff, Erosion, and Agricultural Management System (CREAMS) (10).¹ This

¹ Underlined numbers in parentheses cite sources listed in the References section at the end of this article.



Моделирование качества воды с помощью компьютеров

Джеймс Н. Крайдер, Фред Д. Тейсер, Роберт Дж. Вагенет, Уильям А. Джури, Арлин Д. Никс и Ральф А. Леонард

Резюме

Быстрое решение большого числа математических уравнений стало возможным с появлением компьютерных станций и персональных компьютеров. Создание алгоритмов для моделирования изменений качества воды под влиянием разных видов сельскохозяйственной деятельности явилось результатом возможностей современных компьютеров и скорости обработки информации. Разработанные модели качества воды позволяют специалистам Службы охраны природных ресурсов и фермерам выбрать именно те модели, которые наилучшим образом отвечают решению поставленных экономических и экологических проблем. Различные учреждения, работающие в тесном контакте как с учеными, так и с фермерами, помогают сформулировать и представить фермерам богатый выбор практических решений. Компьютерные модели операционного уровня используются для оценки изменений состояния природных ресурсов под влиянием различных систем землепользования и землеустройства. Особенно широкое применение в сельском хозяйстве США находят компьютерные модели переноса азота, пестицидов и солей в почвах.

Введение

Исследования, проводимые в США по изучению качества воды, касаются в первую очередь миграции используемых в сельском хозяйстве химикатов (удобрения, пестициды), эрозионных процессов и механической миграции взвешенных наносов, борьбы с засолением почв и в меньшей степени – утилизации органических отходов. Так или иначе, все эти процессы связаны с водой, будь то дождевые осадки, снег или талые воды. Почти все фундаментальные исследования по качеству воды, связанные с физическими и химическими процессами, проводятся Службой сельскохозяйственных исследований Министерства сельского хозяйства США. Служба экономических исследований изучает различные системы сельскохозяйственного производства с точки зрения их экономической эффективности и тем самым вносит весомый вклад в финансируемые федеральным правительством сельскохозяйственные исследования. Кооперативная служба исследований, образования и внедрения Министерства сельского хозяйства США

через Кооперативную службу внедрения поддерживает исследования качества воды на опытных станциях отдельных штатов, находящихся под управлением университетов штатов, а также обеспечивает частичное финансирование индивидуальных проектов совместно с университетами и другими неприбыльными организациями.

Геологическая служба США находится в составе Министерства внутренних ресурсов США и отвечает за мониторинг качества и запасов поверхностных и грунтовых вод. Она также проводит специальные исследования по изучению качества воды в различных географических регионах, чаще всего в нижнем течении рек, где можно оценить эффект загрязнения в результате сельскохозяйственной деятельности.

Все эти организации по управлению природными ресурсами разрабатывают математические модели для описания изучаемых физических явлений. Модели закодированы на языках компьютера таким образом, чтобы их можно было обрабатывать как на компьютерных станциях, так и на персональных компьютерах. Многие модели созданы для сложных исследований, направленных на решение специфических проблем.

Служба охраны природных ресурсов – подразделение Министерства сельского хозяйства США, которое оказывает техническую помощь непосредственно сельскохозяйственным производителям в управлении природными ресурсами. В частности, Служба охраны природных ресурсов использует результаты теоретического моделирования для разработки операционных моделей качества воды и других технических приемов, помогающих фермерам улучшить свою деятельность при соблюдении стандартов качества воды, принятых на федеральном уровне и в отдельных штатах. Агентство по охране окружающей среды устанавливает минимальные национальные стандарты качества воды и имеет полномочия от Конгресса США при необходимости проводить их в жизнь. В основном, однако, соблюдение стандартов обеспечивается администрациями штатов, и во многих случаях стандарты, принятые в штатах, оказываются строже соответствующих федеральных норм.



model features three components—hydrology, erosion, and chemical transport. CREAMS illustrates the limitations and problems that users may encounter at any location when applying the models. For example, the availability of suitable weather data may dictate the selection of runoff generation technology and the simulation time scale to be used.

CREAMS uses the NRCS runoff curve number method to simulate runoff. The NRCS method was modified to allow for daily simulation based on soil infiltration, water storage capacity, and texture (23). Extensive soil databases are available from SCS State and county soil survey data in the United States to provide the required data for soils. Daily precipitation data from more than 25,000 stations are the most widely measured weather input. Approximately 7,000 of these stations have recorded observations for at least 25 years, and nearly 2,500 have recorded precipitation and maximum and minimum air temperature observations at the same site. However, these data are not easily obtainable by model users. Only selected climate data can be obtained from these stations. These data can then be screened for missing values and reformatted for easier computer storage and retrieval (20).

Record lengths longer than 25 years are required for some applications of CREAMS and other models, such as Erosion-Productivity Impact Calculator (EPIC) (22) and Simulation for Water Resources in Rural Basins (SWRRB) (24). Techniques for generating weather-related data have been used with these models to extend the climate input records. The required weather inputs are daily precipitation, maximum and minimum air temperature, and solar radiation. Techniques for generating weather-related parameters for the inputs were developed for 134 stations across the United States (16).

More recently, the Water Erosion Prediction Project (WEPP) model has been developed (11). WEPP models use infiltration-type runoff generation instead of the NRCS curve number technology. This newer technology requires the generation of disaggregated storm rainfall intensity patterns from daily rainfall amounts (photo 10-1).

Nutrients

Water quality is affected by the distribution and fate of soil nutrients, the soluble and plant-available constituents of plant-soil-water systems. These nutrients arise from application and transformation of organic and inorganic fertilizers, from decomposition and degradation of organic matter, or from weathering of soil minerals. In many cases, the processes operative in plant-soil-water systems related to the movement, persistence, and plant uptake of soil nutrients have been well described. It is now a major challenge to (1) apply the information learned as an aid to designing better

management systems, and (2) integrate recent advances in plant biology, microbiology, and soil-water chemistry into water quality assessments.

There are a wide variety of soil nutrients, but from a water quality or modeling perspective, most of the attention has been given to nitrogen. Very few models that are used beyond the laboratories of the developer exist for other soil nutrients. Therefore, the predominant focus (90 percent) of modeling activity in soil nutrient systems is on nitrogen.

This attention has been given to nitrogen compounds in soil for two reasons—both related to water quality. First, because nitrogen is an essential element for plant growth and is often added as fertilizer or organic waste, nitrogen applications can affect water quality if excessive leaching of the nitrate ion occurs. Second, from a public health perspective, nitrate in drinking water poses a threat to human health. These



Photo 10-1. Near Cottonwood, SD, scientists from the Agricultural Research Service use a rainfall simulator to gather runoff data on range soils. Data from many range and cropland sites throughout the United States is being used in the development of the WEPP model. (Tim McCabe photo)

Фото 10-1. В районе Коттонвуд, штат Южная Дакота, ученые Службы сельскохозяйственных исследований используют симулятор дождя для сбора данных о почвенных стоках. (Фото Тима МакКейба)



В следующих разделах статьи представлена информация, относящаяся к сбору и использованию данных о погодных условиях, необходимых для компьютерного моделирования; разработке моделей, описывающих процессы динамики питательных элементов, пестицидов, засоления применительно к сельскохозяйственному производству. Задача Службы охраны природных ресурсов – классифицировать, оценить и рекомендовать соответствующие модели для использования в технологиях для контроля источников сельскохозяйственного загрязнения.

Обсуждение

Методы обобщения гидрологических и метеорологических данных

Разработана специальная модель оценки качества воды на уровне каждого поля – “Система управления химикатами, стоками, эрозией и сельским хозяйством” СУХСЭСХ [10]. Это трехкомпонентная система, учитывающая гидрологические процессы, эрозию и процессы химической миграции. СУХСЭСХ иллюстрирует ограничения и трудности, с которыми может столкнуться пользователь в любом месте, применяя ту или иную модель. Например, доступность подходящих метеорологических данных может определить выбор технологии моделирования стоков и временной шкалы при моделировании.

Для моделирования поверхностного стока СУХСЭСХ использует метод построения кривых стока, разработанный Службой охраны природных ресурсов (СОПР). Этот метод был модифицирован, что позволило построить модель ежедневного стока воды на основе данных об инфильтрации, влагоемкости, механическом составе почвы [23]. Обширные банки почвенных данных по графствам и штатам на уровне всей страны позволяют получить любую нужную информацию о почвах. Данные об атмосферных осадках, поступающие с 25 тыс. метеостанций, наиболее широко используются для количественной оценки погодных условий. Около 7 тыс. метеостанций проводят наблюдения на протяжении 25 лет и почти 2,5 тыс. станций одновременно с измерением осадков определяют минимальную и максимальную температуру воздуха в одном и том же месте. Однако пользователям моделей получить эти исходные данные не так уж легко. Только выборочные климатические данные могут быть получены с метеостанций. Эти данные могут быть затем проверены на отсутствующие значения и переформатированы для облегчения компьютерной обработки [20].

Для некоторых случаев применения СУХСЭСХ и других моделей, таких как “Калькулятор влияния эрозии на продуктивность” КВЭП [22] и “Моделирование водных ресурсов в сельских водоемах” МВРСВ [24], требуются данные более чем за 25 лет. Методы обобщения данных о погодных условиях были использованы в этих моделях для расширения объема данных о климатических условиях. Необходимые данные о погодных условиях включают ежедневные данные об атмосферных осадках, максимальной и минимальной температуре воздуха и солнечной радиации. Методы обобщения параметров погодных условий для ввода в модели разрабатывались на 134 метеостанциях, расположенных в разных регионах США [16].

Недавно разработана модель “Проект прогнозирования водной эрозии” ППВЭ [11]. В этой модели вместо метода построения кривых стока используется произведение осадков инфильтрационного типа. Эта новая технология требует обобщения разобщенных данных об интенсивности дождей и выделения их из ежедневных осадков (фото 10-1).

Питательные вещества

На качество воды оказывает большое влияние распространение и перемещение питательных веществ в почве, растворимых и усваиваемых растениями компонентов системы растение-почва-вода. Эти питательные вещества образуются в почве в результате применения и видоизменения органических и минеральных удобрений, разложения и распада органического вещества, а также выветривания почвенных минералов. Во многих случаях процессы, происходящие внутри системы растение-почва-вода в связи с движением, сохранением и усвоением растениями элементов питания, хорошо изучены. Основная задача в настоящее время заключается в том, чтобы (1) использовать полученную информацию для разработки лучшей системы управления и (2) интегрировать современные достижения в области биологии, микробиологии и химии для оценки качества воды.

Из большого числа элементов питания в почве для моделирования качества воды особое внимание уделяется азоту. Лишь очень немного моделей получили практическое применение для других питательных веществ. Азот лежит в основе 90% существующих моделей, относящихся к питательным веществам.



considerations have led to programs that seek to determine the amount of nitrate leaching. These programs aim to predict and better manage nitrogen, so that the quantity and residence time in the root zone are maximized and the amount exiting to ground water is minimized.

While microbiologists, chemists, soil scientists, and hydrologists study these processes in isolation, it has been recognized for two decades that a more holistic approach is required to understand and forecast the processes, interactions, and integrated impact on the environmental behavior of nitrogen. Use of computer simulation models has been the major approach to developing this understanding.

Simulation models of soil nitrogen were among the first comprehensive soil modeling efforts with initial models focusing on the relationships between various components of the system. These components include fertilizer additions, crop growth and uptake, movement of nitrate dissolved in soil-water (leaching), movement of ammonia-nitrogen (in some cases, nitrate-nitrogen), denitrification, and volatilization. A good review of the modeling of such systems is provided in Nielsen and MacDonald (15). The early development of these models, to a great degree, paralleled the development of similar models that describe the fate of inorganic salts (salinity) in the irrigated soils of the Western United States. Many of the same scientists and engineers were involved in both efforts, as it quickly became clear that the basic principles of chemical movement in soil could be assumed as a starting point in both cases. More recently, much attention has been given to pesticides, and simulation models of these chemicals in soil-water systems often begin with similar assumptions.

A variety of soil nitrogen models exist. Those that existed in the mid-1970's have been summarized in Nielsen and MacDonald (15). Since that time, a number of models have been developed. These include Agricultural Nitrogen Model (ANIMO) from the Netherlands; Chemical, Runoff, Erosion, and Agricultural Management Systems (CREAMS) from the United States; Leaching of Nitrate From Agricultural Soils (LEACHM-N) from Great Britain; Nitrogen Tillage Residue Management (NTRM) from the United States; and Nitrate Leaching and Economic Analysis Package (NLEAP) from the United States.

These models are all in various stages of development, testing, and use. As with all models, they continue to evolve as further experimentation is accomplished. However, several broad generalizations can be made. First, only a very few models have been tested by other than their own developers. This was very apparent in the recent project on "Nitrate in Soils," by the Commission of the European Communities. In this project, nine different nitrogen models were tested, but none by other than their own developers. Second, the fundamental

concepts of the cycling of nitrogen vary according to the modeler. Some models propose extensive carbon/nitrogen partitioning, some describe plant uptake, and one model (LEACHM-N) simulates volatilization. Clearly these differences in basic concepts lead to differences in model output. Third, water flow processes allow segregation of the models into two types. In one group of models, which can be considered mechanistic and deterministic, numerical methods are used to solve an appropriate form of the Richard's equation (1). In the other group, water flow is simplified to reduce the amount of input data and execution time required. Fourth, more input information is generally required for the mechanistic models, including soil hydraulic properties, bottom boundary conditions, and the magnitude of soil microbiological processes.

Pesticides

Concerns over the environmental effects of pesticides in U.S. surface waters date to the 1960's and at that time were mostly associated with the organochlorine insecticide residues that were prevalent because of their persistence, widespread use, and transport vectors in air, water, and sediment. Most of the organochlorine pesticides were banned from extensive use by the mid-1970's. However, many other pesticides used in agriculture have been detected in surface water (12). In recent years, herbicides have become the major class of pesticides applied in the United States and have been found at significant levels in water throughout major stream basins (4). Many of the insecticides in current use are nonpersistent, and any water quality problems caused by their use are most likely to occur near the site of application in association with extreme, low-probability-rainfall runoff events (12).

The prevalence of pesticides in ground water in the United States gained attention along with the ability to detect soil fumigant nematicides and water-soluble nematicide/insecticides (6). Currently, at least 46 pesticides resulting from nonpoint sources have been found in ground water in 26 States (25).

The USDA CREAMS model is used to evaluate management effects on pesticide residues in surface runoff and transported sediments. The Groundwater Loading Effects of Agricultural Management Systems (GLEAMS) model (14) developed as an extension of CREAMS, additionally simulates pesticide transport in and through the soil root zone and is applicable to a wider range of management options (photo 10-2). Specifically, GLEAMS was developed to simulate soil-water balance and surface transport of sediment and chemicals for agricultural field management units. Further, it simulates pesticides and metabolite transport in and through the plant root zone as functions of climate and management practice. Model input requirements include daily rainfall volumes; crop and management parameters; soil and physical parameters for



Повышенное внимание к содержанию азота в почве объясняется двумя причинами, и обе связаны с качеством воды. Во-первых, поскольку азот – существенный элемент развития растений и часто вносится в почву в виде удобрений или органических отходов, применение его может влиять на качество воды, если происходит избыточное выщелачивание ионов нитрата. Во-вторых, с точки зрения здравоохранения, нитраты в питьевой воде представляют угрозу для здоровья человека. В связи с этим разработаны программы изучения и определения количества выщелачиваемых нитратов. Эти программы направлены на прогнозирование и эффективное использование азота с целью длительного сохранения максимального количества азота в пределах корневой зоны при минимальном поступлении его в грунтовые воды.

Поскольку эти процессы изучаются отдельно микробиологами, химиками, почвоведом и гидрологами, в течение последних двух десятилетий была осознана необходимость разработки более комплексного подхода для понимания и прогнозирования движения, взаимодействия и интегрального эффекта от воздействия азота на окружающую среду. Понимание такой необходимости стало возможным в результате использования компьютерных моделей.

Моделирование поведения почвенного азота явилось одной из первых крупных работ в области почвенного моделирования. Первоначальные модели изучали взаимодействие различных элементов системы. Эти компоненты включали внесение удобрений, рост и поглощение сельскохозяйственными культурами питательных веществ, движение нитратов, растворенных в почвенной влаге (выщелачивание), движение аммонийного азота (в некоторых случаях нитратного азота), денитрификацию и потерю азота при улетучивании. Подробный обзор моделирования таких систем дали Нильсен и МакДональд [15].

Разработка этих моделей на ранних стадиях проводилась параллельно с разработкой моделей движения минеральных солей (засоление) в орошаемых почвах на Западе США. Поскольку многие ученые и инженеры участвовали в создании обеих моделей, то вскоре им стало очевидно, что отправным пунктом в обоих случаях являются основные принципы химических процессов в почвах. Позднее было обращено особое внимание на пестициды; моделирование перемещения этих химикатов в системе почва-вода часто строится на основе тех же самых принципов.

Существуют разнообразные модели динамики почвенного азота. Модели, разработанные до середины 70-х годов, обобщены в работе Нильсен и МакДональд [15]. С тех пор было разработано много новых моделей. В Нидерландах создана “Сельскохозяйственная азотная модель” САМ, в США – СУХЭСХ, в Великобритании – “Выщелачивание нитратов из сельскохозяйственных почв (ВНСП)”, ИАПП – “Использование азота при почвообработке” и АНВЭ – “Анализ нитратного выщелачивания и экономики”.

Все эти модели находятся на разной стадии своего развития, проверки и использования. Они постоянно пополняются новыми экспериментальными данными. Однако можно сделать несколько общих наблюдений. Во-первых, не все модели прошли независимые испытания. Это стало очевидным в недавнем проекте Комиссии Европейского сообщества “Нитраты в почве”. В ходе реализации проекта было испытано 9 моделей, причем каждая модель испытывалась самими разработчиками. Во-вторых, нет единого понятия о круговороте азота. Некоторые модели основаны на интенсивном фракционировании углерода и азота, другие описывают усвоение растениями этих элементов питания, одна модель (ВНСП-М) имитирует потери при улетучивании. Вполне очевидно, что такие различия в основных понятиях приводят к различным результатам моделирования. В-третьих, существует два типа моделей движения воды. Первый тип построения моделей, который можно назвать механистическим и детерминистским, основан на численных методах с использованием уравнения Ричарда [1]. Второй тип упрощает процесс течения воды в целях экономии времени и сокращения объема вводимых в компьютер данных. В-четвертых, для имитационных моделей требуется ввод более полной информации, включая данные о гидрологических свойствах почвы, о подстилающих породах, о всем многообразии микробиологических процессах, происходящих в почве.

Пестициды

В США экологические исследования по изучению влияния пестицидов на поверхностные воды были начаты в 1960-е годы и касались, в основном, хлорорганических инсектицидов как наиболее широко применяемых, устойчивых и легко мигрирующих в воздушной, водной среде и в виде механических наносов. К середине 1970-х годов использование большинства хлороорганических пестицидов было запрещено, однако в поверхностных водах обнаруживаются другие виды пестицидов, оказывающие негативное влияние на качество воды



soil detachment and transport; pesticide properties, i.e., solubility, expected half-life in soil and on foliage, and adsorptivity; and soil physical data by horizon necessary to route water and chemicals. Model output includes runoff, percolation, and sediment; pesticide masses in runoff attached to sediment and in percolate through the root zone; and irrigation applied. Output frequency can be daily, monthly, or yearly. While daily output can provide data on distribution of pesticides within the root zone, GLEAMS is best used for comparative analysis of complex soil, pesticide management, and climate scenarios (13).

While GLEAMS is primarily a management-type model, others have been developed that are especially useful for screening purposes (9), regulatory decisions, (2) and research (21).

Most of the available models apply to field-scale, homogeneous management units and to one-dimensional subsurface pesticide transport. Application of these models on a watershed scale, however, will be primarily for assessing source-loading potentials and selecting management practices to limit pesticide transport off site. Available pesticide transport models do not distribute or proportion pesticide loads and concentration pulses at the basin outlet to the individual source areas. Additional research and data bases are needed to develop and evaluate distributed basin-scale pesticide transport models.

A pesticide properties data base was formulated and released in 1990 by USDA (5). Member companies of the pesticide industry joined with USDA agencies, primarily ARS and NRCS, to develop the data base. It contains approximately 230 commonly used pesticides in the United States and lists such variables as the chemical and trade names, half-life, solubility, and soil-water partitioning coefficients (K_{oc}). An earlier, unpublished version of the data base was used to develop a screening procedure to simulate soil-pesticide interaction. That version matched soil and pesticides to determine the overall potential for pesticides to leach or run off. The procedure was developed using multiple runs of the GLEAMS model.

Salinity

The important features required to model salinity in soil are a representation of the transport process and a representation of the solution chemistry. The transport model consists of a differential equation expressing the principle of solute mass balance, combined with a flux differential equation describing the rate of flow of mass. The usual flux law invoked is the convection-dispersion equation, describing the flow of dissolved solute as (1) a combination of mass flow resulting from a moving solution and (2) a random mixing (dispersion) process within the solution phase. Another way to create a

convective-dispersive process is by computer calculations that divide the soil into a series of mixing cells. In this procedure, commonly used in chromatographic theory, solute is transported for a short time by piston flow through and between soil regions divided into cells, and then the contents of a cell are averaged. The number of cells per unit length plays the same role as the dispersion coefficient.

The process model used to represent solution chemistry is usually the principle of thermodynamic equilibrium. The equations used to represent the equilibrium condition among the set of inorganic compounds commonly found in a soil system are typically of the following types: Conservation equations for each element or ionic species, charge balance equation, precipitation-dissolution reaction equations, ion-pair reaction equations, cation exchange equations, and carbon dioxide (CO_2) or pH constraint equations.

Modern computers are able to solve large systems of equations rapidly, so that relatively complex solution calculations can be performed routinely. This has allowed the transport and chemical equilibrium components of the overall model to be combined by dividing the soil into a set of mixing cells that are equilibrated after allowing the dissolved constituents to move within and between the cells according to the transport algorithm. Thus, as the solution is transported, it comes into contact with new, stationary solid phase material, requiring a new equilibrium calculation to be performed.

The computational procedure is easily extended to include water uptake by plant roots by simultaneously calculating water transport with a flow model. In this case, the solution constituents are temporarily brought into disequilibrium by



Photo 10-2. Water quality concerns over the management of pesticide use have led USDA to development models like CREAMS and GLEAMS to help evaluate the effects of pesticide residues in surface runoff and groundwater. (Tim McCabe photo)

Фото 10-2. Проблемы качества воды при использовании пестицидов привело МСХ США к развитию моделей СУХЭСХ и ЭСГВЗССМ для того, чтобы оценить эффект остатков пестицидов на качество поверхностных и грунтовых вод. (Фото Тима МакКейба)



[12]. Гербициды, широко применяемые в настоящее время в США, в заметных количествах обнаруживаются в последние годы в водах главных речных бассейнов, что существенно сказалось на ухудшении качества вод, особенно в реках [4]. Многие пестициды в речных водах не отличаются устойчивостью, проблемы их использования возникают чаще всего в экстремальных условиях стока, связанных с избыточным выпадением осадков [12].

Распространение пестицидов в грунтовых водах в США привлекло внимание ученых одновременно с развитием аналитических методов обнаружения в водах фунгицидов, нематоцидов и водорастворимых нематоцидо-инсектицидов [6]. В настоящее время по меньшей мере 46 видов пестицидов из неустановленных источников обнаружены в грунтовых водах 26 штатов страны [25].

Модель Министерства сельского хозяйства США СУХСЭСХ используется для оценки влияния управления на остатки пестицидов в поверхностных стоках и перемещении наносов. Модель ЭСГВЗССМ [14], развиваемая на основе СУХСЭСХ, дополнительно имитирует перемещение пестицидов внутри корневой зоны почвы и применима к широкому кругу хозяйственных задач (фото 10-2). Конкретно эта модель разрабатывалась для определения баланса почвы и воды, переноса наносов и химикатов на уровне каждого поля. Кроме того, она моделирует перемещение пестицидов и метаболитов в пределах корневой зоны как функции климата и агротехнических приемов. На входе модель учитывает ежедневные данные о количестве осадков, параметры возделываемой культуры и приемы ее обработки, физические свойства почв (дисперсность, водопроницаемость), свойства пестицидов, т.е. растворимость, расчетный период полураспада в почве и листьях растений; фильтрационные свойства почвенных горизонтов по отношению к воде и химикатам. На выходе модели – информация о поверхностном стоке, просачивании воды в почве и переотложении наносов, о количестве пестицидов в осадках поверхностного стока и в корневой зоне и о применяемом орошении. Выходная информация может предоставляться на каждый день, на месяц и на целый год. Однако модель ЭСГВЗССМ более пригодна для сравнительного анализа комплексных сценариев прогнозирования изменений почвенных и климатических условий, приемов обработки пестицидами [13].

Помимо этой модели, имитирующей в первую очередь процессы управления хозяйственной деятельностью, разработаны и другие, применяемые для целей охраны

окружающей среды [9], управленческих решений [2] и для исследовательских целей [21].

Большинство существующих моделей разработано на уровне поля – однородной хозяйственной единицы и для одномерной характеристики поверхностного переноса пестицидов. В масштабах водосборного бассейна они могут быть использованы для оценки потенциала нагрузки на источник и выбора агротехнических приемов с целью предотвращения переноса пестицидов за пределы того поля, где они были внесены. Пока не существует подходящей модели для оценки переноса пестицидов во всем бассейне; соотношение нагрузки и концентраций в водосборе отдельного источника обычно распространяется на весь бассейн. Чтобы достоверно оценить перенос пестицидов в масштабе бассейна, требуются дополнительные результаты исследований и новый банк данных.

Банк данных о свойствах пестицидов введен в действие МСХ США в 1990 г. [5]. В его разработке принимали участие представители компаний по производству пестицидов вместе со специалистами Министерства сельского хозяйства, в первую очередь Службы сельскохозяйственных исследований и Службы охраны природных ресурсов. В банке данных имеется информация о 230 видах пестицидов, используемых в сельском хозяйстве США, и перечисляются их характеристики: химические и торговые наименования, период полураспада, растворимость, коэффициент фракционирования (K_{oc}). Ранее неопубликованный вариант банка данных был использован для моделирования взаимодействия между почвой и пестицидами в процессе их миграции: общий потенциал очищения от пестицидов определялся по сочетанию характеристик почвы и пестицидов. При дальнейшем развитии этого подхода использованы многочисленные направления, основанные на использовании модели ЭСГВЗССМ.

Засоление почв

Модель засоления почвы имитирует процесс переноса солей и химизм раствора. Построение модели переноса солей проводится с учетом дифференциального уравнения баланса растворимой массы и уравнения скорости потока этой массы. Это обычно применяемое уравнение процесса конвекции-дисперсии, описывающее поток растворенного вещества как (1) сочетание множества отдельных струй, образующихся в процессе растворения и (2) процесс беспорядочного рассеяния вещества растворимой фазы в растворе. Другой путь создания такой модели – это расчет с помощью компьютера, позволяющий разделить почву



the concentrating effect of water extraction from the root zone. At the new concentration levels, some salts such as lime or gypsum may exceed their solubility and precipitate out of the solution.

This type of salinity model was originally developed for simple water systems (3), but later was extended to applications of sufficient complexity that typical irrigation waters used in agriculture could be represented (7) (17). With modern computer speed, the chemical equilibrium subroutines can now handle hundreds of equations simultaneously, allowing trace metal chemistry and even organic-inorganic complexes to be modeled as thermodynamic equilibrium systems.

Through coupling of the transport and reaction submodels, the soil salinization process can be represented much more accurately than through earlier, simpler models. For example, Jury and Pratt (8) compared three models of solute transport during crop irrigation, and found wide differences in predicted salinity depending on the complexity of the model.

Many different computer programs are available to model water and salt movement in soil. For simple ions of agricultural interest (e.g., nitrate), the number of equations required to model the transport and reaction processes is relatively small, because solid phase reactions are simple or nonexistent and complexes with other ions in solution may be ignored.

Model Limitations

Despite the sophistication of the model representations and calculation algorithms, there remain a number of limitations to their application. These limitations are the focus of much of the research now underway.

Model Classification, Evaluation, and Selection

Currently, NRCS is identifying and selecting water quality model(s) for use in its field and State offices to assess the potential for nonpoint source pollution from agricultural and other sources (18). These models will be used to analyze selected Hydrologic Unit Areas (HUA) projects. USDA's water quality initiative calls for implementing up to 275 HUA projects between 1990 and 1994—37 were implemented in 1990 and 37 more in 1991.

Each of the 1990 HUA project plans was analyzed for (a) location of the water quality problem; (b) type of water use impaired; (c) specific water quality constituents (e.g., fine sediment, nitrogen, etc.) causing the impairment; and (d) physical, chemical, biological, economic, ecological, social, and management processes involved. Matrix tables were developed listing each HUA as a line item, with column

headings identifying the location and type of water quality problems and model processing required.

A list of available agriculture-related water quality models was compiled for use by others. These models were classified with respect to the specific physical and chemical processes modeled, and their computer program attributes were also classified. Distinctions were made between (a) field size and watershed scale models, (b) process models, databases, and support models, and (c) models and their computer programs. NRCS also developed a matrix listing each model as a line item with corresponding appropriate HUA column headings plus the desired computer model features to show their efficacy, efficiency, and usability.

Rigorous model selection criteria were developed, and seven evaluation elements were identified and defined. They are (1) validation, (2) verification, (3) documentation,

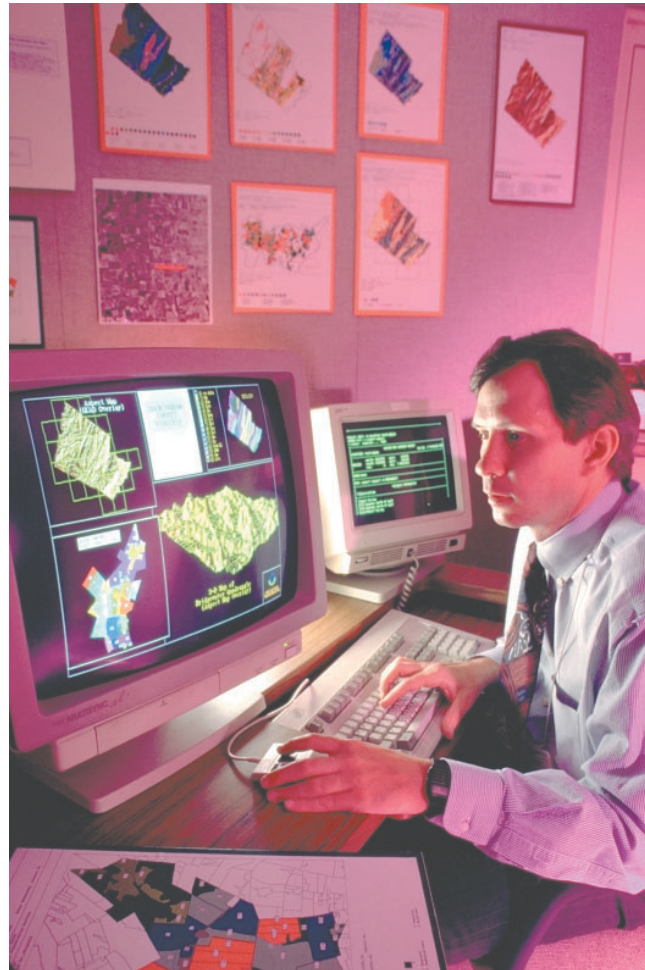


Photo 10-3. Ultimately, data collected by water quality computer models will be incorporated into Geographic Information Systems used to address water quality problems. (Tim McCabe photo)

Фото 10-3. В конечном счете, данные, собранные с помощью компьютерных моделей, будут включены в Географические информационные системы, которые используются для решения проблемы качества воды. (Фото Тима МакКейба)



на ряд ячеек перемешивания. В этой процедуре, обычно используемой в теории хроматографии, раствор перемещается за короткий промежуток времени поршневым способом в виде потока внутри и между участками почвы, разделенными на клетки, а затем содержимое ячеек усредняется. Число ячеек на единицу длины играет ту же роль, что и коэффициент рассеяния.

Модель, имитирующая химизм растворения, обычно строится по принципу термодинамического равновесия. Уравнения расчета равновесия целого ряда минеральных соединений, обычно встречающихся в почве, различаются по типу: уравнения сохранения для каждого элемента или вида ионов, уравнения баланса массы, уравнения реакции растворения, уравнения реакции ионной пары, уравнения катионного обмена, уравнения расчета углекислоты (CO_2) или pH почвы.

Современные компьютеры способны быстро решать большие системы уравнений, так что есть возможность осуществлять сложные расчеты для построения моделей переноса и химического равновесия компонентов для почвы в целом путем разделения ее на ряд ячеек, которые уравниваются при переносе растворимых компонентов внутри каждой ячейки и между ними в соответствии с алгоритмом переноса. При выносе растворимой фазы равновесие нарушается, происходит новое растворение твердой фазы, что влечет за собой новый расчет равновесия.

Процесс расчета легко можно расширить за счет расчета поглощения воды корнями растений при одновременном расчете водного переноса на основе модели потока. В этом случае компоненты раствора временно оказываются в неравновесном состоянии при экстракции воды из корневой зоны. При другом уровне концентрации такие соли, как известь или гипс, осаждаются из раствора.

Этот тип модели засоления был первоначально разработан для простых систем расчета [3], а потом и для более сложных, чтобы представить поток оросительной воды [7, 17]. При современном уровне быстродействия компьютера можно одновременно решать сотни уравнений для расчета химизма микроэлементов и даже комплексных органико-минеральных соединений, моделируемых на основе систем термодинамического равновесия.

Путем объединения субмоделей переноса и химического взаимодействия процесс засоления почвы можно моделировать с большей точностью по сравнению с ранее разработанными простыми моделями расчета этого процесса. Например, Juri and

Pratt [8] сравнивали три модели передвижения раствора при орошении и установили большие различия при прогнозировании процесса засоления в зависимости от сложности модели.

Для моделирования движения воды и солей в почве может быть использовано множество разных компьютерных программ. Для простых ионов (например, нитратов) требуется небольшое число уравнений при моделировании процессов переноса и взаимодействия, поскольку их взаимодействие с твердой фазой достаточно простое или несущественное, а комплексы с другими ионами в растворе можно не учитывать.

Предельные возможности модели

Несмотря на чрезвычайное усложнение моделей и алгоритмов расчетов, существует ряд ограничений в их применении. Эти ограничения в применении моделей остаются в центре внимания многих исследователей.

Классификация, оценка и выбор моделей.

В настоящее время Служба охраны природных ресурсов СОПР определяет и отбирает модели качества воды для оценки потенциального загрязнения источников в результате сельскохозяйственной деятельности [18]. Эти модели используются при анализе и оценке выбранных проектов изучения гидрологических участков. По инициативе МСХ США, в период 1990-1994 гг. намечено к реализации около 275 проектов; из них 37 проектов выполнено в 1990 г. и еще 37 – в 1991 г.

Каждый из проектов 1990 г. был проанализирован на (а) месторасположение проблемы качества воды, (б) тип водопотребления, (в) специфические компоненты качества воды (осадок, азот и т.д.), вызывающие его ухудшение, (г) физические, химические, биологические, экономические, социальные и другие процессы. Были составлены матричные таблицы, по строкам которых перечислялись проекты, а по столбцам – решаемые проблемы качества вод, привязка к местности и необходимые модели для их решения.

Составлен также список всех существующих моделей качества воды, связанных с сельским хозяйством. Проведена их классификация с учетом моделируемых физических и химических процессов и их компьютерных решений. Показаны различия в отношении их пригодности (а) в масштабе одного поля и целого речного бассейна; (б) в связи с наличием моделей и процессов, банка данных и вспомогательных моделей; (в) в связи с наличием компьютерных



(4) sensitivity, (5) consistency, (6) peer review, and (7) corroboration. The selection criteria also include the guarantee of initial support from the model developer's agency to (a) provide training, (b) assist with implementation, and (c) provide source code corrections for critical updates or revisions.

The models are being evaluated, classified, and cross-referenced to the HUA requirements. NRCS staff are peer-reviewing each computer model. This review—similar to an alpha test—includes written reports that facilitate professional discussions with model developers so that necessary revisions can be made prior to field testing—the beta test.

Field data sets are to be gathered and digitized for use with a Geographic Information System (GIS) (photo 10-3). The GIS will provide the input files to any of the proposed computer models so that the same basic field data set can be used to help evaluate any desired combination of

computer models. SCS will select a final set of water quality models after it has completed beta test discussions with model developers.

Conclusion

Major water quality research and evaluation goals in the United States are (1) to determine the extent and severity of water quality problems attributable both to contamination from agricultural activities including utilization of nutrients, pesticides, and organic waste and to the aggravation of conditions resulting from naturally occurring salts; and (2) to develop and evaluate agricultural management systems necessary to alleviate current and potential water quality problems (19). It is the goal of action agencies such as NRCS to translate the research results into effective techniques that agricultural producers can use to address water quality problems and needs. Computer models can play an important role in achieving these goals.



программ моделей. Служба охраны природных ресурсов СОПР также составила матрицу, где по строкам перечислены модели, а по столбцам – особенности их компьютерных решений для сравнения их эффективности, рентабельности и практичности.

Разработаны жесткие критерии отбора моделей и выделены семь элементов их оценки: (1) законность, (2) подтвержденность, (3) наличие документов, (4) воспринимаемость, (5) логичность, (6) наличие рецензии и (7) подтверждение фактическими материалами. Критерии отбора учитывали также гарантии со стороны разработчиков в оказании поддержки при: (а) проведении обучения, (б) оказании технической помощи в использовании, (в) корректировке кода для приведения его в соответствие с требованиями.

Таким образом, все модели качества воды оценены, классифицированы, снабжены перекрестными ссылками и оформлены в соответствии с требованиями. Сотрудники СОПР рецензируют каждую модель, причем рецензия включает так называемый альфа-тест - письменный отчет, который содержит рекомендации авторам по внесению необходимых с профессиональной точки зрения исправлений перед испытаниями на практике (бета- тест).

Полевые данные собираются и переводятся в числовую форму для использования с Географической информационной системой (ГИС) (фото 10-3). Система обеспечивает исходный материал для любой предложенной компьютерной модели таким образом, что те же самые базовые полевые данные могут быть использованы для оценки любой нужной комбинации компьютерных моделей. Окончательный набор моделей качества воды выбирается после завершения обсуждения бета-теста с разработчиками моделей.

Выводы

Основные цели исследований и оценки качества воды в США: определение актуальности и остроты проблемы качества воды, связанной как с загрязнением в результате сельскохозяйственной деятельности при использовании удобрений, применении пестицидов и органических отходов, так и с активизацией природных процессов засоления в почве; (2) развитие и оценка систем управления сельского хозяйства, необходимых для облегчения решения текущих и потенциальных проблем качества воды [19]. Основной задачей действующих организаций, в том числе Службы охраны природных ресурсов, является

трансформация результатов исследований в эффективные технологии, которые сельскохозяйственные производители могли бы использовать для решения проблем качества воды. Компьютерные модели могут сыграть важную роль в достижении этих целей.

Литература

1. Аддискотт, Т. М. и Р. Дж. Вагенет. 1985. Концепции перколяции растворов в почвах: обзор подходов к моделированию. Почвоведение, 36:411-424.
2. Карсел, Р.Ф., Л. А. Малки, М.Н. Лорбер и Л. Б. Баскин. 1985. Модель пестицидов в корневой зоне (МПКЗ): Процедура оценки угрозы попадания пестицидов в грунтовые воды. Экологическое моделирование, 30:49:69.
3. Датт, Г. Р. и К.К. Танджи. 1962. Предсказание концентраций растворов, просачивающихся через почвенную колонну. Журнал геофизических исследований, 69: 3437-3493.
4. Гулсби, Д. А., Е. М. Серман, Д. В. Колпин и М. Г. Детрой. 1989. Рекогносцировочное исследование гербицидов триазиновой группы в наземных водах в верхних средне – западных штатах. Геологическая служба США, Отчет открытых архивов. 89-409, 31 с.
5. Госс, Дон и Р. Дон Ваучопе. 1990. База данных Служба охраны почв/Службы сельскохозяйственных исследований/Службы экономических исследований II, ее использование в процедуре поиска. Протоколы 3-й Национальной исследовательской конференции по пестицидам, ноябрь 8-9.
6. Холден, П.В. 1986. Пестициды и качество грунтовых вод. Спорные вопросы и проблемы в четырех штатах. Национальный совет по исследованиям, Сельскохозяйственный отдел, Национал Экадеми Пресс, Вашингтон, округ Колумбия. 124 с.
7. Джюри, В. А., Х. Френкел и Л.Х. Столци. 1978. Переходные изменения в системе почва-вода от ирригации соленой водой. I. Теория. Журнал Американского общества почвоведения, 42:579-584.
8. Джюри, В. А., и П.Ф. Пратт. 1980. Оценка солевой нагрузки ирригационных дренажных вод. Журнал качества окружающей среды, 9:141-146.



References

1. Addiscott, T.M. and R.J. Wagenet. 1985. Concepts of Salute Leaching in Soils: A Review of Modeling Approaches. *J. Soil Sci.* 36:411-424.
2. Carsel, R.F., L.A. Mulkey, M.N. Lorber, and L.B. Baskin. 1985. The Pesticide Root Zone Model (PRZM): A Procedure for Evaluating Pesticide Leaching Threats to Ground Water. *Ecological Modeling* 30:49:69.
3. Dutt, G.R. and K.K. Tanji. 1962. Predicting Concentrations of Solutes in Water Percolating through a Column of Soil. *J. Geophys. Res.* 69: 3437-3493.
4. Goolsby, D.A., E.M. Thurman, D.W. Kolpin, and M.G. Detry. 1989. A Reconnaissance for Triazine Herbicides in Surface Waters of the Upper Midwestern United States. U.S. Geol. Surv. Open File Rept. 89-409, 31 pp.
5. Goss, Don and R. Don Wauchope. 1990. The SCS/ARS/CES Pesticide Properties Database: II, Using it with Soils Data in a Screening Procedure. Proceedings of the Third National Research Conference on Pesticides, Nov. 8-9.
6. Holden, P.W. 1986. Pesticides and Ground Water Quality. Issues and Problems in Four States. National Res. Coun., Board on Agric., National Acad. Press, Washington, DC. 124 pp.
7. Jury, W.A., H. Frenkel and L.H. Stolzy. 1978. Transient Changes in the Soil Water System from Irrigation with Saline Water. I. Theory. *Soil. Sci. Soc. Amer. J.* 42:579-584.
8. Jury, W.A., and P.F. Pratt. 1980. Estimation of the Salt Burden of Irrigation Drainage Waters. *J. Environ. Qual.* 9:141-146.
9. Jury W.A., W.F. Spencer, and W.J. Farmer. 1984. Behavior Assessment Model for Trace Organics in Soil: III. Application of Screening Model. *J. Environ. Qual.* 13:573- 579.
10. Knisel, W.G., ed. 1980. CREAMS: A Field Scale Model for Chemical, Runoff, and Erosion from Agricultural Management Systems. USDA Conser. Res. Rept. No. 26, 643 pp.
11. Lane, L.J. and M.A. Nearing, eds. 1989. USDA-Water Erosion Prediction Project: Hillslope Profile Model Documentation. NSERL Rept. No. 2., USDA-ARS National Soil Erosion Res. Lab., West Lafayette, IN, 158 pp.
12. Leonard, R.A. 1990. Movement of Pesticides in Surface Waters. In *Pesticides in the Soil Environment*. H.H. Cheng, ed., Ch. 9, pp. 303-349. Soil Sci. Soc. Amer. SSSA Book Series No. 2, Madison, WI.
13. Leonard, R.A., W.G. Knisel, and F.M. Davis. 1990. The GLEAMS Model - A Tool for Evaluating Agrichemical Ground Water Loading as Affected by Chemistry, Soils, Climate and Management, pp. 187-197. In: *Transferring Models to Users*. E.B. Janes and W.R. Hotchkiss, eds., American Water Resources Association, Bethesda, MD.
14. Leonard, R.A., W.G. Knisel, and D.A. Still. 1987. GLEAMS: Ground Water Loading Effects of Agricultural Management Systems. *Trans. of the ASAE* 30:1403-1418.
15. Nielsen, D.R. and J.G. MacDonald, eds. 1978. *Nitrogen in the Soil Environment: (Volume 1) Nitrogen Behavior in Field Soil*. Academic Press, New York, NY.
16. Richardson, C.W. and A.D. Nicks. 1990. Weather Generator Description. In Sharpley, A.N. and J.R. Williams, eds. *EPIC—Erosion/Productivity Impact Calculator: 1. Model documentation*. USDA Tech. Bull. 1768, 235 pp.
17. Robbins, C.W., R.J. Wagenet, and J.J. Juninak. 1980. A Combined Salt Transport-Chemical Equilibrium Model for Calcareous and Gypsiferous Soils. *Soil Sci. Soc. Amer. J.* 44:1191-1194.
18. SCS. 1990. Classification and Evaluation of Models in Support of the SCS 5-year Water Quality and Quantity Plan of Operations. USDA-SCS, Eng. Rept., Nov. 9, 1990.
19. U.S. Department of Agriculture. 1989. USDA Research Plan for Water Quality. Agric. Res. Serv. and Coop. State Res. Serv., Washington, DC, 14 pp.
20. USDA-SCS. 1987. Weather Data Environmental Engineering Note 1. 100 pp.
21. Wagenet R.J. and J.C. Hutson. 1986. Predicting the Fate of Nonvolatile Pesticides in the Unsaturated Zone. *J. Environ. Qual.* 15:315-322.
22. Williams, J.R., C.A. Jones, and P.T. Dyke. 1984. A Modeling Approach to Determining the Relationship between Erosion and Soil Productivity. *Trans. ASAE* 27(1):129-144.



9. Джюри В. А., В.Ф. Спенсер и В.Дж. Фармер. 1984. Модель оценки поведения следов органических веществ в почве: III. Применение поисковой модели. Журнал качества окружающей среды, 13:573- 579.
10. Книзел, В.Г., редактор. 1980. СУХСЭСХ: полевая модель поверхностного стока химикатов и эрозии в системе сельскохозяйственного менеджмента. Природоохранный исследовательский отчет № 26 МСХ США, 643 с.
11. Лэйн, Л.Дж. и М. А. Ниринг, редакторы. 1989. Проект предсказания водной эрозии МСХ США: документация модели профиля холма. Отчет № 2 Национальной исследовательской лаборатории эрозии почв службы сельскохозяйственных исследований МСХ США, Западный Лафаетт, Индиана, 158 с.
12. Леонард, Р.А. 1990. Движение пестицидов в наземных водах. В книге “Пестициды в Почве”. Х.Х. Ченг, редактор, глава 9, с. 303-349. Американское общество почвоведения (АОП). Серия книг АОП № 2, Мэдисон, Висконсин.
13. Леонард, Р.А., В.Г. Книсел и Ф. М.Дэвис. 1990. Модель ЭСГВЗССМ –инструмент для оценки содержания агрохимикатов в грунтовых водах в зависимости от химического состава, почв, климата и менеджмента, с. 187-197. В книге: Передача модели пользователям. Е.Б. Джейнс и В.Р. Хотчкисс, редакторы. Американская ассоциация водных ресурсов, Бесезда, Мэриленд.
14. Леонард, Р.А., В.Г. Книсел и Д. А. Стилл. 1987. ЭСГВЗССМ: эффект состава грунтовых вод в зависимости от систем сельскохозяйственного менеджмента. Транскрипты АОСИ, 30:1403-1418.
15. Нильсен, Д.Р. и Дж.Г. МакДональд, редакторы. 1978. Азот в почве: (Т. 1) Поведение азота в почвах. Академик Пресс, Нью-Йорк, Нью-Йорк.
16. Ричардсон, С.В. и А. Д. Нике. 1990. Описание генератора погоды. В книге Шарпли, А.Н. и Дж. Р.Вильямса (редакторы)– КВЭП - калькулятор влияния эрозии на продуктивность: 1. Документация модели. Технический Бюллетень МСХ США 1768, 235 с.
17. Роббинс, С.В., Р. Дж. Вагенет и Дж.Дж. Джунинак. 1980. Объединенный транспорт солей –модель химического равновесия для почв с высоким содержанием кальция и гипса. Журнал Американского общества почвоведения, 44:1191-1194.
18. Служба охраны почв. 1990. Классификация и оценка моделей в поддержку 5-летнего плана действий службы охраны почв по количеству и качеству воды. Служба охраны почв МСХ США, инженерный отчет, ноябрь 9, 1990.
19. МСХ США. 1989. План МСХ США по исследованию качества воды. Служба сельскохозяйственных исследований и Кооперативная служба исследований штата, Вашингтон, округ Колумбия, 14 с.
20. Служба охраны почв МСХ США. 1987. Сборник 1. Погодные данные экологической инженерии. 100 с.
21. Вагенет Р.Дж. и Дж. С. Хатсон. 1986. Предсказание транспорта нелетучих пестицидов в ненасыщенной зоне. Журнал качества окружающей среды, 15:315-322.
22. Вильямс, Дж. Р., С.А. Джонс и П. Т.Дайк. 1984. Модельный подход к определению взаимоотношений между эрозией и продуктивностью почвы. Транскрипты АОСИ, 27(1):129-144.
23. Вильямс, Дж. Р. и А. Д. Никс, 1982. Гидрологическая модель СУХСЭСХ –опция один. В книге В. П. Синга (редактор) – Прикладная гидрология моделирования Бассейнов. Протоколы Международного Симпозиума по моделированию осадков и стока. Публикации о водных ресурсах, Литтлтон, Колорадо, с. 69-86.
24. Вильямс, Дж. Р., А. Д. Никс и Дж.Г. Арнольд. 1985. Симулятор водных ресурсов в сельских бассейнах. Журнал гидравлической инженерии, АОГИ, 11 1(6):970-986.
25. Вильямс, В.М., П.В. Холден, Д.В. Парсонс и М.Н.Лорбер. 1988. База данных по пестицидам в грунтовых водах, промежуточный доклад 1988. Агенство по защите окружающей среды США, Отдел пестицидов, 37 с.

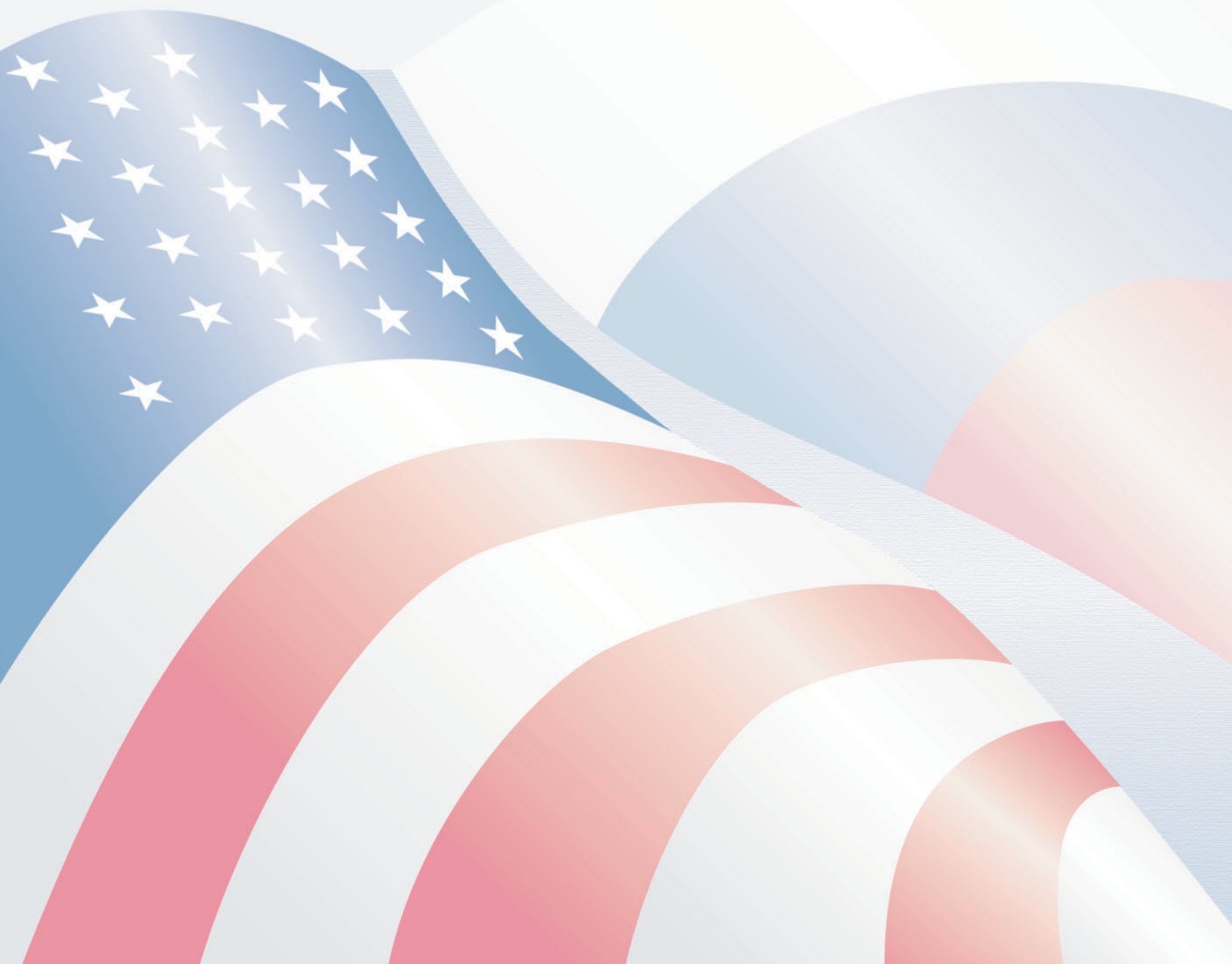


23. Williams, J.R. and A.D. Nicks, 1982. CREAMS Hydrology Model—Option One. In V.P. Singh, ed. Applied Modeling Catchment Hydrology. Proceedings Intl. Symp. Rainfall-Runoff Modeling. Water Resources Publications, Littleton, CO, pp 69-86.
24. Williams, J.R., A.D. Nicks, and J.G. Arnold. 1985. Simulator for Water Resource in Rural Basins. J. Hydraulic Eng., ASCE, 111(6):970-986.
25. Williams, W.M., P.W. Holden, D.W. Parsons, and M.N. Lorber. 1988. Pesticides in Ground Water Data Base, 1988 Interim Report. U.S. Environ. Prot. Agency, Office Pesticide Programs., 37 pp.



**Статьи, написанные
авторами из России**

Russian Authored Articles



Защита почв от эрозии

Soil Protection Against Erosion



Защита почв от эрозии

А.Н. Каштанов, Л.Л. Шишов, П.С. Трегубов*, А.С. Извеков, А.Г. Тарарико, В.Г. Ткаченко

Резюме

Раскрыты природные и антропогенные факторы эрозии и дефляции, даны оригинальные научные и практические решения (модели) по зонам с учетом ландшафтных особенностей территории, обеспечивающие рациональное использование сельскохозяйственных угодий, повышение их плодородия и продуктивности.

Введение

На большей части территории, интенсивно используемой в сельском хозяйстве, природные факторы (климат, расчлененность рельефа, геологическое строение и состав пород, почва и растительность), а также хозяйственная деятельность человека способствуют проявлению эрозии почв. Ущерб от ускоренной эрозии ежегодно исчисляется миллиардами рублей, на эродированных почвах хозяйства не добирают от 20 до 60% урожая. Несмотря на недостаточность увлажнения, в основных зерновых

районах годовой местный сток дождевых и талых вод составляет 4384 км³, потери почвогрунта достигают около 3 млрд т. Со смытой почвой ежегодно теряется примерно 100 млн т гумуса, 17 млн т азота и фосфора и большое количество калия, происходит заиление водохранилищ.

Если водная эрозия, вызываемая тальми водами и ливнями, проявляется преимущественно в лесостепной зоне с черноземными, серыми лесными и дерново-подзолистыми почвами, то ветровая эрозия (дефляция) приурочена к степной и полупустынной зонам, где господствуют ветры со скоростью, превышающей 15 м/с, и распространены карбонатные черноземы и каштановые почвы со слабой противозэрозийной устойчивостью.

Во многих районах взаимодействуют водная эрозия, вызываемая тальми водами, затем ливневая и ветровая или наоборот. Негативные природные факторы усиливаются отрицательными антропогенными воздействиями, способствующими ускоренной эрозии и деградации почв, что в значительной мере снижает эффективность земледелия. На таких угодьях необходимо применять



Фото 1-1. В регионах России с интенсивным земледелием высокий уровень эрозии может привести к уменьшению урожая на 20-60%. (Российское фото)

Photo 1-1. In intensively farmed regions of Russia, high erosion rates can affect crop yields by 20-60 percent. (Russian photo)



Фото 1-2. Во Всероссийском научно-исследовательском институте по агрономии и эрозии (Курская область), российские ученые демонстрируют использование почвозащитной системы. Эта система использует комбинацию террас, контурной вспашки, лесополос, севооборотов и почвозащитной обработки. (Фото Тима МакКейба)

Photo 1-1. At the All-Russian Research Institute of Agronomy and Soil Erosion Control near Kursk, Russian scientists demonstrate the use of conservation systems to reduce water erosion. This system uses a combination of practices such as terracing, contouring, tree shelterbelts, crop rotation, and reduced tillage. (Tim McCabe photo)



Soil Protection Against Erosion

A.N. Kashtanov, L.L. Shishov, P.S. Tregubov, A.S. Izvekov, A.G. Tarariko, and V.G. Tkachenko*

Abstract

Natural and human-caused factors of soil erosion and deflation are discussed. Original scientific and practical models are shown to promote efficient agricultural use of soils as well as their increased fertility and productivity, taking into account peculiar features of landscapes in some regions of the country.

Introduction

The development of soil erosion in vast areas of intensive agricultural use depends not only on natural factors such as climate, dissected relief, and geological composition of rocks, soil and vegetation but also on changes resulting from human activity. The most voluminous losses of soil are usually estimated at several billion roubles per year; 20 to 60 percent of yield is lost due to soil erosion. In spite of insufficient soil moisture in the main crop-producing regions, the annual runoff of rain and thawing waters comprises 4,384 km³, and soil loss reaches about 3 billion tons. Approximately 100 million tons of humus, 17 million tons of nitrogen and phosphorus, and a great amount of potassium are lost each year due to water erosion; as a result, water reservoirs fill with silt.

If water erosion, caused by snowmelt and rainstorms, is widely spread within the forest-steppe zone predominated by chernozems, grey forest, and sod-podzolic soils, then wind erosion is attributed to steppe and semi-desert zones, where winds with a velocity of 15 m/sec prevail and where calcareous chernozems and chestnut soils with low erosion resistance are usually found.

In many regions a combination and interaction of water erosion caused by snowmelt, rainstorms, and wind erosion (deflation) is observed. Negative natural factors are exacerbated by human-caused impacts that augment the soil erosion process and soil degradation, thus decreasing the efficiency of arable farming. It is essential to apply a combination of soil-protective measures to prevent soil washout and blowing as well as to increase the soil fertility and crop yield. This combination includes the following measures for soil erosion control:

- Erosion-preventive organization of the territory (allocation of field boundaries, forest shelterbelt strips, roadways, cattle routes) across the slope or at a right angle to the prevailing winds;

- Agrotechnical measures (cross-slope tillage of soils, soil-protecting crop rotations, crop residues in the field, etc.);
- Agroforestry measures (creation of forest shelterbelt strips);
- Hydrotechnical measures (creation of terraces, ponds, and water reservoirs and control against earthflows, etc.).

Subsoil tillage of more than 55 million hectares (ha) is applied on the land; about 1.1 million ha have been covered by forest shelterbelt strips; 1.9 million ha of gullies, ravines, and sands have been afforested, including 0.5 million ha of pasture land in semi-desert regions; 0.8 million ha are now under terraces; and 12.5 million ha of eroded pasture and hay lands have been radically improved. All of these measures, carried out in different natural zones, provided a significant decrease in the disastrous erosion and deflation of soils. At the same time, the results of long-term investigations showed that in intensive arable farming the measures in question do not make up for soil losses that would be compensated as a result of soil-forming processes. This objective could be attained more successfully if contour cropping, which takes into consideration natural landscape features, is to be implemented. The data obtained by research institutions and country farms show that an alternative solution addressing erosion, landscape conservation, and increased soil fertility on slopes lies in contour cropping.

Contour cropping ensures full-scale regulation of the atmospheric precipitation runoff and its use for yield buildup, and it enables us to stop the rapid development of erosion. To this end, it is necessary both to alter the principles of land organization and to design the lines in the direction close to contour lines; as well as to establish guidelines in the field for tillage, forest and grass strips, banks/terraces and—depending on the erosion hazard—to use soil-protecting and fodder crop rotations.

Farming models aimed at ensuring soil protection have been developed for the nation's major agricultural zones.

The conservation farming system intended for sloping lands includes the following: an erosion-control land organization; soil-protecting crop rotations; specific methods of basic sowing and presowing cultivations, and of sowing and inter-row cultivations of arable crops; a fertilization system addressing erosion potential of soils and the projected size of yields; a combination of specific measures to protect plantings from weeds, pests, and diseases; and steps taken for environmental conservation.



комплекс почвозащитных мероприятий, позволяющий предупредить смыв и выдувание почвы, повысить их плодородие и урожайность сельскохозяйственных культур:

- противоэрозионную организацию территории (размещение границ полей, лесных полос, основных дорог, прогонов для скота) поперек склонов или перпендикулярно направлениям господствующих ветров;
- агротехнические приемы (обработка почвы и посев культур поперек склонов и вдоль горизонталей, почвозащитные севообороты, сохранение растительных остатков на поле и др.);
- агролесомелиоративные приемы (создание лесных полос различного назначения);
- гидротехнические приемы (создание террас, прудов, водохранилищ, противоселевых сооружений и других простейших устройств).

Более 55 млн га в СНГ обрабатывают безотвально (без оборота пласта); на 1,1 млн га посажены лесные полосы; на 1,9 млн га облесены овраги, балки и пески и на 0,5 млн га – пастбища в полупустынных районах; на 0,8 млн га построены террасы; на 12,5 млн га проведено коренное улучшение эродированных пастбищ и сенокосов; построены инженерные противоэрозионные и противоселевые сооружения (террасы, валы и др.).

Проведение этих мероприятий в различных природных зонах страны способствовало существенному снижению катастрофической эрозии и дефляции. В то же время результаты многолетних наблюдений показали, что в интенсивном земледелии указанные меры не восполняют допустимых потерь почвы, которые бы компенсировались за счет почвообразовательных процессов. Более успешно решать эту задачу можно при освоении почвоводоохранного контурно-мелиоративного земледелия, учитывающего особенности природных ландшафтов.

Новые данные научных учреждений и хозяйств в СНГ показывают, что альтернативное решение проблем эрозии, сохранения ландшафтов и расширенного воспроизводства плодородия почв на склонах состоит в освоении контурно-мелиоративного земледелия. Оно обеспечивает практически полное зарегулирование стока атмосферных осадков, использование для формирования урожая и позволяет остановить развитие ускоренной эрозии. Для этого необходимо изменить принципы землеустройства и проектировать линейные элементы организации территории по направлениям, близким к горизонталям, создавать на

пашне направляющие линии для обработки почвы, лесных и травяных полос, валов-террас, в зависимости от эрозионной опасности осваивать полевые почвозащитные и кормовые севообороты.

Для основных земледельческих зон разработаны модели почвозащитного земледелия. На склоновых землях лесостепных районов почвозащитная система земледелия включает: противоэрозионную организацию территории; почвозащитные севообороты; специальные приемы основной и предпосевной обработки почвы, посева и междурядной обработки пропашных культур; систему удобрения с учетом эродированности почвы и величины планируемого урожая; комплекс специальных мероприятий по защите посевов от сорняков, вредителей и болезней; меры по охране окружающей среды.

В условиях Центрально-Черноземной зоны впервые наиболее полно был осуществлен комплекс мер по защите почв от эрозии в Докучаевском опытном хозяйстве на площади 6227 га. Здесь 36% пашни расположено на склонах крутизной от 1 до 4°. Почва - чернозем обыкновенный эродированный. Средняя многолетняя сумма годовых осадков 414 мм, из которых 70% приходится на летние месяцы. В этом хозяйстве, наряду с системой лесных полос, на оврагах и балках созданы пруды и другие водоемы. Из прудов орошают более 500 га посевов и получают высокие устойчивые урожаи. В среднем за пять лет урожай при орошении составлял: капусты поздней – 5 т/га, сахарной свеклы – 3 т/га. Урожаи зерновых культур без орошения здесь достигают 2,5-3 т/га.

Для условий Северного Кавказа предложена контурно-полосная почвозащитная система, включающая: контурно-полосную организацию территории склонов с шириной участков полос от 70 до 150 м; специальную почвозащитную обработку участков-полос; валы и канавы с органическим наполнителем на границе контурных полос; лесомелиоративные насаждения по контуру через 2-4 участка, совмещенные с валами-террасами, и простейшие гидротехнические сооружения в вершинах действующих оврагов. Применение такой системы практически прекращает смыв почвы, обеспечивает получение значительных прибавок урожая зерновых и кормовых культур, о чем свидетельствует опыт хозяйств Ростовской области.

Основу почвоводо-охранного земледелия, разработанную в конце 60-х годов для условий Алтайского края, составляет комплексная мелиорация земель на базе устройства всего агроландшафта: проектов внутрихозяйственного землеустройства с



Таблица 1. Эффективность контурно-мелиоративного земледелия

Table 1. Efficacy of contour cropping

Противоэрозионный комплекс <i>A combination of erosion-preventive measures</i>	Увеличение урожайности, % <i>Increase in yield, %</i>	Смыв почвы <i>Soil Erosion</i>	Срок окупаемости, лет <i>Time of return (Years)</i>
Система севооборотов с учетом смывости почв и рельефа <i>A crop rotation system addressing erodibility of the soils and landscape</i>	10 - 15%	Уменьшение в 2 - 5 раз и более <i>2 - 5-fold and more reduction</i>	—
Способы основной противоэрозионной обработки почв в севооборотах <i>Basic erosion-preventive tillage methods employed in crop rotations</i>	15 - 20%	Уменьшение в 3 раза и более <i>3-fold and more reduction</i>	Менее 1 <i>Less than 1</i>
Напашные валы-террасы <i>Earth banks-terraces</i>	20 - 25%	Полное прекращение <i>Complete cessation</i>	2 - 3
Двух- и трехрядные лесные полосы с прерывистыми канавами и валами <i>Two and three rows of forest belts with intermittent ditches and banks</i>	12 - 15%	Уменьшение в 4-5 раз <i>4 - 5-fold reduction</i>	7 - 8
Ускоренное залужение кормовых угодий на склонах балок <i>Fast regrassing of forage grasslands on gully slopes</i>	200 - 400%	В допустимых пределах <i>Within the established limits</i>	2 - 3
Все мероприятия комплекса <i>Combined measures of the complex</i>	40 - 60%	Полное прекращение <i>Complete cessation</i>	2 - 3

Under Central Chernozem Zone conditions, for the first time a combination of soil conservation measures has been carried out on 6,227 ha of the V.V. Dokuchaev Experimental Farm. Here 36 percent of arable lands are located on slopes of 1-4 degrees steep. The soil is chernozem common, eroded. Average annual rainfall over a period of many years is 414 mm, with 70 percent of the precipitation occurring during summer. On this farm, in addition to the system of forest belts, ponds and other reservoirs have been developed in gullies and banks. Ponds are utilized to irrigate the area of more than 500 ha, and yields are steadily high. For 5 years the average per hectare yields under irrigation were 5 tons for late cabbage and 3 tons for sugar beets. Yields of cereals without irrigation reached 2.5 to 3 tons per hectare.

For the Northern Caucasus, a contour-strip soil protecting system is suggested. This system includes: contour-strip organization of sloping lands with plots-strips from 70 to 150 m wide; specific soil-protecting tillage of plots-strips; banks and ditches with the organic filler on the border of contour strips; and tree plantings grown for reclamation along contour

lines of every second to fourth plot, together with banks-terraces and the simplest hydrotechnical works on top of active gullies. The use of such a system practically stops soil outwash, and it ensures considerable increases in yields of cereals and fodder crops—as shown by the experience gained by farms in the Rostov region.

A comprehensive cultural landscape-based amelioration of lands is represented by the fundamentals of soil-protecting arable farming that were developed at the end of the 1960's to address conditions in the Altai Territory. Cultural landscape involves the designs of intra-farm land management with the erosion-preventive contour-reclamation land organization and use of soil-protecting agricultural practices and their variations in accordance with the peculiarities of climate, soils, relief, disposition of sown areas, crop rotations, arrangement of buffer strips, shelter belts, and hydrotechnical works.

Over a period of 16 years using a cropping system aimed at protecting soil and water at the V.V. Dokuchaev Experimental Farm (8,184 ha of arable land), situated in the near Ob forest-steppe area of the Altai Territory, soil erosion was reduced from 40.1 to 0.3 cubic meters per ha. Yields became more



противоэрозионной контурно-мелиоративной организацией территории, применения почвозащитной агротехники и ее дифференциации в соответствии с особенностями климата, почв, рельефа, структуры посевов, севооборотов, размещения буферных полос, защитных лесонасаждений и гидротехнических сооружений.

За 16 лет использования почвоводоохранной системы Алтайского НИИСХ земледелия в опытном хозяйстве имени В.В. Докучаева (8184 га пашни), расположенном в Приобской лесостепи Алтая, смыв почвы сократился с 40,1 до 0,3 м³/га. Урожаи стали устойчивыми. В среднем за эти годы с 1 га получено 2,1 т зерна, что на 0,8 т превышает средний уровень, достигнутый до внедрения почвоводо-охранного комплекса. Прибыль от растениеводства до внедрения новой системы составляла 151,5 тыс. руб. в год, а после ее освоения она увеличилась до 725 тыс. руб*. В среднем за пять лет в расчете на 100 га сельскохозяйственных угодий, произведено в 1,8 раза больше валовой продукции, чем по хозяйствам зоны Приобской лесостепи, урожайность зерновых культур и продуктивность животных возросли в 1,4-1,9 раза. Рентабельность производства сельскохозяйственной продукции в последние годы составляет в этом опытном хозяйстве 45-65%, а зерна 70-80%.

Почвоводоохранный комплекс с контурно-мелиоративной организацией территории внедрен в двух районах Воронежской и Белгородской областей. В колхозе “Знамя Ленина” Грибановского района Воронежской области сочетание контурно-буферной системы размещения сельскохозяйственных культур, лесных насаждений, напашных валов-террас, лугомелиоративных и гидротехнических мероприятий на склонах крутизной 5-7° способствовало прекращению эрозии. В среднем за пять лет урожайность зерновых в хозяйстве на эродированных почвах возросла на 0,2 т/га, сахарной свеклы – на 3,5 и кукурузы на силос – на 5,5 т/га.

В Красногвардейском районе Белгородской области, где на склонах расположено 75% пашни, освоение контурно-мелиоративной системы земледелия способствовало прекращению интенсивной эрозии и повышению урожайности зерновых культур с 1,6 т/га (до освоения системы) до 2,5-2,2 т/га в 1986 и 1987 гг. На выположенных оврагах урожай сена в среднем за три года составил 4 т/га.

Установлено, что контурно-мелиоративная система земледелия предотвращает разрушение почвы даже при катастрофических ливнях (около 100 мм в сутки), когда на контроле смыв почвы достигал 120 м³/га. При

такой системе земледелия лучше сохраняются природные ландшафты и формируются устойчивые агроландшафты.

В Республике Молдова, где 80% посевов сельскохозяйственных культур расположено на склонах (20% из них имеют уклон более 5-6°) и где интенсивность ливней достигает 10 мм/мин и в структуре посевных площадей 60% занято пропашными культурами, смыв почвы составляет 20-40 т/га, часто наблюдаются оползневые явления. С учетом этих особенностей разработана контурно-мелиоративная система, позволяющая противостоять стихии. Сущность ее – задержание расчетного количества осадков и безопасный сброс излишков. Кроме того, предусматривается максимальное использование почвозащитных свойств сельскохозяйственных культур. Выявлено, что 50% необходимого почвозащитного эффекта контурно-мелиоративной системы земледелия здесь достигается за счет растений, остальной эффект обеспечивает дополнительный комплекс агротехнических, агролесомелиоративных и гидротехнических мероприятий. Система включает также мелиорацию овражно-балочных земель. На затраченный рубль противоэрозионный комплекс в целом по Молдове дает 4,5* руб. дохода.

Значительный опыт проектирования и освоения контурно-мелиоративного земледелия накоплен на Украине, где 6,7 млн га пашни находится на склонах крутизной от 3 до 5° и более, 1 млн га – на склонах круче 7-10°. Почвы в разной степени смыты и подвергаются эрозии, в результате чего здесь недобирают значительное количество урожая. Контурно-мелиоративное земледелие в условиях Украины применяют на 400 тыс. га сельскохозяйственных угодий. Это позволило на более крутых склонах с интенсивной эрозией снизить до минимума потери почвы, повысить ее плодородие и существенно увеличить урожаи сельскохозяйственных культур. Производственные данные первого этапа внедрения контурно-мелиоративного земледелия показывают, что при уровне применения удобрений (NPK) 202 кг/га урожай зерновых культур повысился на 20-30%. На втором этапе при снижении количества минеральных удобрений до 153 кг/га уровень прибавки урожая зерновых культур почти не снижался, что свидетельствует о высокой эффективности применяемой системы земледелия.

За десять лет освоения этой системы земледелия в колхозе “Заповедь Ильича” Обуховского района

*По ценам 1990 г.



stable. During these years, grain production averaged 2.1 tons/ha—0.8 ton higher than the average level achieved before the introduction of soil and water conservation practices. Annual profits derived from plant production before the introduction of this new system were 151,500 roubles.* Following introduction of the conservation practices, profits increased to 725,000 roubles. On average, over 5 years on 100 hectares of agricultural land, the gross product output was 1.8 times greater than on farms of the nearby Ob forest-steppe zone. Cereals and farm animal yields grew 1.4 to 1.9-fold. In recent years profitability at the experimental farm increased 45 to 65 percent for agricultural product output and 70 to 80 percent for grains.

Soil and water conservation practices, including contour-reclamation land organization, are applied in two districts of the Voronezh and Belgorod regions.

On the “Znamya Lenina” Collective Farm of Gribanov district, Voronezh region, the combination of the contour-buffer system of disposition of crops, tree plantings, artificial banks-terraces, and supporting soil conservation practices, including grassing and hydrotechnical measures on slopes of 5-7 degrees, furthered the cessation of erosion. Over 5 years the average yield of cereals on eroded soils increased by 0.2 ton/ha; of sugar beets, by 3.5 tons/ha; and of corn intended for silage, by 5.5 tons/ha.

The contour-reclamation cropping system practiced in the Krasnogvardeisk district of the Belgorod region, in which about 75 percent of pastures are located on sloping lands, has resulted in a reduction of intensive erosion and an increase in the yield of cereals from 1.6 tons/ha (before the introduction of the system) to 2.5 and 2.2 tons/ha in 1986 and 1987, respectively. The 3-year average for hay output in flattened gullies was 4 tons/ha.

It is established that contour cropping prevents soil destruction even when there are severe rainstorms (nearly 100 mm a day), while in the placebo the soil outwash reached a level of 120 cubic meters per ha. Under such a cropping system, natural landscapes can be better maintained, and sustainable agricultural landscapes are being shaped.

In Moldova, where 80 percent of crops are grown on slopes (20 percent of which have an incline of more than 5-6 degrees), and where the rainstorm intensity reaches 10 mm per minute, and arable crops make up 60 percent of the total acreage under cultivation, the soil outwash is 20 to 40 tons/ha, and there are frequent landslides. In light of these factors, a contour-reclamation system has been developed that permits us to withstand the forces of nature. It is based on the retention of a calculated amount of rainfall and a safe

discharge of surpluses. In addition, a maximum use of soil-protecting features of crops is provided for. It is shown that 50 percent of the required soil-protecting effect of the contour cropping system is realized at the expense of plants and that the remaining effect is ensured by adding a combination of agrotechnical, agricultural afforestation, and hydrotechnical measures. The system also includes the reclamation of gullies and ravines. For each rouble spent, the antierosion system as a whole for Moldova yields 4.5 roubles in profits.

Considerable experience in designing and learning the contour cropping system has been gained in Ukraine, where 6.7 million ha of arable lands are located on slopes of 3-5 degrees and more than 1 million ha on slopes of 7-10 degrees steep. Soils are washed out to a different extent and exposed to erosion. As a result, a considerable part of the yield is lost. Contour/reclamation cropping under such conditions in Ukraine is employed on 400,000 ha of agricultural lands. This system has permitted us to reduce soil loss to a minimum, to increase soil fertility, and to greatly increase crop yields on steeper slopes intensively affected by erosion. The data on yield levels during the first stage of the introduction of the contour/reclamative cropping system showed that with a fertilizer application rate (NPK compounds) of 202 kg/ha, cereal yield increased by 20 to 30 percent. During the second stage, with mineral fertilizer application decreased to 153 kg/ha, the increase in cereal yield was almost unchanged—indicating a high efficiency of the applied cropping system.



Фото 1-3. На экспериментальной станции им. В.В. Докучаева лесополосы обеспечивают защиту полей от ветровой эрозии. (Российское фото)

Photo 1-3. At the V.V. Dokuchaev Experimental Farm vast tree shelterbelts provide protection from wind erosion. (Russian photo)

* Data 1990



Киевской области продуктивность земельных угодий возросла на 50-70%. Урожайность зерновых культур составила 4,2 т/га по сравнению с 2,5 т/га до освоения системы, гороха соответственно 2,9 и 2,1 т/га, многолетних трав – 31,4 и 26,3 т/га. Улучшилась экологическая обстановка.

На 1 га сельскохозяйственных угодий было затрачено 283,6 руб. Окупаемость 1 руб. затрат с учетом предотвращенного смыва почвы на первом этапе внедрения (1976-1980) гг) составила 4,6 руб.* На втором этапе (1981-1985 гг.) – 7,8 руб*. Срок окупаемости - три года.

На проектирование и создание водорегулирующих валов (12 км), выполаживание оврагов (25 га), валов-террас (230 га), водосборов (2 га), супесчаных террас (230 га), противозероэрозийных прудов (125 га), лесных полос вокруг водоемов (13,4 га) в хозяйстве затрачено 992,7 тыс. руб. В расчете на 1 га затраты составили 283,6 руб.

Научно-технической программой “Агрокомплекс” предусмотрено к 2000 г. внедрение в Украине контурно-мелиоративной системы земледелия на 16 млн га сельскохозяйственных угодий.

Выводы

Широкое применение системы контурно-мелиоративного земледелия в стране открывает большие возможности для научно обоснованного решения проблем сохранения агроландшафтов, управления плодородием, водным, питательным режимами почв, интенсифицировать почвообразовательные процессы, решать задачи расширенного воспроизводства плодородия почв и экологизации сельского хозяйства. Кроме того, контурно-мелиоративное земледелие служит основой для программирования и реального получения высоких урожаев на эрозионно-опасных и эродированных землях, а также для разработки ресурсосберегающих и совершенствования интенсивных технологий возделывания сельскохозяйственных культур, агротребований при создании новой сельскохозяйственной техники. Комплексность мероприятий и дифференцированность их применения с учетом агроландшафтных особенностей в системе контурно-мелиоративного земледелия позволяет успешно защищать посевы от вредителей и болезней.

По ориентировочным подсчетам, к 2005 г. объемы применения ландшафтной контурно-мелиоративной системы земледелия на эрозионно-опасных землях в странах СНГ составят около 60 млн га пашни. Уже сейчас ежегодно получают дополнительно 12 млн т зерна и другой продукции, а общий экономический эффект от внедрения этих приемов составляет 1,2 млрд руб. в год*.

Литература

1. Бараев А. И. Почвозащитное земледелие//Избр. тр. М.: Агропромиздат, 1988. 383 с.
2. Васильев Г. И., Панин Н. И. Почвозащитная технология возделывания озимых культур после пропашных высокостебельных предшественников/Эрозионные процессы и почвозащитные мероприятия в странах-членах СЭВ/Науч. тр. почв. ин-та им. В.В. Докучаева. , М., 1982. С. 22-27.
3. Каштанова А.Н. Защита почв от ветровой и водной эрозии. М.: Россельхозиздат, 1974.
4. Каштанова А.Н., Заславский М.Н. Почвоводоохранное земледелие. М.: Россельхозиздат, 1984. 462 с.
5. Каштанова А.Н., Шилов, Л.Л., Кузнецов М.С., Кочетов И.С. Проблемы эрозии и охраны почв России. Ж. Почвоведение, No.1, 1999. 7с.
6. Каштанова А.Н., Шилов, Л.Л., Извеков А.С. Эрозия почв России и сопредельных стран. М., 2001. 56 с.
7. Котлярова О.Г. Опыт освоения почвоводоохранных контурно-мелиоративных систем земледелия в хозяйствах Красногвардейского района Белгородской области//Повышение эффективности земледелия и агропромышленного производства Белгородской области. М.: Росагропромиздат, 1990. С. 83-92.
8. Музыченко Б. А. Контурно-мелиоративное земледелие - основа рационального использования земель//Земледелие. 1986, № 8. С. 62-63.
9. Мусохранов В.Е. Использование эродированных земель в Западной Сибири. М.: Россельхозиздат, 1983. 190 с.
10. Соболев С. С. Развитие эрозионных процессов на территории европейской части СССР и борьба с ними. М.: Изд-во АН СССР. 1948. Т. 1. 308 с.; 1960. Т. 2. 248 с.

*По ценам 1990 г.

*В ценах 1990 г.



This system has been employed for 10 years by the “Zapoved= Il’icha” Collective Farm, Obukhov district, in the Kiev region, and it resulted in a 50 to 70 percent increase in agricultural land productivity. Cereal yield is 4.2 tons/ha compared with 2.5 tons/ha before the system; the yield of peas, 2.9 and 2.1 tons/ha, respectively; and perennial grasses, 31.4 and 26.3 tons/ha, respectively. The ecological situation has also improved.

Some 283.6 roubles were spent per each ha of agricultural land. Each rouble spent to prevent outwash during the first stage of application of the system (1976-1980) represented a return of 4.6 roubles; and during the second stage (1981-1985), 7.8 roubles.* Expenses are recouped in 3 years.

The farm spent 992,700 roubles to flatten gullies (25 ha) and design and install water-regulating banks (12 km), banks/terraces (230 ha), catchments (2 ha), sandy terraces (102 ha), erosion-preventive ponds (125 ha), and forest belts around water terraces (13.4 ha). Some 283.6 roubles were spent per hectare.

The Research and Technological Program “Agrocomplex” provides for the contour-reclamation cropping system to be used in Ukraine by the year 2000 on more than 16 million ha of agricultural lands.

Conclusion

Extensive use of the contour-reclamation cropping system provides a clue as to how to maintain agricultural landscapes; to control soil fertility, water content, and nutrition; to intensify soil-forming processes; and to fulfill the tasks of an expanded reproduction of soil fertility and ecology-oriented agriculture. In addition, the contour/reclamation cropping system serves as a basis for programming and obtaining high yields on eroded lands and also for developing resource-saving technologies and improving intensive technologies to grow crops, but the system requires agriculture to develop new farm machinery. A combination of measures and their various applications, aimed at addressing questions concerning agricultural landscape features within the system of contour cropping, permits us to successfully protect crops from pests and diseases.

* Data 1990

According to estimates, nearly 60 million ha of arable land will have been involved by the year 2005 in the landscape contour-reclamation cropping system applied on erosion-affected areas.

The nation produces 12 million tons of grains and other produce every year, and as of 1990 the total annual economic return from these methods reached 1.2 billion roubles.

References

1. Baraev, A.I. Soil-conservation arable farming. Selected works. Moscow. Agropromizdat, 1988. p. 383.
2. Vasiliev, G.I. and N.I. Panin. Soil-conservation technology to grow winter crops following arable high stalk precursors (erosion processes and soil-protecting measures in the CMEA member-countries). Proceedings of the V.V. Dokuchaev Institute of Soil Science. Moscow. 1982, pp. 22-27.
3. Kashtanov A.N. Protection of soil from wind and water erosion. Moscow. Rossel’khozizdat, 1974.
4. Kashtanov A.N., Zaslavsky M.N. Soil and water protecting farming. Moscow. Rossel’khozizdat, 1984, p. 462.
5. Kashtanov A.N., Shilov L.L., Kuznetsov M.S., Kochetov I.S. Issues of erosion and soil protection in Russia. Journal of Soil Science, No. 1, 1999, p.7.
6. Kashtanov A.N., Shilov L.L., Izvekov A.S. Erosion of soils in Russia and adjacent countries. Moscow. 2001, p. 56.
7. Kotlyarova, O.G. Experience in applying soil and water protecting contour cropping systems on the farms of Krasnogvardeisk district, the Belgorod region. Increase in the efficiency in arable farming and agro-industrial production of the Belgorod region. Moscow. Rosagropromizdat, 1990. pp. 83-92.
8. Muzychenko, B.A. Contour cropping—the basis for the rational use of lands. Arable farming. 1986 N8. pp. 62-63.
9. Musokhranov, B.E. Use of eroded lands in Western Siberia. Moscow. Rossel’khozizdat, 1983. pp. 190.
10. Sobolev, S.S. Development of erosion processes in the European part of the USSR and their control. Moscow. Publishing House of the Academy of Sciences of the USSR. 1948, vol.1, p. 308; 1960, vol. 2, p. 248.





Закономерности изменения противодефляционной устойчивости почвы под влиянием климатических факторов

**Regular Changes in Soil's Resistance to
Deflation as Affected by Climatic Factors**

Закономерности изменения противодефляционной устойчивости почвы под влиянием климатических факторов

А.Н.Каиштанов, П.С.Трегубов*, Г.И.Васильев, Н.Н.Захарова

Резюме

В настоящей работе представлен экспериментальный материал по изучению влияния на противоэрозионную устойчивость обыкновенных черноземов Предкавказья, распространенных в зоне так называемого “Армавирского ветрового коридора”, климатических факторов. Выявлена количественная связь между образованием дефляционноопасных частиц и количеством циклов замораживания-оттаивания и увлажнения-высушивания, влажностью почвы при этих процессах, температурой замораживания, оттаивания и др. По данным модельных опытов составлены регрессионные модели, описывающие зависимость содержания дефляционно-опасных частиц в почве от параметров климатического воздействия на нее.

Вступление

Значительным тормозом высокопродуктивного использования черноземов Предкавказья является распространение на этой территории дефляционных процессов. Особенно активна дефляция в зоне так называемого “Армавирского ветрового коридора”. Локальное выдувание почвенного материала наблюдается здесь на различных элементах рельефа почти ежегодно, а периодически проносятся пыльные бури огромной разрушительной силы. На участках с очень сильным проявлением дефляции мощность гумусового горизонта уменьшилась за истекший период на 23-35 см. В соответствии с решением ВАСХНИЛ, с 1971 г. на Армавирском опорном пункте Почвенного института им. В. В. Докучаева, расположенном в Новокубанском районе Краснодарского края, изучаются закономерности развития и проявления дефляции в степной части Предкавказья, причины снижения противодефляционной устойчивости почвы в некоторые периоды и пути ее повышения, разрабатываются рекомендации по почвозащитному земледелию. К настоящему времени собран и обобщен большой экспериментальный материал по влиянию на противодефляционную устойчивость таких важнейших антропогенных и природных факторов, как технология возделывания сельскохозяйственных культур, условия рельефа и климатические факторы – периодическое увлажнение-высушивание и

замораживание-оттаивание. При едином генетическом типе и подтипе почв, а также механическом составе, именно эти факторы являются определяющими для формирования дефляционноопасных агрофонов в условиях Предкавказья. Именно их изучению и посвящена данная работа.

Общеизвестно, что при наличии ветров повышенной скорости и отсутствии на поверхности почвы защитного растительного покрова, основным фактором, определяющим устойчивость почв к дефляции, является степень распыления почвы, т.е. соотношение агрегатов размером более и менее 1 мм. Для устойчивого закрепления почвы и грунта на территориях, подверженных интенсивной дефляции, широко используются засухоустойчивые древесные и кустарниковые породы.

Структурный состав почвы весьма динамичен и зависит от целого комплекса факторов. К природным, естественным факторам относятся: воздействие увлажнения-высушивания и замораживания-оттаивания, микробиологическая активность, видовой состав флоры и фауны, механическое воздействие обрабатывающих орудий и машин, внесение удобрений и т.д.

Климатические факторы оказывают существенное влияние на динамику агрегатного состава почвы. Известно, что образование агрегатов тесно связано с процессами увлажнения-высушивания и замораживания-оттаивания. Под влиянием увлажнения за счет возникновения капиллярных сил и действия Ван-дер-Ваальсовских сил и сил притяжения в коллоидной системе, происходит слияние и склеивание частиц. Наиболее интенсивно эти процессы идут при средних уровнях увлажнения. При избыточном увлажнении исчезают вогнутые мениски, силы сцепления ослабляются, в связи с чем частицы отодвигаются друг от друга.

Крошение на структурные отдельные происходит при переходе почвы из 2-фазного состояния (вода-почва) в 3-фазное (вода-почва-воздух), т.е. в результате высушивания. Это связано с возникновением капиллярных сил, сжимающих почвенную массу и стягивающих ее. Направление этих сил различно, различны и объемные изменения, чем и объясняется

Закономерности изменения противодефляционной устойчивости почвы под влиянием климатических факторов



Regular Changes in Soil's Resistance to Deflation as Affected by Climatic Factors

A.N. Kashtanov, P.S. Tregubov, G.I. Vasiliev, and N.N. Zakharova*

Abstract

Experimental data on common chernozem's resistance to wind erosion as affected by climatic factors in the so-called "Armavir wind corridor" zone are presented. Quantitative correlations between the formation of the erodible particles and the amount of the freezing-thawing and wetting-drying cycles, the soil moisture content, the temperature of freezing, thawing, and other characteristics have been found. Through model experiments, regression models were obtained that describe the correlation between the amount of particles susceptible to deflation in soil and the parameters of climatic factors.

Introduction

Deflation is the major limiting factor for the effective utilization of chernozem in the Precaucasus territory. It is especially active in the "Armavir wind corridor" zone. Local blowing out of soils is noticed almost annually at different levels of relief, and dust storms of great destructive potential occur periodically. The thickness of the humus layer at those fields subject to severe erosion decreased 23 to 35 cm for the studied period. Since 1971, when the Armavir pilot station was organized by the V.V. Dokuchaev Soil Institute in the Krasnodar region, it carried out observations on the processes of deflation and its development there as well as the reasons for decreased resistance to deflation; recommendations on conservation farming were proposed. A great deal of experimentally derived data were accumulated on the effect of major human-caused and natural factors responsible for the soil's deflation resistance. These factors include the technology used in producing agricultural crops, relief, and climate (periodic wetting-drying and freezing-thawing cycles)—taking into account the genetic type and subtype of soils and the fact that their textures were similar.

The degree of soil disaggregation, that is, the ratio between the amount of aggregates greater and less than 1 mm, is known to be the major factor of soil resistance to deflation in those territories with high wind velocities and bare soil surface. Drought-resistant tree and bush varieties are recommended to fix the soil at the areas subject to intensive deflation (Fig. 1.2).

Structural composition of soils varies greatly and is influenced by a number of factors, including wetting-drying and

freezing-melting, biological activity, composition of flora and fauna, the impact of agricultural equipment and tools, fertilization, etc.

Wetting-drying and freezing-thawing processes are known to affect soil aggregation. The capillary and Van-der Waals forces, as affected by wetting and attraction in a colloidal system, result in particles sticking together. Excess wetting results in disappearance of the concave meniscus, decrease of the bounds between the particles, and, finally, their separation.

Crumbling into the structural units occurs at soil transition from the two-phase state (water-soil) into the three-phase one (water-soil-air) as a result of drying. Crumbling is associated with development of capillary forces that press the soil mass and compact it. These forces act in different directions, and the volumes are also different—resulting in overtension and crack formation. Repetition of these processes increases the crack formation, which results in soil aggregation. The character of the cracks depends upon the soil texture and mineralogical composition, the content of organic matter, and the exchangeable cations content. The more colloidal particles and organic matter, the more intensive the crack formation resulting from periodic wetting and drying. Enrichment of exchange sites by Ca^{2+} and H^+ cations ensures a greater amount of cracks, as compared with K^+ and Na^+ , but the cracks formed are finer.

Freezing greatly affects the process by which the soil mass crumbles. Any disperse system is known to be prone to overcompaction as a result of freezing. When water is transformed into ice at 0°C , water density drops by 9 percent and its volume increases, resulting in the formation of cracks. Mechanical composition and soil organic matter indirectly affect the character of freeze-induced soil crumbling due to soil porosity. Loamy soils with high organic matter content are characterized by high crumbling due to their highest porosity. Compact, heavy clays with fine voids are less subject to the crumbling associated with the formation of fine ice crystals, and their effect is less.

A number of Soviet and foreign researchers noted the effect of a soil's genetic properties on its disaggregation as influenced by climatic factors, but less attention was directed to the quantitative aspect. We managed to conclude that the greater the water and mechanical stability of aggregates, the less the disaggregation.



возникновение перенапряжений, приводящих к образованию трещин. Повторение этих процессов увеличивает трещиноватость, в результате чего образуются агрегаты. Характер трещин зависит от механического, минералогического состава почвы, содержания органического вещества, состава поглощенных катионов. Чем больше почва содержит коллоидных частиц, органического вещества, тем интенсивнее образуются трещины под воздействием периодических увлажнений-высушиваний. Насыщенность почвенного поглощающего комплекса катионами Ca^{2+} и H^+ обеспечивает более высокую трещиноватость, чем K^+ и Na^+ , но образующиеся трещины уже мельче, чем у последних.

Большое влияние на крошение почвенной массы на структурные отдельности оказывает промораживание. Известно, что для любой дисперсной системы характерна способность переуплотняться под действием промерзания. При переходе воды в лед при 0° плотность воды скачком падает на 9%, а объем соответственно увеличивается, что приводит к образованию трещин. Механический состав и органическое вещество почвы косвенно сказываются на характере крошения почвы под влиянием промораживания – через свойственную этим почвам породность. Хорошо крошатся суглинистые почвы, с большим содержанием органического вещества, так как они обладают наилучшей порозностью. Тяжелые, плотные глины, обладающие тонкими порами, крошатся меньше, что связано с образованием мелких кристаллов льда, уплотняющий эффект которых слабее.

На зависимость интенсивности разрушения структуры почвы под влиянием климатических факторов от ее генетических свойств указывалось рядом российских и зарубежных авторов, но количественные связи отображались мало. Основной вывод проведенных наблюдений таков: чем выше водопрочность и механическая прочность структурных агрегатов, тем ниже разрушающий эффект.

Исследователи также отмечают, что помимо генетических особенностей почвы, на результатах воздействия увлажнения-высушивания и замораживания-оттаивания на почвенные агрегаты сказывается степень увлажнения почвы, температура высушивания и замораживания, продолжительность воздействия этих процессов, исходный агрегатный состав и количество повторных циклов воздействия. Установлено, что чем больше влажность почвы перед ее высушиванием и при замораживании, тем сильнее изменение в агрегатном составе и других свойствах почв.

Известно, что область интенсивных фазовых переходов воды в лед лежит в пределах $0^0 - 2^0$. Следовательно, физико-химические процессы, связанные с замерзанием воды в почве, наиболее активно проявляются в области указанного интервала температур.

В отношении температур высушивания можно сказать следующее. Активность воды, растворимость газов, содержание соединений зависит от температуры почвы и увеличивается с ее возрастанием. Следовательно, с повышением температуры интенсивность преобразования структуры должна возрасти. В ряде публикаций отмечается интенсивное образование эрозионноопасных фракций при отрицательных температурах высушивания, что обусловлено сублимацией и потерей связей между частицами. Причем, чем грубее первоначальный агрегатный состав почвы, тем больше образуется эрозионноопасных частиц под влиянием промораживания-оттаивания. Многие авторы обращают внимание на то, что с возрастанием количества циклов замораживания-оттаивания и увлажнения-высушивания изменение агрегатного состава и других свойств почвы тоже активизируется.

Процессы увлажнения-высушивания и замораживания-оттаивания оказывают огромное влияние на целый ряд свойств почвы, определяющих ее противозерозионную и противодефляционную устойчивость. Во-первых, эти процессы активно воздействуют на химические и физико-химические свойства почвы. Под влиянием высушивания происходит увеличение поглотительной способности почвы, снижение гидрофильности коллоидов. Установлено, что при увлажнении идут процессы, напоминающие оподзоливание, – процессы разрушения почвенного поглощающего комплекса с выносом продуктов этого распада. В слое 4-6 см структура разрушается, резко возрастает количество фракции размером менее 1 мм. Ниже зоны разрушения идет процесс структурообразования.

Процессы замораживания-оттаивания приводят к возрастанию пылеватости почвогрунтов, изменяются количество связанной воды, максимальная гигроскопичность почвы, ее физико-механические свойства, порозность, водно-воздушные и тепловые свойства. Эти данные получены в основном мерзлововедами на различных грунтах, преобладающих в регионах с распространением вечной мерзлоты. Опыты носили специфический характер: большое количество циклов воздействия, очень большая амплитуда перепадов. В почвах европейской части России эти процессы, конечно, идут

Закономерности изменения противодефляционной устойчивости почвы под влиянием климатических факторов



In addition to the genetic features of a soil, the effect that wetting-drying and freezing-thawing has on soil aggregates is influenced by the soil moisture content, the temperature of drying and freezing, the duration of these processes, initial aggregation, and the number of cycles. The greater the soil moisture content before its drying and freezing, the more we noticed the changes of aggregation and other soil properties.

The intensive phase of transition from water to ice is known to be within the range of 0° to -2°C. Thus, physico-chemical processes associated with water freezing in soil are most evident in this range.

Water activity, solubility of gases, and content of the compounds all increase along with soil temperature. That is why the intensity of the structural reorganization increases along with increase in temperature. No specific published data exist on this subject. Intensive formation of erodible fractions was noted during drying at negative temperature due to sublimation and loss of the bonds between the particles. The coarser the initial soil aggregation, the more the erodible particles formed due to freezing-thawing. Many researchers noted that the change in soil aggregation and other soil characteristics becomes more intensive with an increase in the freezing-thawing and wetting-drying cycles.

The processes associated with these cycles intensively affect soil chemical and physico-chemical properties. Drying results in increased soil absorption capacity, as well as in decreased hydrophilic capacity of soil colloids. It was found that wetting is accompanied by processes similar to podzolization, destruction of the soil absorption complex, and leaching of the products of its decomposition. The process of disaggregation occurs within the top 4 - 6 cm of the soil layer, and the amount of fractions less than 1 mm increases sharply. The process of aggregation occurs in the zone beneath the destroyed layer.

The processes of freezing-thawing result in an increased amount of soil and ground silt fractions and in a change in such parameters as the quantity of bounded water; maximum hygroscopicity of soil; its physico-mechanical properties; porosity; and water, air, and thermic properties. These data were obtained mainly by experts in geocryology at various terrains that predominate in regions of permafrost. These experiments were carried out under specific conditions, as follows: large number of exposure cycles, wide range of the changes. It is natural that these processes occur much less intensively in the soils of the European part of the country and that they have less of an effect on number of properties.

Some data show that two processes occur in soils during the year—the aging and activation of colloids. The former prevails in summer and results in formation of high-charge hydrophilic colloids; the latter occurs in the autumn-winter

period and results in depolymerization of the high-molecular compounds and their transformation into low-molecular hydrophilic colloids. The greater the amount of low-molecular hydrophilic colloids, the smaller the amount of aggregates less than 1 mm. Hydrophilic colloids in addition to the humus serve as a kind of glue for microaggregates. They change in both number and quality within a year and thus promote the dynamic character of the aggregate's water stability.

Conclusion

Analysis of data in the literature on the effect of climatic parameters upon the soil's resistance to deflation has revealed that this problem has not been paid adequate attention. That is why the study on the qualitative and quantitative relationship between the climatic factors and the amount of erodible particles less than 1 mm was carried out by means of modeling in a climatic chamber. These studies enabled us to reveal the principal role of climatic factors in the decrease of soil resistance to deflation.

References

1. Aderikhin, P.G. Impact of soil drying upon its composition properties. In Proceedings of the meeting devoted to V.V. Dokuchaev's Centenary. Moscow, 1949. p. 333-337.
2. Gaal, A.G. Deflation phases, development and age of the soil, formed on sands in dried zones of the USSR. In Land and Water Resources. Moscow, 1990. p. 145-164.
3. Kashtanov A.N. Protection of soil from wind and water erosion. Moscow. Rossel'khozizdat, 1974.
4. Kashtanov A.N., Zaslavsky M.N. Soil and water protecting farming. Moscow. Rossel'khozizdat, 1984, p. 462.
5. Problems of soil and water conservation. A.N. Kashtanov, ed. Proceedings of V.V. Dokuchaev Soil Institute. Moscow, 1986. 156 p.
6. Soil erosion and ways to control. P.S. Tregubov, ed. Proceedings of V.V. Dokuchaev Soil Institute. Moscow, 1985. 141 p.
7. Eroded soils and efficiency of soil-protective measures. P.S. Tregubov, ed. Proceedings of V.V. Dokuchaev Soil Institute. Moscow, 1987. p. 164.
8. Eroded soils and their increased fertility in the COMECON countries. Proceedings of V.V. Dokuchaev Soil Institute. Moscow, 1989. 148 p.



гораздо менее интенсивно и меньше сказываются на изменении ряда свойств.

Есть данные, что в течение года в почве идут два противоположно направленных процесса – старение и активизация коллоидов. Первый преобладает летом, выражается в создании высокополярных гидрофильных коллоидов, второй активизируется в осенне-зимний период и выражается в деполимеризации высокополимеров до низкополимерных гидрофильных коллоидов. Чем больше содержится в почве низкомолекулярных гидрофильных коллоидов, тем меньше содержится макроагрегатов размером более 1 мм. Клеем для макроагрегатов, кроме свободного перегноя, служат гидрофильные коллоиды. В течение года они количественно и качественно изменяются, обуславливая динамичность водопрочности структурных образований.

Выводы

Анализ литературных источников по влиянию климатических факторов на противодефляционную устойчивость почвы показал, что данный вопрос изучен явно недостаточно. В связи с этим, авторами по разработанной специально методике велась работа по изучению качественных и количественных взаимосвязей между воздействующими на почву климатическими факторами и содержанием дефляционноопасных частиц размером менее 1 мм методом моделирования в климатической камере. Эти исследования позволили сформулировать тезис о решающей роли климатических факторов в снижении противодефляционной устойчивости.

Литература

1. Адрихин П.Г. Влияние высушивания почвы на ее состав и свойства // Тр. юбилейной сессии, посвященной 100-летию со дня рождения В.В. Докучаева. М.; Л.: изд-во АН СССР, 1949. С.333-337.
2. Гель А.Г. Фазы дефляции, развитие и возраст почв на песках засушливых областей СССР // Земельные и водные ресурсы: Противоэрозионная защита и регулирование русловых процессов. М., 1990. С.145-164.
3. Каштанов А.Н. Защита почв от ветровой и водной эрозии. М.: Россельхозиздат, 1974.
4. Каштанов А.Н., Заславский М.Н. Почвоводоохранное земледелие. М.: Россельхозиздат, 1984. 462 с.
5. Проблемы почво-водоохранного земледелия // Научн. Тр./ Почв. ин-т им. В. В. Докучаева / Под ред. А.Н. Каштанова. М., 1986. 156 с.
6. Эрозия почв и научные основы борьбы с ней // Научн. тр. / Почв. ин-т им. В.В. Докучаева / Под ред. П.С. Трегубова. М., 1985. 141 с.
7. Эродированные почвы и повышение их плодородия в странах – членах СЭВ // Научн. тр. / Почв. ин-т им. В.В. Докучаева / Под ред. П.С. Трегубова. М., 1989. 148 с.
8. Эродированные почвы и эффективность почвозащитных мероприятий // Научн. тр. / Почв. ин-т им. В.В. Докучаева / Под.



Почвы севера Евразии и проблемы их охраны

Soils of the Eurasian North and Their Conservation Problems

Почвы севера Евразии и проблемы их охраны

И.А. Соколов, Е.М. Наумов, Д.Е. Конюшков

Резюме

Рассмотрены общие закономерности почвообразования на севере Евразии и дано их картографическое отображение. Охарактеризованы основные типы естественных и антропогенных нарушений почвенного покрова, география деградационных процессов, их связь с ландшафтными особенностями территории и характером ее использования.

Введение

Север – это обширная область, где жизнь и почвообразование протекают на грани «риска», в экстремальных условиях. Малейшие нарушения установившегося экологического равновесия могут сопровождаться катастрофическими для природы последствиями. Хорошо известны легкая ранимость северных почв и их очень медленное восстановление после нарушений. Это обуславливает необходимость тщательного прогнозирования возможных последствий усиливающегося техногенного давления на экосистемы Севера.

Природа этого перспективного края изучена еще сравнительно слабо. На почвенных картах много «белых пятен». В результате исследований здесь до сих пор открывают новые почвенные типы. Это заставляет непрерывно совершенствовать и уточнять представления о закономерностях северного почвообразования.

В настоящей работе представлено картографическое отображение концепции почв Севера, предложенной ранее И.А. Соколовым с соавторами (Соколов и др., 1982), а также охарактеризованы различные аспекты устойчивости и нарушенности почвенного покрова.

Территория Севера в почвенном отношении неоднородна. Основные закономерности дифференциации почвенного покрова связаны с условиями увлажненности климата. Закономерности почвообразования, связанные с термическим фактором, имеют количественный характер и размытые границы. Важную роль в дифференциации почвенного покрова Севера играет многообразие

встречающихся здесь почвообразующих пород и криологических условий.

Изучены собственно почвы и почвоподобные тела, выполняющие экологические и биосферные функции почв (экопочвы). Для классификации собственно почв и полупочвенных образований использованы разные таксономические системы (Соколов, 1990). Схема классификации экопочв севера представлена в таблице 1. Профильно-генетическая характеристика основных почвенных типов дана в таблице 2. Подробнее их свойства и экология рассмотрены в работах Е.Н. Ивановой, И. А. Соколова, В.О. Таргульяна, Н.А. Караваевой, Е.М. Наумова, И. В. Игнатенко и других ученых.

Основные географические закономерности северного почвообразования отражает предлагаемая ниже карта почвенного покрова Севера Евразии. Выделенные в ней крупные области и подобласти близки к почвенно-геохимическим полям М.А. Глазовской. Основными причинами обособления почвенных областей (выделенным по особенностям почвенного покрова) оказались условия увлажненности и континентальности климата; подобластей – литолого-геоморфологические (в том числе криологические) условия.

Кроме областей и подобластей, охарактеризованных в легенде к карте, выделены ареалы модальных типов почв:

А1-1 – Северо-Кольский ареал параподзолистых, подзолистых и торфяных почв южно-тундровых и лесотундровых ландшафтов возвышенных цокольных равнин Фенноскандинавского докембрийского щита;

А1-2 – Южно-Кольский ареал подзолистых, торфяных и пара-подзолистых почв северотаежных ландшафтов возвышенных цокольных равнин докембрийского щита, низменных аккумулятивных морских равнин и холмисто-моренных возвышенностей верхнечетвертичного оледенения;

А1-3 – Кольско-Карельский ареал подзолистых и торфяных почв северотаежных ландшафтов цокольных равнин докембрийского щита и низменных аккумулятивных морских равнин;



Soils of the Eurasian North and Their Conservation Problems

I.A. Sokolov, Ye.M. Naumov, and D.Ye. Konyushkov

Abstract

Under consideration are the most general regularities of soil formation in the Eurasian North and their cartographic interpretation. The main types of natural and human-induced degradation of the soil cover are shown. Much attention is paid to the geography of degradation processes as related to landscape-specific features of soils and the character of their use.

Introduction

The North is a vast area where the development of life, as well as soil-forming processes, takes place under very risky and extreme conditions. Even the slightest disturbance can irreversibly damage the ecological equilibrium. The soils are known to be extremely susceptible to various degradation and restored with difficulty. Needed are thorough study and forecasting of potential negative consequences that may result from ever-increasing, technology-induced impacts on ecosystems of the North.

The natural conditions of this region of great potential have so far been insufficiently examined. Although new soil types are still being identified as a result of research carried out here, there are blank spaces on soil maps. The concepts needed to comprehend the processes of soil formation in the North must be further developed.

This paper presents the concept, proposed earlier by Sokolov et. al (8)¹, of cartographic interpretation of soils in the Eurasian North as well as different aspects of soil resistance and the soil cover degradation.

The whole territory of the Eurasian North is characterized by soil heterogeneity. The main rules governing soil cover differentiation are explained chiefly by humidity of the climate. Regular occurrence of soil formation associated with a thermal factor is both quantitative and related to area. Diversity of parent rocks and cryological conditions appear to be the main reasons for differentiation of soil cover.

The data presented here concern the soils proper and soil-like bodies that perform ecological and biospheric functions of soils (ecosols). Different taxonomic systems are used to

classify the soils proper and semi-soil formations (10). The classification scheme of ecosols in the Eurasian North is presented in Table 1.

Table 2 illustrates profile-genetic characteristics of the most common soil types in the Eurasian North. Their properties and ecology have been described in detail by Ye. I. Ivanova, I.A. Sokolov, V.O. Targulian, N.A. Karavaeva, Ye.M. Naumov, I.V. Ignatenko, etc.

Basic geographical rules governing soil formation are reflected on the soil cover map, presented here. Large regions and subregions coincide with soil-geochemical fields, as proposed by M.A. Glazovskaya. Soil regions outlined according to peculiar features of the soil are distinguished by the degree of the climate's humidity and continentality; soil sub-regions, by the lithologic-geomorphological conditions, including cryological aspects.

In addition to soil regions and sub-regions, areas of modal soil types also appear in the legend of this map:

AI-1. The North-Kola area of parapodzolic, podzolic, and peat soils of the southern-tundra and forest-tundra landscapes of elevated plains of Fennoscandinavia composed of pre-Cambrian rocks;

AI-2. The South-Kola area of podzolic, peat, and parapodzolic soils on the northern-taiga landscapes of elevated plains of the pre-Cambrian shield, low marine plains and hilly-moraine uplands of the Late Quaternary glaciation;

AI-3. The Kola-Karelian area of podzolic and peat soils of the northern-taiga landscapes of elevated plains composed of pre-Cambrian rocks and accumulative lowlands with marine deposits;

AI-4. The North-Urals area of podzolic and parapodzolic soils of the northern-taiga landscapes of medium high mountain ridges on dislocated Paleozoic sedimentary and effusive rocks;

AI-5. The Pai-Khoy area of petromorphic, parapodzolic, and podzolic soils of subarctic tundra landscapes of mountain-ridges and foothills on dislocated Paleozoic sedimentary, effusive, and intrusive rocks;

¹ Underlined numbers in parentheses cite sources listed in the References section at the end of this article



Таблица 1. Схема классификации экопочв Севера

Группа: органо-минеральные экопочвы
 Ствол: почвы (собственно)

Класс	Тип
Al-Fe-гумусовые	Подзолистые Параподзолистые
Дерновые Al-Fe-гумусовые	Подзолистые дерновые Параподзолистые дерновые
Подбелы	Подбелы дерновые Подбелы глеевые
Грануземы	Грануземы
Палевые	Палевые кислые (ненасыщенные) Палевые типичные Криоземно-палевые
Дерновые	Дерновые Дерново-карбонатные Рендины дерновые
Аккумулятивно-Са-гумусовые	Степные криоаридные (в том числе тундрово-степные)
Глееземы	Дерново-глеевые Торфяно-глеевые

Ствол: педолиты (синлитогенные почвы)

Литокласс	Педокласс	Тип
Вулканические	Al-Fe-гумусовые	Охристые Подзолисто-охристые Слоисто-охристые
Криотурбационные	Криоземы	Тиксотропные Гомогенные (торфянисто-перегнойные)
Аллювиальные	Гумусово-аккумулятивные Глеевые	Дерновые Торфяно-глеевые

Группа: органогенные экопочвы

Биокласс	Биотип
Торфяные болотные	Торфяные олиготрофные Торфяные мезотрофные Торфяные евтрофные
Сухоторфяные	Сухоторфяные олиготрофные Почвы трещин

Группа: примитивные экопочвы

Петроморфные
 Литоморфные (реголиты)
 Криоморфные (почвы пятен)
 Климатически примитивные почвы Арктических пустынь



Table 1. Classification scheme of ecosoils in the North

Group: Organo-mineral ecosoils		
Stem: Soils proper		
Class	Type	
Al-Fe-humus Soils	Podzolic Soils	
Sod Al-Fe-humus Soils	Parapodzolic Soils	
	Sod-Podzolic Soils	
	Soddy Parapodzolic Soils	
Podbel Soils	Gley Podbel Soils	
	Soddy Podbel Soils	
Granuzem Soils	Granuzem Soils	
Palev Soils	Acid (unsaturated) Pale Soils	
	Typical Pale Soils	
	Palevye Cryozemic Soils	
Palevye (Pale) Metamorphic Soils	Sod Soils	
	Sod Calcareous Soils	
	Sod Rendzina Soils	
Ca-humus Accumulative Soils	Cryoraid Steppe Soils	
	(with tundra-steppe soils included)	
Gley Soils	Soddy Gley Soils	
	Peaty Gley Soils	
Stem: Pedoliths (Synlithogenic Soils)		
Lithoclass	Pedoclass	Type
Volcanic Soils	Al-Fe-humus Soils	Ocherous Soils
		Ocherous Podzolic Soils
		Stratified Ocherous Soils
Cryoturbation Soils	Cryozem Soils	Thixotropic Cryozems
		Homogenic (peaty-humus) Cryozems
Alluvial Soils	Humus-accumulative Soils	Sod Soils
	Gley Soils	Peaty Gley Soils
Group: Organic ecosoils		
Bioclass	Biotype	
Peaty Bog Soils	Oligotrophic Peat Soils	
	Mesotrophic Peat Soils	
	Eutrophic Peat Soils	
Dry Peat Soils	Oligotrophic Dry Peat Soils	
	“Soils formed in cracks”	
Group: Primitive ecosoils		
Petromorphic Soils		
Lithomorphic Soils (Regoliths)		
Cryomorphic Soils (Soils of cryogenic spots)		
Climatic primitive soils of arctic deserts		



Таблица 2. Генетическая диагностика основных типов почв севера

		Процессы и их признаки							
		Органо-аккумулятивные (горизонты)					Элювиальные		
Тип почв	Строение профиля	торфяной O(T)	оторфованная подстилка Ot	дернина, войлок, OA	перегно-ый АО	гумусовый A1	выщелачивание	отбеливание	партикуляция (лессиваж)
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Подзолистые	O-A2-Bhf-C	◆	▲	○	◇	○	▲	●	◆
Параподзолистые	O-Bhf-C	◆	▲	○	◇	○	▲	*	◆
Подзолистые дерновые	(O)-Al-A2-Bhf-C	○	*	◆	*	▲	*	▲	◆
Параподзолистые дерновые	(O)-Al-Bhf-C	○	*	◆	*	▲	*	◆	◆
Подбелы	O-A2-IIBt-C	◇	*	◇	◆	○	*	*	◇
Подбелы глеевые	O-A2g-IIBtg-C	◆	*	○	◆	○	*	▲	◇
Грануземы	O-(AO)-Bmh-Bm-C	◆	*	○	▲	*	*	◆	○
Палевые кислые	O-(AO)-Bm-C	○	*	○	*	◆	◆	○	◇
Палевые типичные	O-(AO)-(Al)-Bm-C	○	*	◆	*	*	◇	○	○
Криоземно-палевые	O-(AO)-(Al)-Bm-Btx-C	◆	▲	◇	▲	*	○	○	○
Дерновые	(O)-Al-AB-C	○	◆	*	*	●	*	○	○
Дерново-карбонатные	(O)-Alca-Bca-Cca	○	◆	*	▲	●	◇	○	○
Рендзины дерновые	(O)(AO)-Alca-C(R)ca	○	◆	*	▲	▲	◇	○	◇
Степные криоаридные	O-Al-Bca-C	○	◆	▲	*	▲	○	○	○
Дерново-глеевые	(O)-Alg-Bg-C(G)	◆	◆	*	*	●	◆	◆	○
Торфяно-глеевые	O(T)-BCg(G)-Cg	●	◆	○	*	○	◆	◆	○
Криоземы гомогенные	O(T)-OB-C	●	○	○	*	○	○	○	○
Криоземы тиксотропные	(O)-(AO)-Btx-C	*	▲	○	▲	◆	◇	○	○
Ксерорендзины	(Alca)-C(R)ca	○	○	◆	◆	◆	○	○	○
Засоленные, в том числе карбонатные	Ks-Cs	○	○	○	○	○	○	○	○

Примечания:

Обозначения индексов почвенных горизонтов следующие:

hf - иллювиальный гумусово-железистый
 t - текстурный
 m - метаморфический
 mh - иллювиально-метаморфический
 tx - тиксотропный
 ca - карбонатный
 g - глееватый
 s - засоленный

Степень выраженности признаков

● - очень ярко
 ▲ - умеренно
 * - слабо
 ○ - отсутствуют
 ◆ - могут присутствовать
 ◇ - могут не присутствовать



Иллювиальные (аккумулируются в горизонте В)				Метаморфические					Криогенные			
аморфные Al-Fe-гумусовые соединения	CaCO ₃	ил, пыль	аморфизация	рубификация	оглинивание	оглеение	коагуляционное оструктурирование	растрескивание	пучения и криотурбации	вымораживание крупнозема	цементация льдом	плитчатая структура
11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
●	○	◆	●	○	▲	○	▲	○	○	◆	○	○
●	○	◆	●	○	▲	○	▲	○	○	◆	○	○
●	○	◆	●	○	▲	○	▲	○	○	◆	○	○
●	○	◆	●	○	▲	○	▲	○	○	◆	○	○
◆	○	✱	✱	○	◆	◆	✱	○	○	◇	○	▲
✱	○	✱	▲	○	◆	●	✱	○	○	◇	◇	▲
✱	○	○	●	○	▲	◆	●	◆	◇	○	✱	▲
◇	○	◇	◆	▲	◆	◇	▲	▲	○	◆	◆	◆
○	◆	○	◇	●	◇	○	▲	▲	○	◆	◇	◇
○	◆	○	◇	▲	◇	○	▲	▲	◆	◆	▲	◆
◆	○	○	▲	○	◆	◆	▲	◆	○	◆	◇	○
○	✱	○	○	○	◇	◆	●	◆	○	◆	◇	○
○	✱	◇	○	○	◆	○	▲	◆	○	◆	○	○
○	▲	○	○	◆	◇	○	●	▲	○	◆	○	○
○	○	○	✱	○	◆	●	▲	○	○	○	◆	◇
○	○	○	◆	○	○	●	✱	○	○	○	◆	○
○	○	○	◆	○	○	◇	○	○	▲	○	●	○
○	○	○	○	◆	◆	◇	✱	●	●	◆	●	○
○	✱	○	○	○	○	○	✱	◆	○	○	○	○
○	✱	○	○	◆	○	○	◆	▲	○	◆	✱	◆



Table 2. Genetic Diagnostics of the Main Soil Types of the North (The Degree of Manifestation of Major Soil Forming Processes)

		Processes and Their Features							
		Organic-accumulative (horizons)					Elluvial		
Soil Types	Soil Profile	Peaty Organic Horizon	Peaty Litter Organic Horizon	Grassy Sod – like Organic Horizon	Raw humus Transition Horizon	Humus Horizon	Leaching	Bleaching	Lessivage (eluvial)
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Podzolic Soils	O-A2-Bhf-C	◆	▲	○	◇	○	▲	●	◆
Parapodzolic Soils	O-Bhf-C	◆	▲	○	◇	○	▲	✱	◆
Sod Podzolic Soils	(O)-Al-A2-Bhf-C	○	✱	◆	✱	▲	✱	▲	◆
Sod Parapodzolic Soils	(O)-Al-Bhf-C	○	✱	◆	✱	▲	✱	◆	◆
Podbel Soils	O-A2-IIBt-C	◇	✱	◇	◆	○	✱	✱	◇
Gleyic Podbel Soils	O-A2g-IIBtg-C	◆	✱	○	◆	○	✱	▲	◇
Granuzem Soils	O-(AO)-Bmh-Bm-C	◆	✱	○	▲	✱	✱	◆	○
Acid Palev Soils	O-(AO)-Bm-C	○	✱	○	✱	◆	◆	○	◇
Typical Palev Soils	O-(AO)-(Al)-Bm-C	○	✱	◆	✱	✱	◇	○	○
Palev Cryozem Soils	O-(AO)-(Al)-Bm-Btx-C	◆	▲	◇	▲	✱	○	○	○
Sod Soils	(O)-Al-AB-C	○	◆	✱	✱	●	✱	○	○
Calcareous Sod Soils	(O)-Alca-Bca-Cca	○	◆	✱	▲	●	◇	○	○
Sod Rendzina Soils	(O)(AO)-Alca-C(R)ca	○	◆	✱	▲	▲	◇	○	◇
Cryoarid Steppe Soils	O-Al-Bca-C	○	◆	▲	✱	▲	○	○	○
Gleyic Sod Soils	(O)-Alg-Bg-C(G)	◆	◆	✱	✱	●	◆	◆	○
Gleyic Peat Soils	O(T)-BCg(G)-Cg	●	◆	○	✱	○	◆	◆	○
Homogeneous Cryozem Soils	O(T)-OB-C	●	○	○	✱	○	○	○	○
Thixotropic Cryozem Soils	(O)-(AO)-Btx-C	✱	▲	○	▲	◆	◇	○	○
Xerorendzina Soils	(Alca)-C(R)ca	○	○	◆	◆	◆	○	○	○
Salt-affected soils including Calcareous Soils	Ks-Cs	○	○	○	○	○	○	○	○

Note:

The indices of soil horizons are as follows:

hf – illuvial humus-feriuginous
 t – textured (clay accumulation)
 m – metamorphic (weathering)
 mh – illuvial-metamorphic
 tx – thixotropic
 ca – calcareous
 g – gleyic
 s – saline

The Degree of Expression of Characteristics:

● - very strong
 ▲ - moderate
 ✱ - weak
 ○ - missing
 ◆ - may be present
 ◇ - may not be present



Illuvial (accumulation in horizon B)				Metamorphic (Weathered)					Cryogenic			
Amorphous Al-Fe-humus compounds	CaCO ₃	Clay, silt	Amorphization	Rubification	Argillization	Gleyzation	Coagulative structuring	Frost cracking	Frost heave, (cryoturbation)	Separation of coarse particles	Cementating by ice	Platy structure
11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
●	○	◆	●	○	▲	○	▲	○	○	◆	○	○
●	○	◆	●	○	▲	○	▲	○	○	◆	○	○
●	○	◆	●	○	▲	○	▲	○	○	◆	○	○
●	○	◆	●	○	▲	○	▲	○	○	◆	○	○
◆	○	✱	✱	○	◆	◆	✱	○	○	◇	○	▲
✱	○	✱	▲	○	◆	●	✱	○	○	◇	◇	▲
✱	○	○	●	○	▲	◆	●	◆	◇	○	✱	▲
◇	○	◇	◆	▲	◆	◇	▲	▲	○	◆	◆	◆
○	◆	○	◇	●	◇	○	▲	▲	○	◆	◇	◇
○	◆	○	◇	▲	◇	○	▲	▲	◆	◆	▲	◆
◆	○	○	▲	○	◆	◆	▲	◆	○	◆	◇	○
○	✱	○	○	○	◇	◆	●	◆	○	◆	◇	○
○	✱	◇	○	○	◆	○	▲	◆	○	◆	○	○
○	▲	○	○	◆	◇	○	●	▲	○	◆	○	○
○	○	○	✱	○	◆	●	▲	○	○	○	◆	◇
○	○	○	◆	○	○	●	✱	○	○	○	◆	○
○	○	○	◆	○	○	◇	○	○	▲	○	●	○
○	○	○	○	◆	◆	◇	✱	●	●	◆	●	○
○	✱	○	○	○	○	○	✱	◆	○	○	○	○
○	✱	○	○	◆	○	○	◆	▲	○	◆	✱	◆



АІ-4 – Северо-Уральский ареал подзолистых и параподзолистых почв северотаежных ландшафтов увалистых и грядово-увалистых среднегорий на дислоцированных палеозойских осадочных и эффузивных породах;

АІ-5 – Пай-Хойский ареал петроморфных, параподзолистых и подзолистых почв субарктических тундровых ландшафтов кряжей и высоких грядово-увалистых предгорий на дислоцированных палеозойских осадочных, эффузивных и интрузивных породах;

АІ-6 – Ямало-Гыданский ареал торфяно-глеевых, параподзолистых и торфяных почв субарктических тундровых ландшафтов низменных аккумулятивных морских равнин и моренных равнин области верхнечетвертичного оледенения;

АІІ-1 – Онего-Печорский ареал подбелов, торфяных и подзолистых почв северотаежных ландшафтов моренных и моренно-эрозионных равнин, цокольных равнин докембрийского щита, озерно-ледниковых и зандровых песчаных равнин четвертичных оледенений;

АІІ-2 – Кулойский ареал дерново-карбонатных почв, подбелов, подзолистых и торфяных почв северотаежных ландшафтов возвышенных карстовых платообразных равнин и холмисто-моренных равнин верхнечетвертичного оледенения;

АІІ-3 – Большеземельский ареал торфяно-глеевых почв, подбелов глеевых и торфяных почв южно-тундровых и лесотундровых ландшафтов низменных аккумулятивных морских равнин, низменных моренных и ледово-морских равнин и пологохолмистых моренных равнин среднечетвертичного оледенения, перекрытых покровными суглинками;

АІІ-4 – Северо-Двинский ареал подбелов, подзолистых и торфяных почв северотаежных ландшафтов моренных и моренно-эрозионных равнин, озерно-ледниковых и зандровых песчаных равнин;

АІІ-5 – Сосьвинский ареал подбелов глеевых, подзолистых и торфяно-глеевых почв северотаежных и среднетаежных ландшафтов пологохолмистых моренных и низменных аллювиальных равнин;

АІІ-6 – Уренгойский ареал торфяных, подзолистых почв и подбелов глеевых северотаежных ландшафтов аллювиально-зандровых песчаных и моренных равнин;

БІ-1 – Хатанго-Оленекский ареал торфяно-глеевых и торфяных почв субарктических тундровых ландшафтов глинистых и суглинистых аллювиальных низменных равнин, зандровых песчаных равнин и холмисто-моренных равнин;

БІ-2 – Пенжинско-Анадырский ареал торфяных, торфяно-глеевых, криоземных и параподзолистых почв субарктических тундровых и лесотундровых ландшафтов низменных аллювиальных, зандровых и моренных равнин;

БІІ-1 – Западно-Путоранский ареал криоземов торфянистых, охристых параподзолистых почв, грануземов и торфяных почв северотаежных и горно-тундровых ландшафтов ступенчатых возвышенных плоскогорий и плато на траппах и древних лавах;

БІІ-2 – Таймырский ареал петроморфных, параподзолистых и торфяных почв субарктических тундровых и горных арктотундровых ландшафтов складчато-глыбовых среднегорий, сложенных сильноцементированными и метаморфизованными осадочными, эффузивными и интрузивными породами;

БІІ-3 – Приохотоморский ареал подзолистых, параподзолистых петроморфных, торфяно-глеевых и торфяных почв северотаежных ландшафтов складчато-глыбовых гор, сложенных докембрийскими метаморфическими и мезокайнозойскими терригенными породами, и низменных аккумулятивно-морских равнин;

БІІ-4 – Чукотский ареал петроморфных, параподзолистых, торфяно-глеевых, торфяных почв и рендзин субарктических тундровых ландшафтов складчато-глыбовых низкогорий, сложенных докембрийскими метаморфическими породами, и низменных платформенных аллювиальных, зандровых и моренных равнин;

БІІ-5 – Корякский ареал петроморфных, параподзолистых, подзолистых и торфяно-глеевых почв субарктических тундровых и лесотундровых ландшафтов складчато-глыбовых среднегорий, сложенных докембрийскими метаморфическими и мезо-кайнозойскими терригенными и вулканогенными породами;

ВІ-1 – Молодо-Ленский ареал торфяно-глеевых почв, криоземов тиксотропных, палевых и торфяных почв северотаежных ландшафтов эрозионно-пластовых равнин, сложенных песчано-глинистыми отложениями;



AI-6. The Yamal-Gydan area of peat-gley, parapodzolic, and peat soils of subarctic tundra landscapes of lowland accumulative marine plains and moraine plains of Late Quaternary glaciation;

AII-1. The Onega-Pechora area of podbels, peat, and podzolic soils of the northern-taiga landscapes of moraine and moraine-erosion plains, elevated plains of the Precambrian shield and laucustrine-glacial and outwash sandy plains of the Quaternary period;

AII-2. The Kuloy area of sod-calcareous soils and podbels, podzolic, and peat soils of the northern taiga landscapes of elevated karst plateau and hilly-moraine plains of Quaternary period;

AII-3. The Bol'shezemelskiy area of peat-gley soils, gley podbels, and peat soils of the southern-tundra and forest-tundra landscapes of lowland marine plains, moraine and glacial marine plains, and hilly moraine plains of Middle Quaternary, covered by clay loam deposits;

AII-4. The Northern-Dvina area of podbels, podzolic, and peat soils of the northern taiga landscapes of moraine and moraine-erosion plains, laucustrine-glacial and outwash sandy plains;

AII-5. The Sos'va River area of gley podbels, podzolic, and peat-gley soils of the northern taiga and middle taiga landscapes of moraine and low alluvial plains;

AII-6. The Urengoy area of peat, podzolic soils, and podbels of the northern taiga landscapes of alluvial lowlands and moraine plains;

BI-1. The Khatanga-Olenek area of peat-gley and peat soils on subarctic tundra landscapes of clay and loamy alluvial lowland plains, zandric sandy plains, and hilly-moraine plains;

BI-2. The Penzhinsk-Anadyr area of peat, peat-gley, cryozems, and parapodzolic soils of subarctic tundra and forest-tundra landscapes of low alluvial, outwash, and moraine plains;

BII-1. The Western Putorana area of peaty cryozems, ocherosus para-podzolic soils, granuzems, and peat soils of the northern taiga and mountain-tundra landscapes of elevated plateau on trappean rocks;

BII-2. The Taimyr area of petromorphic, parapodzolic, and peat soils of subarctic tundra and mountain-arctic tundra landscapes of folded Blocky medium-high mountains composed of highly cemented sedimentary effusive, and intrusive rocks;

BII-3. The Near Okhotsk Sea area of podzolic, parapodzolic petromorphic, peat-gley, and peat soils on the northern taiga

landscapes of folded Blocky medium-high mountains composed of metamorphic pre-Cambrian and Meso- and Cenozoic terrigenous rocks and low marine plains;

BII-4. The Chukotka area of petromorphic, parapodzolic, peat-gley, peat soils and rendzinas of subarctic tundra landscapes of folded Blocky low mountains composed of pre-Cambrian metamorphic rocks and low alluvial, outwash, and moraine plains;

BII-5. The Koryak area of petromorphic, parapodzolic, podzolic, and peat-gley soils of subarctic tundra and forest tundra landscapes of folded Blocky medium mountains composed of the pre-Cambrian metamorphic rocks and Meso-Cenozoic terrigenous and volcanic rocks;

BI-1. The Molodo-Lena area of peat-gley soils, thixotropic cryozems, pale, and peat soils of subarctic tundra and forest tundra landscapes of erosional bedding plains composed of sandy and clayey deposits;

BI-2. The Vilyuisk-Markh area of thixotropic cryozems, pale acid soils, and peat soils of the northern taiga landscapes of elevated plains composed of Late Paleozoic terrigenous-calcareous, Triassic, tuffogenic-sedimentary, and Quaternary loesses;

BI-3. The Zhigansk area of paleve soils, thixotropic cryozems, podzolic, and peat soils of the northern taiga landscapes of alluvial and alluvial outwash plains and elevated erosion plains composed of sandy-clay deposits;

BII-1. The eastern-Putorana area of petromorphic, cryozems, and pale soils of the northern taiga and mountain-tundra landscapes of dissected steppe-like elevated plains and plateau of ancient platform on terrigenous and terrigenous-calcareous paleozoic rocks and traps;

BII-2. The Olenek area of xerorendzinas, thixotropic cryozems, and peat soils of the northern taiga, forest-tundra, and mountain arctic tundra landscapes of elevated plains and plateaus on Early Paleozoic terrigenous-calcareous and calcareous rocks;

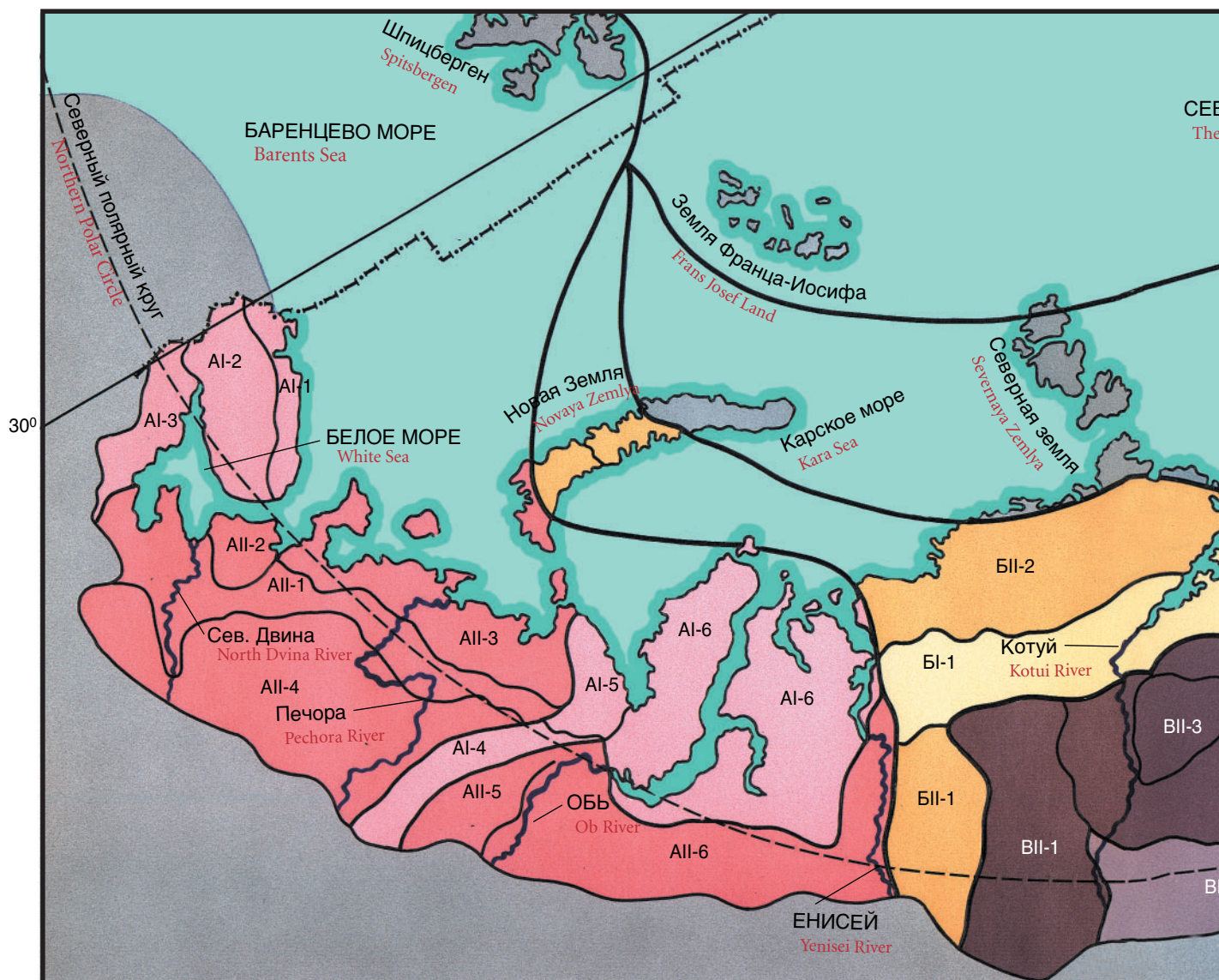
BII-3. The Anabar area of petromorphic, parapodzolic, podzolic, pale acid soils and peaty cryozems of the northern taiga and mountain-tundra landscapes of elevated platforms and ridge Blocky plateau on dislocated Precambrian igneous and metamorphic rocks;

BII-4. The Mountain-Kolyma area of parapodzolic, petromorphic, pale soils, cryozems thixotropic and peat-gley soils on the northern taiga and mountain-tundra landscapes of folded Blocky mountains with Meso-Cenozoic structures composed of terrigenous rocks, including occasionally by flysch rocks;



Рис. 1-19 Почвенные области и подобласти

Figure 1-19. Soil regions and sub-regions



A Al-Fe-гумусовых почв, подбелов и глееземов
Al-Fe-humus, Podbel and Gleyzem Soils

AI Al-Fe-гумусовых и криоземов торфяных
Al-Fe-humus and Peaty Cryozem Soils

AII подбелов, Al-Fe-гумусовых и торфяно-глеевых почв
Podbel, Al-Fe-humus and Peaty-Gleyzem Soils

B Al-Fe-гумусовых и криоморфных почв
Al-Fe humus and Cryomorphc Soils

BI торфяно-глеевых почв, торфяных почв и криоземов
Peaty-Gleyzem and Cryozem Soils

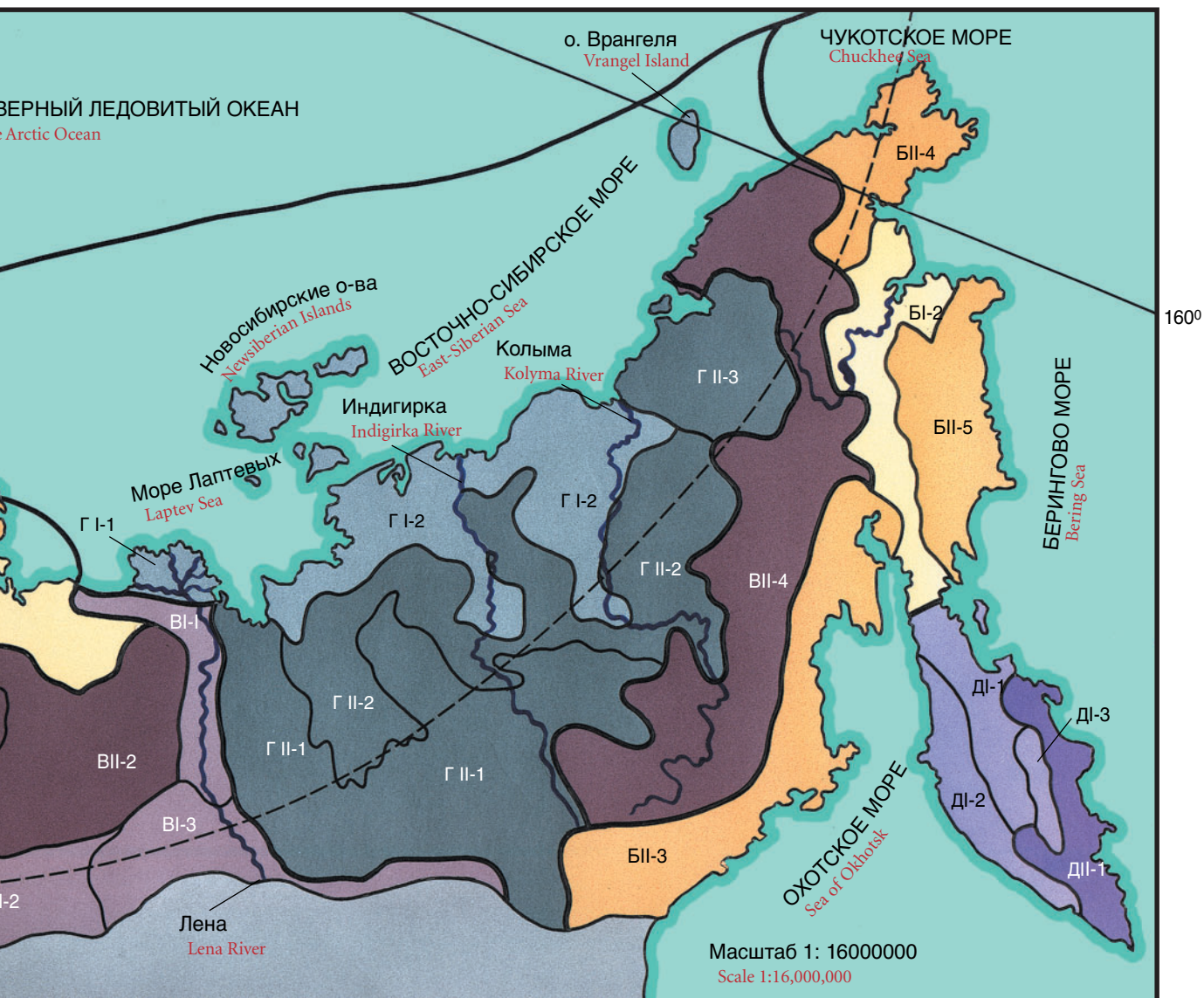
BII Al-Fe-гумусовых почв и криоземов
Al-Fe-humus and Cryozem Soils

B криоморфных, палевых и Al-Fe-гумусовых почв
Cryomorphc, Palev and Al-Fe-humus Soils

VI криоземов тиксотропных, и торфяно-глеевых почв, палевых и Al-Fe-гумусовых почв
Thixotropic Cryozem, Peaty-Gleyzem, Palev and Al-Fe-humus Soils

VII петроморфных, палевых, Al-Fe-гумусовых и криоземных почв
Petromorphc, Palev, Al-Fe-humus and Cryozem Soils





Г криоморфных, палевых и степных криоаридных почв
Cryomorphic, Palev and Cryoarid Steppe Soils

Д Al-Fe-гумусовых, вулканических и торфяных почв
Al-Fe-humus, Volcanic and Peat Soils



Г I криоземо-тиксотропных и торфяных почв
Thixotropic Cryozem and Peat Soils



Г II палевых, криоземов тиксотропных и степных криоаридных почв
Palev, Thixotropic Cryozem and Cryo Arid Steppe Soils



Д I охристых вулканических и торфяных почв
Ocherous Volcanic and Peat Soils



Д II охристо-слоистых вулканических и торфяных почв
Stratified Ocherous Volcanic and Peat Soils

границы

Boundaries of



областей
Regions



подобластей
Sub-regions



ареалов
Areas



VI-2 – Виллойско-Мархинский ареал криоземов тиксотропных, палевых кислых и торфяных почв северотаежных ландшафтов возвышенных ступенчатых равнин, сложенных никнепалеозойскими терригенно-карбонатными, триасовыми туфогенно-осадочными и четвертичными лёссовыми породами;

VI-3 – Жиганский ареал палевых почв, криоземов тиксотропных, подзолистых и торфяных почв северотаежных ландшафтов аллювиальных и аллювиально-зандровых низменных равнин и возвышенных эрозионных равнин, сложенных песчано-глинистыми отложениями;

VII-1 – Восточно-Путоранский ареал петроморфных, криоземных и палевых почв северотаежных и горно-тундровых ландшафтов расчлененных ступенчатых возвышенных равнин и плоскогорий древней платформы на терригенных и терригенно-карбонатных палеозойских породах и траппах;

VII-2 – Оленекский ареал ксерорендзин, тиксотропных криоземов и торфяных почв северотаежных, лесотундровых и горных арктотундровых ландшафтов ступенчатых возвышенных равнин и плоскогорий, сложенных нижнепалеозойскими терригенно-карбонатными и карбонатными породами;

VII-3 – Анабарский ареал петроморфных, параподзолистых, подзолистых, палевых кислых почв и криоземов торфянистых северотаежных и горно-тундровых ландшафтов возвышенных платформенных грядово-глыбовых плоскогорий, сложенных сильно дислоцированными докембрийскими магматическими и метаморфическими породами;

VII-4 – Горно-Колымский ареал параподзолистых, петроморфных, палевых почв, криоземов тиксотропных и торфяно-глеевых почв северотаежных и горно-тундровых ландшафтов складчато-глыбовых гор на мезо-кайнозойских структурах, сложенных терригенными, местами флишевыми породами;

GI-1 – Дельта р.Лена - ареал аллювиальных реголитов, торфяных и торфяно-глеевых почв арктотундровых ландшафтов низменной аллювиальной равнины;

GI-2 – Нижне-Колымский ареал торфяных почв, криоземов тиксотропных и торфяно-глеевых почв северотаежных, лесотундровых и тундровых ландшафтов низменных ледово-лёссовых и аллювиальных равнин;

GII-1 – Верхоянский ареал петроморфных, палевых параподзолистых почв, криоземов тиксотропных и

степных криоаридных почв северотаежных и горнотундровых ландшафтов складчатых и складчато-глыбовых гор на дислоцированных мезозойских структурах, сложенных терригенными, местами флишевыми породами;

GII-2 – Яно-Юкагирский ареал криоземов тиксотропных, палевых, торфяно-глеевых и степных криоаридных почв северотаежных, горно-тундровых и криостепных ландшафтов складчатых и складчато-глыбовых гор на дислоцированных мезозойских структурах и возвышенных холмистых предгорий на слабо дислоцированных мезо-кайнозойских структурах, сложенных терригенными, терригенно-карбонатными и флишевыми породами;

GII-3 – Чаунско-Ангойский ареал палевых, петроморфных почв, криоземов тиксотропных, торфяно-глеевых, степных криоаридных и параподзолистых почв северотаежных, тундровых и криостепных ландшафтов возвышенных холмистых предгорий на палеозойских и мезозойских складчатых структурах и низменных приморских аллювиальных равнин;

DI-1 – Срединно-Камчатский ареал охристых и охристо-подзолистых почв лесотундровых и горных тундровых ландшафтов вулканических хребтов и нагорий, сложенных неоген-четвертичными лавами и туфами;

DI-2 – Западно-Камчатский ареал торфяных и охристо-подзолистых почв, субарктических лесолуговых ландшафтов низменных аккумулятивных морских и аллювиальных равнин и возвышенных холмистых предгорий на мезо-кайнозойских терригенных и туфогенно-терригенных отложениях;

DI-3 – Центрально-Камчатский ареал дерновых, охристых вулканических и торфяных почв субарктических лесолуговых ландшафтов низменных равнин, сложенных аллювиальными и пепловыми вулканическими отложениями;

DII-1 – Восточно-Камчатский ареал охристо-слоистых почв, вулканических реголитов и торфяных почв лесолуговых и горно-тундровых ландшафтов вулканических хребтов и нагорий, сложенных неоген-четвертичными лавами и вулканопластическими отложениями.

На большей части территории Севера, в отличие от более южных районов процессы нарушения почвенного покрова весьма разнообразны. Здесь необходимо учитывать не только эрозию и дефляцию,



ГI-1. The Lena Delta area of alluvial regoliths, peat, and peat-gley soils of arctic tundra landscapes of low alluvial plains;

ГI-2. The Low-Kolyma area of peat soils, thixotropic cryozems, and peat-gley soils of the northern taiga, forest-tundra, and tundra landscapes of low glacial-loess and alluvial plains;

ГII-1. The Verkhoyansk area of petromorphic, pale, parapodzolic soils, cryozems, thixotropic and steppe cryoarid soils of the northern taiga and mountain-tundra landscapes of folded Blocky mountains on dislocated Mesozoic structures, formed by terrigenous rocks, including flysch rocks;

ГII-2. The Yana-Yukagin area of cryozems, thixotropic, pale peat, peat-gley, and steppe cryoarid soils of the northern taiga, mountain-tundra and cryosteppe landscapes of folded and folded Blocky mountains on dislocated Mesozoic structures and elevated Meso-Cenozoic structures composed of terrigenous, terrigenous-calcareous, and flysch rocks;

ГII-3. The Chaun-Anyui area of paleve, petromorphic soils, thixotropic cryozems, peat-gley, steppe cryoarid and parapodzolic soils of the northern taiga, tundra, and cryosteppe landscapes of elevated foothills on paleozoic and Mesozoic folded structures and low alluvial plains;

ГIИ-1. The Middle-Kamchatka area of ochreous and ochreous-podzolic soils of the forest-tundra and mountain landscapes of volcanic ridges and plateaus formed by Neogene-Quaternary lavas and tuff;

ГIИ-2. The Western-Kamchatka area of peat and ochric-podzolic soils of subarctic forest-tundra landscapes of low accumulative marine and alluvial plains and elevated foothills on Meso-Cenozoic terrigenous, terrigenous-calcareous, and flysch rocks;

ГIИ-3. The Central-Kamchatka area of soddy, ochreous volcanic and peat soils of subarctic forest-meadow landscapes of plains, composed of alluvial and ash volcanic deposits;

ГIIИ-1. The Eastern-Kamchatka area of ochreous-stratified soils, volcanic regoliths, and peat soils on the forest-meadow and mountain-tundra landscapes of volcanic ridges and plateaus formed by Neogene-Quaternary lavas and volcaniclastic deposits.

In the major part of northern areas soil degradation processes are very diverse and different from those in the southern areas. It is very important to take into account not only erosion and deflation but also other mechanisms, such as cryosolifluction, thermokarst, cryoturbation, ash falls, etc. (11, 7, 3, 4).

The map also illustrates the geography of the main types of degradation of the soil cover—both actual and potential. Regions come out clearly according to the leading groups of degradation processes, sub-regions according to the ratio between these groups of degradation processes, and areas according to the share of specific mechanisms responsible for the soil degradation. Potential degradation of soil cover due to human-related effects is also depicted on the map.

In areas without permafrost the soil cover degradation proved to be minimal under natural conditions, while degradation processes related to human-induced impacts are the usual erosion, deflation, peat degradation, (mineralization upon drainage) etc.

In permafrost areas a combination of degradation processes is highly active under natural conditions, and the accelerated rate of these processes, induced by human impact, can lead to disastrous effects. In volcanic areas of Kamchatka specific degradation of soil cover exists due to ash falls. “Acid rain” caused by volcanic activities (not by industrial pollution) is also characteristic of this area. It should be noted that the degradation mechanisms proved to be interactive. Technogenic, or industrial, impacts further develop the destructive processes, and in most cases they provoke these processes, predetermining their catastrophic character.

It is noteworthy that the degradation processes seem to be developed and activated as a cascade. For example, the soil erosion on mountain slopes has a tendency to lead to great floods and earth flows, accompanied by the loss of the upper fertile layer in alluvial meadow soils, covered by alluvial-colluvial deposits, which are composed of mud and stones.

Technogenic degradation itself usually has a local character. On the map it is marked by special extra scale symbols.

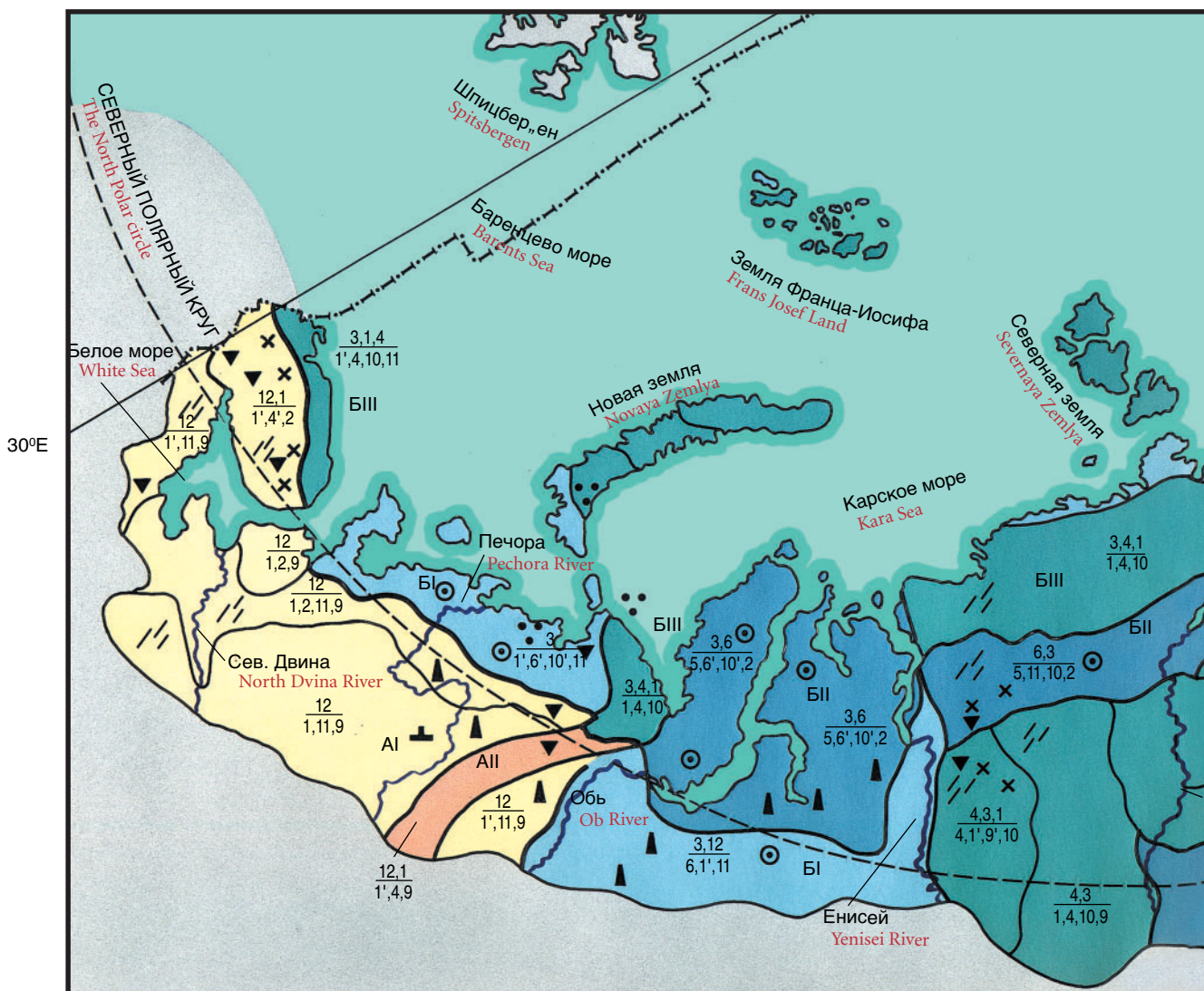
Soil degradation is greatly increased by technology aimed at cultivating forest lands. Logging eliminates the soil organic horizons. These horizons play a great ecological role in the biogeocoenoses of the North, their accumulation being the main element of soil fertility. It is much more difficult to cultivate the soils, degraded in such a way, than to develop sufficient ecological knowledge of soil development.

The problem of geochemical soil resistance has acquired primary importance in the North. The large pollution sources situated in areas covered by shallow soils with a low buffer capacity harm all components of ecosystems and all their links, including humans. The problem of soil pollution by radionuclides has become acute for the northern areas, too.

It is vitally important to develop a complex system for monitoring soils in the North, and this problem can be tackled only at the inter-state level.



Рис. 2-10 КАРТА НАРУШЕНИЙ ПОЧВЕННОГО ПОКРОВА СЕВЕРА ЕВРАЗИИ
 Figure 2-10. Map of the soil cover destruction of Eurasian North



ОБЛАСТИ
Regions

A - немерзлотная
Non-cryogenic

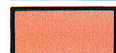
B - мерзлотная
Cryogenic

V - вулканическая
Volcanic

подобласти
Sub-regions



AI - равнинная
Plain



AII - „орная
Mountainous



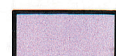
BI - равнинная
Plain



BII - равнинная на высокольдистых отложениях
Plain on deposits with high ice contents



BIII - „орная
Mountainous



VI - слабых пеплопадов
Weak ash fall

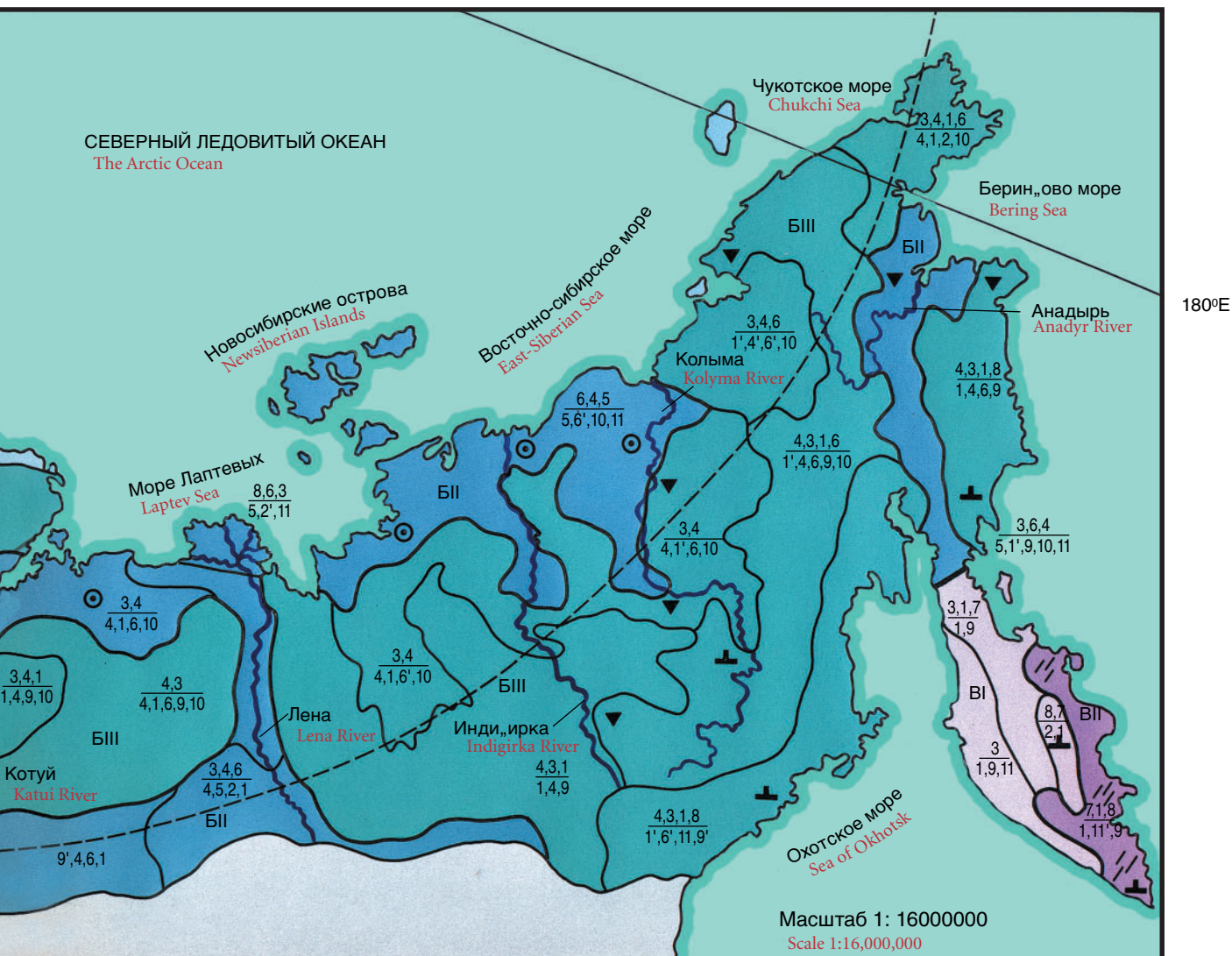


VII - интенсивных пеплопадов
Intensive ash fall

Нарушающие процессы
Destructive Processes

- 1 - эрозия
Erosion
- 2 - дефляция
Deflation
- 3 - криотурбация
Cryoturbation
- 4 - криосолифлюкация
Cryosolifluction
- 5 - термоэрозия
Thermoerosion
- 6 - термокарст
Thermokarst





ТЕХНОГЕННЫЕ НАРУШЕНИЯ

Technogenic destructions

- 7 - пеплопады
Ash falls
- 8 - сели и паводки
Mud flows and floods
- 9 - пиро„енез
Burning
- 10 - пасторальная ди„рессия
Over Grazing
- 11 - де„радация торфяников
Peat degradation
- 12 - биотурбация
Bioturbation

- ▼ „орно-добывающая промышленность
Mining industry
- ⊙ транспорт
Transport
- ⊥ раскорчевка лесов
Land Clearing
- за„ряжение радионуклидами
Radionuclide pollution
- ▲ за„ряжение нефтепродуктами
Oil products pollution
- × за„ряжение промышленными токсикантами
Industrial toxicants pollution
- /// кислотные дожди (в том числе естественные)
Acid rains (including natural)
- „раницы
Boundaries of
- областей
Regions
- подобластей
Sub-regions
- ареалов
Areas

Примечания: в числителе индекса – актуальные нарушающие процессы в естественных условиях; в знаменателе – нарушающие процессы в естественно-антропо„енных условиях; цифра без штриха – потенциальные нарушения; цифра со штрихом – актуальные нарушения

Notes: Numerator: actual destructive processes under natural conditions. Denominator: destructive processes under natural and human-caused conditions. Figures: Numbers with an apostrophe (*) indicate actual destruction. Numbers without an apostrophe are potential destruction.



но и такие механизмы нарушений почвенного покрова как криосолифлюкция, термокарст, криотурбации, пеплопады и др. (Соколов, Наумов, 1990; Наумов, Ковалева, 1989; Наумов, 1989, 1990).

География основных типов реально существующих (актуальных) и возможных (потенциальных) нарушений почвенного покрова представлена на карте. Области выделены по ведущим группам нарушающих процессов; подобласти – по соотношению основных групп нарушающих процессов, определяемому литолого-геоморфологическими условиями; ареалы – по доле конкретных механизмов нарушений.

На карте отражены также возможные нарушения почвенного покрова при антропогенном воздействии.

В немерзлотной области нарушения почвенного покрова в естественных условиях минимальны, а набор нарушающих процессов при антропогенном воздействии достаточно традиционен (эрозия, дефляция, деградация торфяников). В мерзлотной области в естественных условиях активно действует комплекс криогенных нарушающих процессов, усиление которых при антропогенном воздействии может иметь катастрофический характер. В вулканической области Камчатки наблюдаются специфические нарушения почвенного покрова при пеплопадах. Весьма актуально для этой области также наличие “кислых дождей”, связанных не с техногенным загрязнением атмосферы, а с вулканической деятельностью.

Различные механизмы нарушений сопряжены между собой и взаимно усиливают друг друга. Техногенные воздействия не только способствуют развитию нарушающих процессов, но и в большинстве случаев служат причиной возникновения этих процессов и обуславливают их катастрофический характер.

Подчеркнем еще одно обстоятельство – каскадность развития нарушающих процессов. Так, эрозия почв горных склонов обычно приводит к катастрофическим паводкам и селям, сопровождающимся погребением самых плодородных пойменных луговых почв под слоем грязекаменных аллювиально-пролювиальных отложений.

Собственно техногенные нарушения обычно локальны. На карте они отражены немасштабными знаками. Особо отметим нарушение почв при существующей технологии освоения под пашню лесных угодий. Обычно при раскорчевке происходит удаление органогенных горизонтов, экологическая роль которых в биогеоценозах Севера огромна: в них

сосредоточены основные элементы плодородия. Окультурить такие “обезглавленные” почвы гораздо сложнее и дороже, чем соблюдать экологическую грамотность при их освоении.

Для условий Севера особенно актуальна проблема геохимической устойчивости почв. Мощнейшие источники загрязняющих веществ, которые локализованы на территориях с господством маломощных почв, обладающих малой буферностью, оказывают негативное влияние на все компоненты экосистем и на все звенья трофических цепей, включая человека. Не менее актуальна для Севера и проблема загрязнения почв радионуклидами.

Комплексный мониторинг почв Севера, научные основы которого предстоит разработать – актуальная межгосударственная проблема.

Заключение

На основе обобщения оригинальных и литературных материалов разработана современная эколого-генетическая, географическая и классификационно-номенклатурная концепция почвообразования на севере Евразии. Установлено, что разнообразие направлений почвообразования здесь не уступает таковому в умеренных и теплых широтах. Основные закономерности почвообразования связаны с климатическими причинами: в первую очередь они обусловлены условиями увлажненности климата. Охарактеризовано литогенное разнообразие почв.

Почвенный покров Севера подвержен различным деградационным процессам, как антропогенным, так и естественным. Почвы Севера легко ранимы и крайне медленно восстанавливают свои свойства. Выявлены генетическая обусловленность и географическая приуроченность нарушающих почвенный покров процессов. Составлены новые оригинальные схематические карты типов почвенного покрова и типов (механизмов) его нарушения.

Литература

1. География почв мерзлотных областей/ И. А. Соколов, Г.М. Быстрыков, Е.М. Наумов и др. Тез. докл. VIII Всесоюз. съезда почвоведов. Кн. 6. Новосибирск, 1989.
2. Караваева Н.А., Таргульян В.О. Автономное почвообразование на севере Евразии и Америки// Проблемы почвоведения. М.: Наука, 1978. С. 174-178.



Conclusion

On the basis of summarized original and literature materials, an ecologic-genetic, geographic, and classification-nomenclature concept of soil formation has been worked out for the conditions of the Eurasian North. It has been established that the soil-forming processes are not inferior in their diversity to those in regions of temperate and warm latitudes. The main regularities of soil formation are governed by climatic factors; first of all, they are conditioned by humidity of the climate. The soils in areas under consideration are also diverse in terms of their lithogenesis.

The soil cover in the North is subject to both human-caused and natural degradation. The soils are vulnerable to degradation and need a great deal of time to restore their properties. Destructive processes in the soil cover are genetically conditioned in their geographic distribution. These studies made it possible to compile new original schematic maps of the soil cover types and mechanisms, which are responsible for their degradation.

References

1. Geography of the permafrost soils (by I.A. Sokolov, G.M. Bystryakov, Ye.M. Naumov, et al.) Annotation of the report made at the VIIIth All-Union Congress of Soil Scientists. Vol. 6. Novosibirsk, 1989.
2. Karavaeva, N.A. and V.O. Targulian. Autonomous soil formation in the North of Eurasia and America: Problems of soil science. Moscow, "Nauka," 1978. p. 174-178.
3. Naumov, Ye.M. The map of comprehensive economic-ecological characteristics of soils in the Northeastern Asia: Cartography and Ecology of Siberia. Irkutsk, 1989. p. 220-221.
4. Naumov, Ye.M. A system of soil-ecological maps of Northeastern Eurasia: The soil of Far East and other regions of the USSR; theoretical fundamentals for the increase in the fertility, efficiency in use and protection. Vol. II. Vladivostok, 1990. p. 27-32.
5. Naumov, Ye.M. and B.P. Gradusov. Peculiar features of taiga soil formation in the extreme Northeast of Eurasia. Moscow, "Kolos," 1974. 147 p.
6. Naumov, Ye.M., T.V. Tursina, and M.P. Verba. Frost-taiga soils of the Northeast of Asia. J. Pochvovedenie, 1985, N 6. p. 5-16.
7. Naumov, Ye.M. and N.V. Kovaleva. Experience in cartography of cryogenic degradation of the soil cover. Theory of soil cryogenesis. Pushchino, 1989.
8. I.A. Sokolov, G.M. Bystryakov, A.O. Makeev, et al. The soils of the North: the ecologic-genetic, geographic, and taxonomic-nomenclature concept. Geochemistry of landscapes and geography of soils. Moscow, State Univ. pub., 1982. p. 145-172.
9. Sokolov, I.A. Zonal spectrum of autonomous soils and its ecological and genetic analysis. J. Pochvovedenie, 1988, N 3. p. 15-26.
10. Sokolov, I.A. Basic substantive-genetic taxonomy of soils, main principles and experience in their implementation. Problems of soil science in Siberia. Novosibirsk, "Nauka," 1990. p. 4-13.
11. Sokolov, I.A. and Ye.M. Naumov. The soils in the Far East. Problems as related to their study, usage and conservation: theoretical grounds for improving the fertility of these soils and rational use. Vladivostok, 1990. p. 3-16.
12. Targulian, V.O. Soil formation and weathering in cold humid areas. Moscow, "Nauka," 1971. 268 p.



3. Наумов Е.М. Карта комплексной хозяйственно-экологической характеристики почв Северо-Востока Азии// Картография и экология Сибири. Иркутск, 1989. С. 220-221.
4. Наумов Е.М. Система почвенно-экологических карт Северо-Востока Евразии// Почвы Дальнего Востока и других регионов СССР: Теоретические основы повышения их продуктивности, эффективности использования и охраны. Кн. 2. Владивосток, 1990. С. 27-32.
5. Наумов Е.М., Градусов Б.П. Особенности таежного почвообразования на Крайнем Северо-Востоке Евразии. М.: Колос, 1974. 147 с.
6. Наумов Е.М., Турсина Т.В, Верба М.П. Мерзлотно-таежные почвы Северо-Востока Азии// Почвоведение, 1985. № 6. С. 5-16.
7. Наумов Е.М, Ковалева Н.В. Опыт картографирования криогенных нарушений почвенного покрова// Теория почвенного криогенеза. Пушино, 1989. С. 11.
8. Почвы Севера – эколого-генетическая, географическая и классификационно-номенклатурная концепция// И. А. Соколов, Г.М. Быстряков, А.О. Макеев и др. Геохимия ландшафтов и география почв. М.: изд-до МГУ, 1982. С. 145-172.
9. Соколов И.А. Зональный спектр автономных почв и его эколого-генетический анализ // Почвоведение, 1988. № 3. С. 15-26.
10. Соколов И.А. Базовая субстантивно-генетическая классификация почв, основные принципы и опыт их реализации// Проблемы почвоведения в Сибири. Новосибирск: Наука, 1990. С. 4-13.
11. Соколов И.А., Наумов Е.М. Почвы Дальнего Востока: проблемы изучения, использования и охраны // Почвы Дальнего Востока и других регионов СССР: теоретические основы повышения их продуктивности, эффективности использования и охраны. Владивосток, 1990. С. 3-16.
12. Таргульян В.О. Почвообразование и выветривание в холодных гумидных областях. М.: Наука, 1971. 268 с.



Агромелиорация в эрозионно-опасных районах

Agroforestry Reclamation in Erosion-prone Areas

Агромелиорация в эрозионно-опасных районах

Е. С. Павловский, Г.П. Озолин*, В.И. Петров, В.И. Коптев

Резюме

Многолетними исследованиями в различных регионах страны установлена эффективная роль лесонасаждений в борьбе с засухой, эрозией почв и опустыниванием. Рассмотрены способы организации высокопродуктивных агролесоландшафтов.

Введение

Цель агролесомелиорации, или защитного лесоразведения на сельскохозяйственных землях, – формирование агролесоландшафтов как высокопродуктивных, биологических устойчивых и саморегулирующихся систем, способных (в комплексе с другими мероприятиями) при оптимизированной структуре угодий противостоять деградации агросреды, разрушению почвы, снижению ее плодородия. Защитные лесонасаждения, образуя своеобразный лесобиологический каркас сельскохозяйственной территории, служат одним из наиболее действенных средств организации агроландшафта, стабилизации социально-экономических условий хозяйствования и жизнедеятельности человека (Павловский, 1988).

Защитное лесоразведение отличается многофункциональностью, длительностью, стабильностью воздействия на среду и относительно невысокой стоимостью создания и эксплуатации агролесосистем.

По расчетам Всероссийского научно-исследовательского института агролесомелиорации (ВНИАЛМИ), для формирования полноценных агролесоландшафтов в России необходимо иметь 12,3 млн га разных видов защитных лесонасаждений (табл.1). Сейчас же имеется лишь 2,7 млн га, которые тем не менее защищают около 30 млн га сельскохозяйственных угодий, обеспечивая ежегодное получение дополнительной продукции 16-18 млн тонн кормовых единиц (Трибунская, Павловский, 1990). Эколого-экономический эффект агролесомелиорации будет значительно выше, если этот резерв использовать более полно и активно.

ВНИАЛМИ разработал теорию защитного лесоразведения на сельскохозяйственных землях для разных регионов, принципы проектирования и конкретные технологии создания агролесомелиоративных насаждений применительно к

Таблица 1. Объемы агролесомелиорации в России, (млн. га)

Table 1. The extent of agricultural forest reclamation in Russia (million ha = m/ha)

Основные виды защитных насаждений Principal types of field-protective forestation	Общая потребность A Total area to be reclaimed	Имеется в 1990 г. The area reclaimed by 1990	Предстоит создать Will be reclaimed
Полезащитные лесные полосы на пашне Shelterbelts on arable land	2,9 млн. га 2.9 m.ha	1,2 млн. га 1.2 m.ha	1,7 млн. га 1.7 m.ha
Насаждения в оврагах, балках, на песках и других неудобных землях Gullies, narrows, sands, and other difficult afforestation lands	7,6 млн. га 7.6 m.ha	1,4 млн. га 1.4 m.ha	6,2 млн. га 6.2 m.ha
Насаждения на пастбищах Pasture afforestation	1,6 млн. га 1.6 m.ha	0,1 млн. га 0.1 m.ha	1,5 млн. га 1.5 m.ha
Озеленительные и др. Landscape and other gardening	0,2 млн. га 0.2 m.ha	0 млн. га 0 m.ha	0,2 млн. га 0.2 m.ha
Всего Total	12,3 млн. га 12.3 m.ha	2,7 млн. га 2.7 m.ha	9,6 млн. га 9.6 m.ha



Agroforestry Reclamation in Erosion-prone Areas

E.S. Pavlovsky, G.P. Ozolin, V.I. Petrov, and V.I. Koptev

Abstract

Studies conducted over many years in different regions of the country have disclosed an effective role of afforestation in controlling drought, soil erosion, and desertification. Ways to establish highly productive agroforestry landscapes are discussed.

Introduction

The goal of agricultural forest reclamation, field-protective forestation, is the formation of agroforest landscapes as biologically resistant and self-adjusting systems capable, along with other measures and with the structure of lands being optimized, of withstanding degradation of the agricultural environment, soil destruction, and decreased fertility. Field-protective forestation creating a specific forest-biological skeleton for agricultural areas serves as one of the most active means of establishing the agricultural landscape and stabilizing social and economic conditions for human life and activities.

Field-protective forestation is distinctive in that it is multi-functional. Its durable and steady impact on the environment comes at a relatively moderate cost associated with establishment and operation of agroforest systems.

According to estimates of the All Russian Research Institute for Agricultural Forest Reclamation (VNIALMI), in order to form complete agro-forest landscapes in Russia it is necessary to have over 12.3 million hectares (ha) under different types of field-protective forestation (Table 1).

Currently, there are only 2.7 million ha under planted trees, which nevertheless protect about 30 million ha of agricultural lands, ensuring annual production of an extra 16-18 million tons of fodder units (1). The ecological and economic effect of agro-forest reclamation will be much greater if we are able to bridge this gap more completely and efficiently.

In VNIALMI, a theory of field-protective forestation suitable for different parts of the country, as well as design principles, was developed in addition to specified tree-planting technologies aimed at agricultural forest reclamation and established in accord with local natural and historical conditions.

¹ Underlined numbers in parentheses cite sources listed in the References section at the end of this article.

According to summarized data obtained from studies carried out over many years, afforestation's reclamative functions become apparent through their multifaceted impact on the environment. As a result of the 30-40 percent decrease in wind velocity, snow accumulation increased by 25-30 percent, soil deepfreeze was prevented, surface runoff was adjusted, and high levels of transpired moisture were released into the air. Afforestation averts the danger of soil deflation and water erosion, lessens physical evaporation, and increases soil moisture content and air humidity. On irrigated lands these functions are supplemented by tree plantings' capability to stabilize the water table, to prevent bogging up and salinization of a locality, and to reduce the volume of water that is lavishly used and subject to evaporation.

Phytoecological resources, including their mineral elements and moisture surplus, which are not accessible for open agroecosystems, are realized to the maximum extent in agroforest landscapes. Photosynthesis, soil fertility, and the whole bioclimatic potential of the area are increased. As a result, the total nutritive value of phytomass increases considerably. In addition, a locality's ecological stress is diminished and its recreation/quality of life greatly increases. In agroforest landscapes the environment sets in which crop yields are higher when compared to open fields (Table 2).

Of no less importance are such protective forestation treatments as gully and mountain slope detention, protection of rivers and water reservoirs' banks from destruction, sand fixing and rangelands' reclamation sanitation, agrodesign, and many others.

Methods to apply adaptive agroforestry reclamation to areas with hilly topography, including slopes from 3 to 10 degrees, have been developed. Here forestation proceeds for different purposes and when it is combined with the simplest hydrological works, it represents an interrelated, multifunctional engineering and biological system. The surface runoff passing through forest plantings becomes free of pathogenic species of bacteria and biogenes. A forest strip 15 m wide retains about 45 to 75 percent of fertilizers and pesticides drifting out from fields.

Total acreage under forestation in the nation—about 0.7 million ha under runoff-controlling forest strips and about 1.0 million ha near gullies plantings protect nearly 14 million ha of land (5).



естественно-историческим условиям каждой местности.

По обобщенным данным многолетних исследований, мелиоративные функции лесонасаждений проявляются в их многофакторном влиянии на окружающую среду. Снижая на 30-40% скорость ветра, накапливая на 25-30% больше снега, препятствуя глубокому промерзанию почвы, регулируя поверхностный сток и выделяя в атмосферу значительное количество транспирированной влаги, лесонасаждения устраняют опасность дефляции и водной эрозии, снижают физическое испарение и увеличивают влажность почвы и воздуха. На орошаемых землях эти функции дополняются способностью лесных насаждений стабилизировать уровень грунтовых вод, предотвращая заболачивание и засоление местности, сокращать непроизводительный расход воды на физическое испарение.

В агролесоландшафтах наиболее полно реализуются фитоэкологические ресурсы, в том числе – элементы минерального питания и дополнительная влага, недоступные для открытых агроэкосистем. Возрастает коэффициент использования фотосинтетической радиации, повышается плодородие почвы и в целом биоклиматический потенциал территории, в результате чего общая продуктивность фитомассы значительно увеличивается. При этом снижается экологическая напряженность местности, значительно улучшается ее рекреационно-бытовая комфортность. В агролесоландшафтах создается среда, где по сравнению с открытыми полями возрастает урожайность возделываемых сельскохозяйственных культур (табл. 2).

Не менее важны и такие функции защитных лесонасаждений, как укрепление оврагов, горных склонов, защита берегов рек и водохранилищ от разрушения, закрепление песков и мелиорация пастбищ, санитарно-гигиенические, эстетические (агродизайн) и многие другие.

Разработаны способы адаптивного лесоаграрного освоения территорий с холмистым рельефом, в том числе склонов крутизной от 3 до 10°. Здесь размещают лесонасаждения различного назначения, представляющие в совокупности с простейшими гидротехническими сооружениями взаимосвязанную многофункциональную инженерно-биологическую систему. Поверхностный сток, проходя через лесонасаждения, очищается от болезнетворных бактерий и биогенов. Лесная полоса шириной 15 м задерживает 45-75% сносимых с полей удобрений и пестицидов.

В целом по стране имеющиеся сейчас насаждения - около 0,7 млн га стокорегулирующих лесных полос и около 1,0 млн га приовражных и прибалочных насаждений - защищают около -14 млн га угодий (Павловский, Зыков, 1984).

Основные функции агролесомелиорации, наиболее важные для сельскохозяйственного производства, заключающиеся в изменении скорости ветра, распределении снежного покрова и регулировании поверхностного стока, присущи защитным лесонасаждениям практически повсюду, но проявляются в различных почвенно-климатических условиях по-разному. Это создает определенные зональные особенности агролесомелиорации.

В районах Центрально-Черноземной зоны, Поволжья, Северного Кавказа агролесосистемы нацелены на защиту посевов сельскохозяйственных культур от засухи, суховеев, дефляции, водной эрозии, смягчение резких температурных колебаний воздуха и почвы, создание более благоприятного режима влажности для произрастания растений. Большое значение имеет правильная противоэрозионная организация территории, в том числе на контурной основе. На Северном Кавказе с обширными равнинными территориями создают крупную систему полезащитных лесных полос ажурной конструкции, обеспечивающую равномерную защиту всех пахотных угодий. Это благоприятные по условиям регионы, где можно относительно легко выращивать насаждения из многих ценных пород деревьев и кустарников.

В Нечерноземной зоне существует опасность воздействия низких температур на посевы. Роль защитных лесонасаждений здесь состоит в отоплении воздуха и почвы, предотвращении ее глубокого промерзания путем лучшей сохранности снежного покрова. При продвижении на восток отопляющая роль лесонасаждений становится все более важной, определяя, в сущности, возможность возделывания тех или иных культур. В этой зоне расположено много естественных лесов и перелесков, которые вместе с искусственными лесными полосами обеспечивают защиту сельхозугодий. Важное значение имеют почвозащитные и берегоукрепляющие насаждения. Несмотря на более бедные, чем в Черноземной зоне, почвы, ассортимент древесных и кустарниковых пород здесь довольно разнообразен, что позволяет создавать устойчивые и долговечные лесопосадки.

Под защитой лесонасаждений повышается продуктивность земледелия. Прибавка урожая зерновых культур в Московской, Тульской, Смоленской областях в среднем колеблется от 15 до 40%, в



Таблица 2. Средние прибавки урожая зерновых культур (за 25-летний период) под влиянием полевых защитных лесных полос

Table 2. Average increments in cereal crop yields (over 25 years) under the influence of field-protective strips

Зона Zone	Гидротермические условия года Hydrothermal condition of the season	Урожай, т/га Yields, tons per ha		прибавка Percent Increase
		под защитой насаждений Protective Planting	на открытых участках In open area	
Лесостепь Forest-steppe	Влажные Wet	2,46 т/га 2.46 t/ha	2,15 т/га 2.15 t/ha	14%
	Средние Medium	1,58 т/га 1.58 t/ha	1,27 т/га 1.27 t/ha	24%
	Засушливые Dry	1,66 т/га 1.66 t/ha	1,25 т/га 1.25 t/ha	33%
Степь Steppe	Влажные Wet	2,27 т/га 2.27 t/ha	2,00 т/га 2.00 t/ha	14%
	Средние Medium	1,97 т/га 1.97 t/ha	1,63 т/га 1.63 t/ha	21%
	Засушливые Dry	1,88 т/га 1.88 t/ha	1,55 т/га 1.55 t/ha	24%
Сухая степь Arid steppe	Влажные Wet	1,56 т/га 1.56 t/ha	1,26 т/га 1.26 t/ha	24%
	Средние Medium	1,53 т/га 1.53 t/ha	1,22 т/га 1.22 t/ha	25%
	Засушливые Dry	1,10 т/га 1.10 t/ha	0,84 т/га 0.84 t/ha	31%

Major functions of agroforestry reclamation, most important for agricultural production, are confined to changes in wind velocity, snow cover spread, and control of surface runoff. While these functions are inherent to field-protective forestation almost everywhere, they manifest themselves differently under various soil and climatic conditions. This leads to definite zonal peculiarities in agroforestry reclamation.

In the Central and Black Soil areas, Volga Region, and Northern Caucasus, agricultural forest systems are established to protect crops from droughts, hot dry winds, deflation, and water erosion; to mitigate sharp temperature fluctuations of the air and soil; and to introduce a more favorable regime of humidity for plant germination. Of great importance are the area's soil conservation procedures, including contour-based techniques.

A major system of field-protective forest strips, netted in configuration, is being established in the Northern Caucasus; it provides an even protection of all arable lands. These areas provide favorable conditions for growing many valuable tree and shrub species.

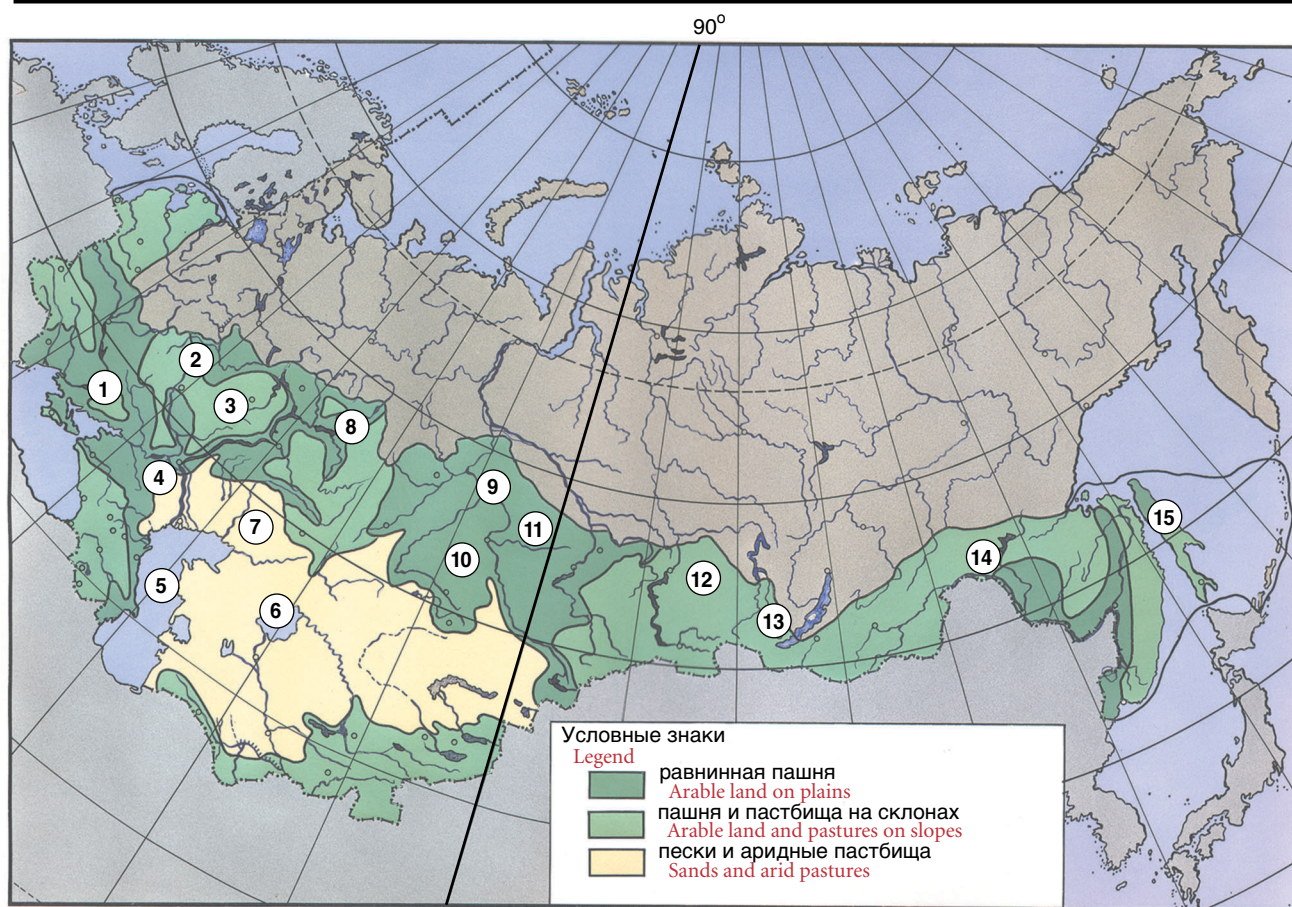
In the non-Black Soil Area low temperatures pose a danger to plantings. The role of protective forestation here is to warm up the air and soil, to prevent it from deep-freezing by better conserving the snow cover. The further to the east, the more important is the warming role of afforestation—practically determining the selection of crops to cultivate. In this zone, many natural forests and separated forest stands, together with artificial forest strips, protect agricultural lands. Of great importance are field-protective and bank-fixing tree plantings. In spite of poorer soils than those in the Black Soil Zone, the assortment of tree species here is rather variegated, permitting the establishment of stable and lasting tree plantings.

Under the protection of forest strips, arable farming productivity increases. An increase in the yield of cereal crops in the Moscow, Tula, and Smolensk Regions averages 15-40 percent; in the Ryazan, Orel, and Bryansk regions, 10-15 percent; and in Mordovia, 14-28 percent. Potato yield increases by 16-18 percent; that of corn by 30 percent; and annual and perennial grasses by 40-50 percent.

VNIALMI possesses information on the efficiency of field-protective forestation in the CIS member republics that are Russia's neighbors.



Рис. 5-15 Агролесомелиоративный фонд
 Figure 5-15. Agro-forestry ameliorative land



- | | | | | |
|--------------------------|----------------------------------|-------------------------|-----------------------------|--------------------------------|
| ① Днепр
Dnieper River | ④ Волга
Volga River | ⑦ Урал
Urals River | ⑩ Омск
Omsk | ⑬ Иркутск
Irkutsk |
| ② Дон
Don River | ⑤ Каспийское море
Caspian Sea | ⑧ Кама
Kama River | ⑪ Обь
Ob River | ⑭ Амур
Amur River |
| ③ Воронеж
Voronezh | ⑥ Аральское море
Aral Sea | ⑨ Иртыш
Irtysh River | ⑫ Красноярск
Krasnoyarsk | ⑮ о.Сахалин
Sakhalin Island |

Рязанской, Орловской, Брянской – от 10 до 15%, в Мордовии – от 14 до 28%. Урожайность картофеля повышается на 16-18%, кукурузы – на 30%, однолетних и многолетних трав – на 40-50%.

ВНИАЛМИ располагает данными об эффективности защитного лесоразведения в соседних с Россией государствах СНГ.

В Украине прибавка урожая под влиянием лесных полос составляет: зерновых культур – 12-13%, кукурузы в молочно-восковой спелости 20-21%, сахарной свеклы – 18% (Коптев, 1981). Здесь также, как и на Северном Кавказе, часто бывают пыльные бури преимущественно в юго-восточных районах страны. Системы лесных полос способствуют сохранению

посевов от выдувания и заноса мелкоземом. Значительно распространена в Украине овражная сеть, поэтому важнейшая задача лесомелиорации – предотвращение овражной эрозии. Закреплены и хозяйственно освоены путем создания гидротехнических сооружений, лесных насаждений и луговых угодий ранее бросовые, разрушавшиеся крупные овражные системы – Северодонецкая, Каневская, Норинская, Ржищевская и др.

Обширная территория Казахстана разнообразна по природным условиям, но основная задача полезащитного лесоразведения здесь – борьба с дефляцией почвы, засухой и суховеями. В стране много пастбищных угодий с невысокой продуктивностью, многие из них потенциально опасны в эрозионном



In the Ukraine an increase in crop yield resulted from the effect of forest strips, as follows: for cereal crops, 12-13 percent; for corn at the milk-wax stage, 20-21 percent; and for sugar beets, 18 percent (3). Here, as in the Northern Caucasus, dust storms occur frequently, mostly in the southeastern areas of the republic. Forest strip systems help protect plantings from deflation and drift of soil fines. There are a lot of gullies in the Ukraine; thus the most important task of agricultural forest reclamation is to prevent gully erosion. Previously abandoned, degrading extensive gully systems such as those in Severodonetsk, Kanev, Norin, Rzhishev, and elsewhere, were repaired and made economical through the use of hydrotechnological projects, forestation, and reclaimed meadow lands.

Kazakhstan's expanses differ with respect to their natural conditions, but the main task of field-protective forestation here is to check soil deflation, droughts, and hot, dry winds. There are many low-productivity rangelands, and most of them are potentially at risk of erosion. Agricultural forest reclamation of rangelands increases their productive capacity 1.5- to 2-fold. Tree planting conditions in this region are more complicated, and forest breeding requires that local science-based technologies be strictly followed.

Field-protective forestation in the Central Asian republics is applied to irrigated lands under cotton and other crops. Field-protective forest strips are aimed at the wind-breaking (wind velocity is decreased 40-70 percent) and air-warming—important for the first part of the vegetation period. In protected plantations there are more buds, flowers, and bolls on cotton plants than in open areas, and cotton yield increases by 0.4 to 0.5 ton per ha, and on certain farms with light soils by 0.8 to 1 ton per ha. Over the past 30 to 40 years field-protective forestation has also been practiced on rain-fed lands; there, under the influence of forest strips, cereal yields increase by 11-14 percent.

In the hilly areas of Central Asia forest reclamation of slopes is widely used to control erosion processes and to use these areas for economic purposes.

In the Transcaucasus subtropics during spring and summer strong, dry winds blow—often of a stormy character. Citrus trees become 60-70 percent defoliated and tea plantations and vineyards suffer from leaves' withering and windburn. Forest strips are established here to protect orchards, vineyards, and plantations from strong winds and soil erosion. Shelter-belts lead to a 20 to 25 percent increase in the yield of lemons, grapefruits, and tangerines; while tea leaves increase by 11-22 percent and grapes by 25-30 percent (2).

Field-protective forest-breeding in the Transcaucasus zone improves ecological conditions for growing wheat, cotton, and alfalfa. Their yield increases by 15-20 percent by

protecting the plantings from drought, soil deflation, and water erosion. Forest reclamation would benefit winter ranges whose productivity is very low.

In Western Siberia agroforestry reclamation is aimed largely at decreasing soil deflation. Separated forest stands, which occupy 5.5 million ha, are ecologically important. They are located in the midst of arable lands, are a component of the landscape, perform protective functions, and have a sanitary, recreational, and economic role. Artificial forest strips and separated stands of natural forest are united into single agroforest systems. The conditions here are harsher than those in the European part, the assortment of species is poorer (poplar, Siberian larch, birch, and Siberian crab apple), and the trees are shorter and less durable; however, their ecological role is great.

Agricultural lands of Eastern Siberia, the Far East, and Byelorussia need agroforestry reclamation. In each of these regions, processes destructive to the soil cover have recently been undertaken: tree felling; intensive plowing; and a one-way reclamation of light soils, sands, cryogenic soil; overdrainage of peats, unlimited extraction of fossils and building materials by an open method and other types of economic activities.

Silvicultural reclamation as a method to improve the environment encompasses, more or less, almost the entire area of the nation, stretching from tundra to deserts to mountains. But its greatest application (the so-called primary agroforestry reclamation fund) is concentrated in the areas located to the south of 55° to 60° N. Lat.

More than 40 major large reclaimed agroforestry areas are outlined; they differ from one another in degree of ecological stress, need for specific types of plantings, forest growing conditions, and varieties of trees and shrubs. In some areas noted for their more diversified conditions, subareas and areas even smaller in size, taxa are selected for optimum agricultural forestry reclamation based on local natural and economic surroundings.

In arid areas agroforestry reclamation is made difficult by unfavorable forest growing conditions and shortages of suitable tree and shrub plantings. First of all, these areas are known for their vast areas of saline soils and sand masses. Three kinds of groundwater availability for tree species were defined:

1. Available—With salt concentration less than 0.5 to 1 g per liter and depth no more than 6 to 14 m;
2. Moderately available—With salt concentration of 1 to 15 g per liter, where tree species—mesophytes—are grown, or up to 40 to 60 g per liter (halophytes are typical);



отношении. Агролесомелиорация пастбищ в 1,5-2 раза увеличивает их емкость и продуктивность. Лесорастительные условия в этом регионе более сложные, лесоразведение требует строгого соблюдения местных научно-обоснованных технологий.

Защитное лесоразведение в странах Средней Азии применяют на поливных землях при выращивании хлопчатника и других культур. Основное назначение полезащитных полос ветроломное (скорость ветра снижается на 40-70%) и утепляющее, что важно для первой половины вегетационного периода. На защищенных полях растения хлопчатника имеют больше бутонов, цветков и коробочек, чем на открытых участках, урожайность возрастает на 0,4-0,5 т/га, а в отдельных хозяйствах на легких почвах – на 0,8-1 т/га. В последние 30-40 лет полезащитное лесоразведение выходит и на богарные земли, где под влиянием лесных полос урожайность зерновых культур повышается на 11-14%.

В горных районах Средней Азии широко распространена лесомелиорация горных склонов для борьбы с эрозионными процессами и хозяйственного освоения этих участков.

В субтропических районах Закавказья весной и летом дуют сильные сухие ветры, нередко штормового характера. Цитрусовые культуры теряют до 60-70% листьев, плантации чая и винограда страдают от иссушения и ожога листьев. Лесные полосы устраивают здесь для охраны садов, виноградников, плантаций от сильных ветров и эрозии почвы. Под защитой лесонасаждений повышаются урожаи лимона, грейпфрута, мандарина на 20-25%, чайного листа на 11-22%, винограда на 25-30% (Харашвили и др., 1985).

Полезащитное лесоразведение в аридной зоне Закавказья улучшает экологические условия выращивания пшеницы, хлопчатника, люцерны, повышая их урожайность на 15-20%, защищая посевы от засухи, дефляции почвы и водной эрозии. Необходима лесомелиорация зимних пастбищ, продуктивность которых очень низка.

В Западной Сибири агролесомелиорация направлена главным образом на уменьшение дефляции почвы. Важное экологическое значение имеют естественные лесные колки, которые занимают здесь 5,5 млн га. Они расположены среди пахотных угодий и, будучи составной частью ландшафта, выполняют защитные функции, имеют санитарное рекреационное и хозяйственное значение. Искусственные лесные полосы и колки естественного леса связывают в единые агролесосистемы. Условия здесь более жесткие, чем в

европейской части, ассортимент пород беднее (тополь, лиственница сибирская, береза, яблоня сибирская), насаждения менее высоки и долговечны, однако экологическая роль их высока.

Нуждаются в агролесомелиорации и сельскохозяйственные угодья Восточной Сибири, Дальнего Востока, а также Беларуси. В каждом из этих регионов в результате вырубки лесов, интенсивной распашки и одностороннего освоения легких почв, песков, криогенных грунтов, переосушения торфяников, безлимитной добычи полезных ископаемых и стройматериалов открытым способом и других видов хозяйственной деятельности в последнее время развиваются процессы разрушения почвенного покрова.

Лесомелиорация как метод воздействия на природную среду охватывает в той или иной мере почти всю территорию страны: от тундры до пустынь и горных ландшафтов. Наибольшие же ее объемы (так называемый первоочередной агролесомелиоративный фонд) сосредоточены в районах, расположенных южнее 55-60° с.ш. Здесь выделено более 40 основных крупных агролесомелиоративных районов, отличающиеся друг от друга степенью экологической напряженности территории, потребностью в специфических видах насаждений, лесорастительными условиями, определенным ассортиментом деревьев и кустарников. В некоторых районах, отличающихся большой мозаичностью условий, выделяют подрайоны и еще более мелкие таксоны в целях выбора оптимальных агролесомелиоративных мероприятий для местной природной и хозяйственной обстановки.

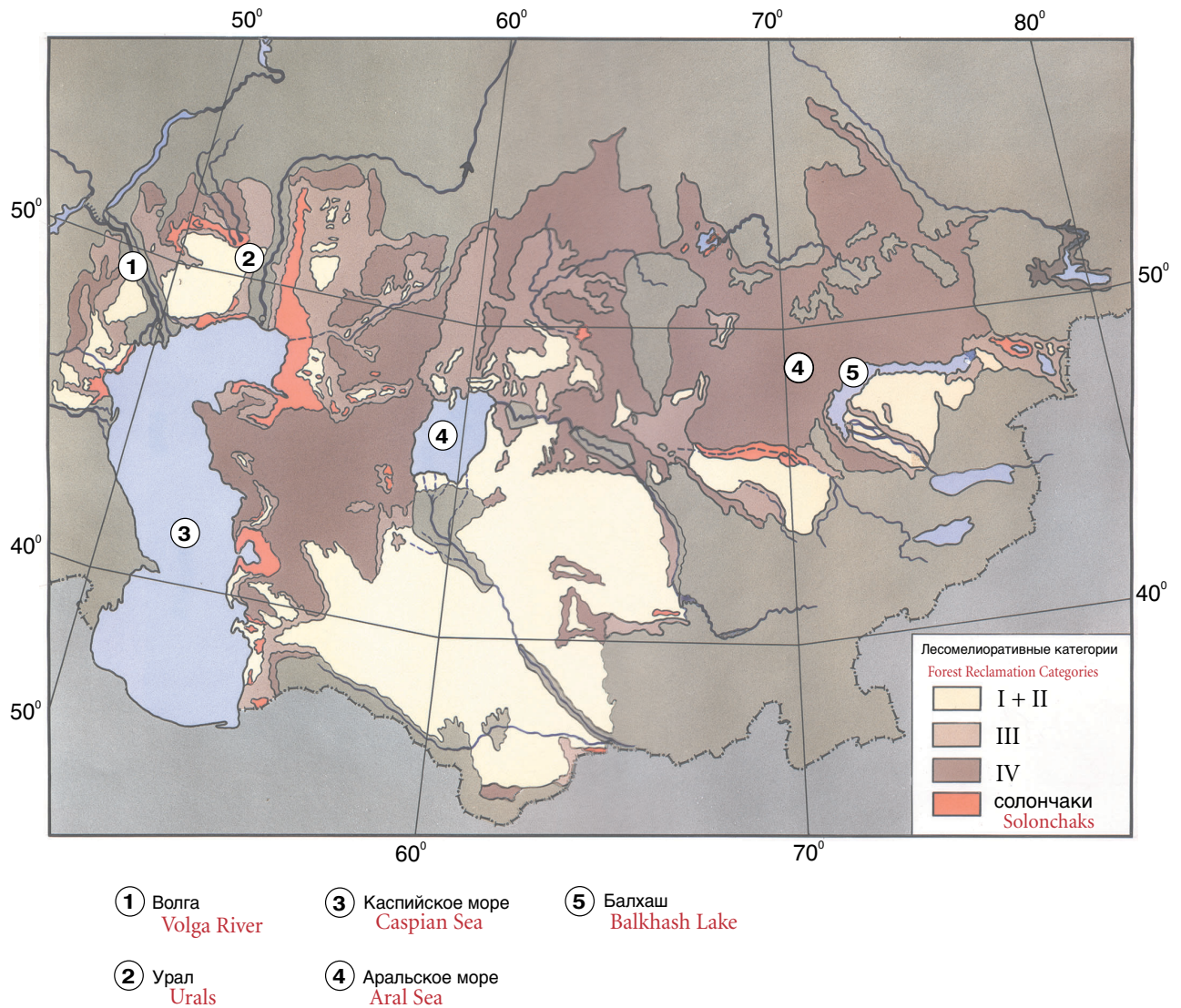


Фото 4-1. Защитная лесополоса из тополей на Новожуковской экспериментальной станции в Волгоградской области обеспечивает защиту сельскохозяйственных культур от ветровой эрозии. (Фото Тима МакКейба)

Photo 4-1. A windbreak of mature poplar trees at the Novozhuzesky Experimental Farm near Volgograd provides cropland protection from wind erosion. (Tim McCabe photo)



Рис. 6-16 Карта облесения сухих пастбищ в СССР
 Figure 6-16. Map of the USSR arid pastures agricultural afforestation



3. Non-available—Salt concentration more than 15 to 40 g per liter, depth more than 6 to 14 m; in the zone of aeration, there are salic and dry horizons with solidity being more than 20 kg per sq cm (6).

Multifactorial classification of agricultural lands was developed for the pasture area within the arid zone. It is based on landscape and economic features, enabling the classification of the forest reclamation fund at three levels: category, type, and modification.

Four forest land reclamation categories (FRC) are identified, which differ according to soil and vegetation cover and to deflation resistance of soils:

- FRC-1. Desertified areas with fine and medium-blown sands and highly deflated (the erodibility is more than 200 tons per ha per hour);
- FRC-2. Overgrown and slightly overgrown sands of various topographies and at different stages of soil-forming processes, frequently with sporadic deflation spots. They easily lose their soil and vegetation cover at high rates of livestock grazing and even in partial plowing. Their erodibility is 50 to 200 tons per ha per hour;
- FRC-3. Areas with loamy sands susceptible to deflation, eroded (5 to 50 tons per ha per hour) by throughout plowing; and



В аридных районах лесомелиорация осложнена неблагоприятными лесорастительными условиями и скудностью пригодного для посадок ассортимента деревьев и кустарников. В первую очередь это относится к обширным территориям засоленных почв и песчаных массивов. Здесь выделены три класса доступности грунтовых вод для древесных пород:

доступные – с минерализацией менее 0,5-1 г/л и глубиной залегания не более 6-14 м;

ограниченно доступные – с минерализацией от 1 до 15 г/л, где произрастают древесные породы-мезофиты, или до 40-60 г/л (характерны породы-галофиты);

недоступные – минерализация выше 15-40 г/л, глубина залегания более 6-14 м, в зоне аэрации имеются солевые и иссушенные горизонты с твердостью более 20 кг/см² (Петров, 1989).

Для районов пастбищного природопользования аридной зоны разработана многофакторная классификация сельскохозяйственных угодий. В ее основу положены ландшафтно-хозяйственные признаки, позволяющие классифицировать лесомелиоративный фонд на трех уровнях: категория, тип, модификация.

Выделены четыре лесомелиоративные категории земель (ЛМК), различающиеся по состоянию почвенно-растительного покрова и противодефляционной устойчивости почвогрунтов: ЛМК=I – опустыненные территории с мелко- и среднебарханскими песками и сильнодефлируемыми (эродируемость более 200 т/га. ч) грунтами; ЛМК=II – заросшие и слабозаросшие пески разных форм рельефа и стадий почвообразовательного процесса часто с разобщенными язвами дефляции. Они легко теряют почвенно-растительный покров при повышенной нагрузке выпасаемых животных и даже при частичной распашке. Их эродируемость – 50-200 т/га. ч; ЛМК=III – площади с супесчаными, податливыми дефляции почвами, эродируемыми (5-50 т/га. ч) при сплошной распашке; ЛМК=IV – суглинистые и глинистые равнины, практически не страдающие от дефляции (эродируемость менее 5 т/га.ч).

В пределах каждой ЛМК различают лесомелиоративные типы (ЛМТ) по обеспеченности насаждений физиологически доступной влагой. При этом оценивают влагообеспеченность выращиваемых насаждений, уточняют их породный состав, технологии лесомелиоративных работ. Широко применяют дистанционную информацию, что в десятки раз сокращает время и денежные затраты на картографирование.

Разработанные методы классификации и картографирования аграрных территорий (Петров, Кулик, 1986) использованы при составлении лесомелиоративной карты аридных пастбищ СНГ, а также успешно испытаны в Западной Африке (Республика Мали).

Длительное время ведется экологический мониторинг аридной зоны в Прикаспии и Приаралье, пустынях Средней Азии, а также в сухостепных районах Западной Сибири на территории около 250 млн га, представленной главным образом природными пастбищными угодьями, в которые вкраплены древние и современные оазисы орошения в дельтах и поймах Терека, Волги, Урала, Сырдарьи, Амударьи и других рек. Установлено, что из-за перегрузки пастбищ и нерегулируемого выпаса продуктивность десятков



Фото 4-2. Новые исследования во Всероссийском НИИ Агромелиорации (Волгоград) по выращиванию лесополос из различных быстрорастущих и засухоустойчивых видов деревьев и кустарников, с многочисленными стволами. Виды деревьев и кустарников используемые в лесополосах, включают *Robinia pseudoavscia*, *Ulmus pumila* и *Rifis aetum*. (Фото Тима МакКейба)
Photo 4-2. New studies at the All-Russian Research Academy of Agroforest Amelioration, Volgograd, include establishment of windbreaks with a variety of trees and shrubs that grow quickly, are drought resistant, and are multi-trunked. Among the species under study are Robinia pseudoavscia, Ulmus pumila, and Rifis aetum. (Tim McCabe photo)



- FRC-4. Clay loam and clay plains, which are not affected by deflation (erodibility is less than 5 tons per ha per hour).

Within each FRC, forest reclamation types (FRT) vary in physiological availability of moisture for plantings. Other factors such as moisture sufficiency for plantings to be grown, their species, and technologies of forest reclamation work are considered as well. Long-distance communication is widely used, which has led to a 10-fold reduction in time and money spent on cartography. Methods developed to classify and produce cartography of agricultural lands (Z) are employed to draw forest reclamation maps of arid CIS rangelands and are also successfully tested in West Africa (the Republic of Mali).

Ecological monitoring of arid zones of the nearby Caspian and Aral Seas areas, of Central Asia deserts, as well as in the dry steppes of Western Siberia, has long been conducted. This monitoring has covered 250 million ha of largely native rangelands in which ancient and modern irrigation oases were interspersed in the deltas and floodlands of the Terek, Volga, Ural, Syr Daria, Amu Daria, and other rivers. Due to overstocking and uncontrolled grazing, the grassland productivity in arid areas comprising tens of millions of hectares decreased 5- to 10-fold (in some areas the grass output did not surpass 10 to 20 kg per ha). There was also a drop in the productivity of degraded arable lands. Damage from losses in agricultural lands and the reduced yields for the nearby Caspian Sea region alone are estimated in the tens of millions of roubles.

Halting the degradation and desertification processes of arid agricultural landscapes is feasible only through up-to-date, comprehensive actions. The territory's agricultural forest reclamation's renovation plays a leading role in the transformation into a system of agricultural forest landscapes adapted to various natural and climatic conditions. Experience gained across the nation suggests that two types of cultivated arid-zone landscapes are best adapted for these conditions, i.e., rangelands and a complex of several variations in the branch structure.

For the desert zone and a greater part of the semi-desert and dry steppe areas, the pasture landscapes are ecologically balanced and zootechnically appropriate for livestock, with multistage woodland pastures comprising agroforestation systems and improved grassland phytocenoses (6). Under the severest of conditions, largely shrub-type reclamative plantings meant for livestock feeding are established; and only in the lowland areas, umbrella-shaped trees are planted near farms. Under more favorable conditions the system includes pasture-protective tree plantings. By improving the microclimate, they increase the yield and growing period of

grasses and create the conditions necessary for underseeding of valuable fodder plants to native grasslands. As a result, the productivity of pasture phytocenoses increases 1.2- to 1.8-fold and the amount of tree leaves and shoots consumed by cattle increases 2- to 3-fold.

Reclamative fodder plantings on degraded pastures form rows of shrub and sub-shrub windbreaks that animals can feed on; they are usually either spaced 20 to 30 m apart between shelterbelts or represented in the form of "savanna"-type tree growth.

Tree shadow umbrellas covering an area of 0.5 to 1 ha protect animals from excessive solar radiation at drinking and resting sites. They promote lambs' increased survival rate, a gain in animals' live weight and wool clip by 10-25 percent, and have paid for themselves toward the end of the first year of use. Near-farm afforestation aims to protect animal houses from snow and sand drifts, cold winds, and dust storms.

A different, staged technology was developed to fix dunes in the desertification areas and to transform desert areas into woodland pastures. For this purpose, tree planters such as MLB-1, MPP-1, MLU-1, with which it is possible to plant seedlings and tree and shrub cuttings over a rugged topography, are used, and reclamative plant species are selected.

Application of this technology ensures the establishment of improved plant species at the rate of 80 to 90 percent and helps solve the problem of establishing woodland pastures in desertified areas up to 300 to 500 ha. In large desertified areas, rows and ditches are dug to increase the areas' roughness and intercept substantial sand masses; to establish grasses, fodder grasses are seeded by aerosowing. Several years later, the desertified area is transformed into woodland pasture (with up to 2 tons of fodder biomass per ha) of high productivity and longevity (more than 60 years) supported by physiologically available moisture. Using this type of technique, 5,000-8,000 woodland pasture phytocenoses are established annually in the desert areas of Kalmykia.

A brand-new technological solution is based on local phytoamelioration through the establishment of a grid of two- and three-tiered woodland pasture oasis buffers and through the aerosowing of plant-psammophyte seeds in pellets of greatly swollen polymer hydrogels.

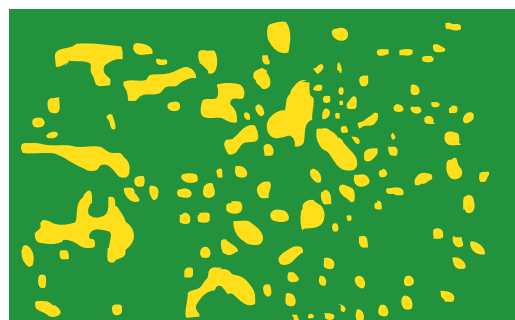
In sand and adjoining loamy sand plains where annual rainfall is 300-350 mm, it is advantageous not only to reclaim the area with woodland pastures but also to use it for soil-protective crop rotations, orchards, vineyards, and for forest-protective, economic, and recreational purposes.



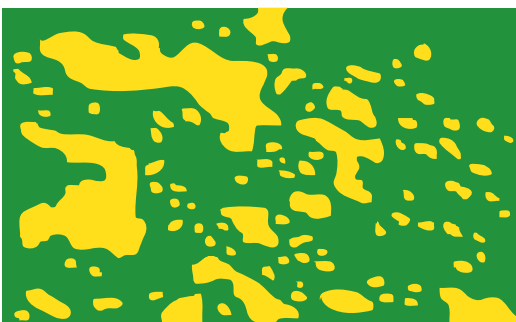
Рис. 7-17 **Динамика опустынивания пастбищ, не защищенных лесополосами**
 Figure 7-17. **Desertification dynamics of pastures without afforestation**



1954. Дефляционные пятна появляются в местах избыточного выпаса скота на песчаных почвах и постоянно увеличиваются, превращаясь в опустыненные площади
 1954. Deflation appears in places of cattle overgrazing on sandy soils and become areas of desertification



1970. Появляются пятна опустынивания, которые формируют большую опустыненную территорию в сухие и ветреные годы
 1970. Desertification focuses appear and form large desertification area in the dry and windy years



1979. Пятна опустынивания появляются в местах распашки супесей
 1979. Desertification focuses appear where sandy loam soils are plowed



1984. Опустынивание захватывает прилегающие территории
 1984. Desertification encompasses adjoining territories



Опустынивание пастбища
 1 – Desertified pastures



Продуктивные пастбища
 2 – Productive pastures

миллионов гектаров аридных пастбищных угодий снизилась в 5-10 раз (в некоторых районах урожай травостоя не превышает 10-20 кг/га). Падает и продуктивность деградирующей пашни. Ущерб от потерь сельскохозяйственных угодий и недобора с них урожая только по Прикаспийскому региону оценивается десятками миллиардов рублей.

Остановить процессы деградации и опустынивания аридных агроландшафтов можно только своевременными комплексными действиями, среди которых решающая роль принадлежит агорлесомелиоративной реконструкции территории,

трансформации ее в систему агорлесоландшафтов, адаптированных к варьированию природно-климатических условий. Накопленный в стране опыт позволяет считать, что этому требованию в аридной зоне соответствуют два типа окультуренных ландшафтов – пастбищный и комплексный с несколькими разновидностями по отраслевой структуре.

Для пустынной зоны и большей части территории полупустыни и сухой степи целесообразны пастбищные лесоаграрные ландшафты – экологически сбалансированные и зоотехнически комфортные



Рис. 8/18 Динамика рекультивации опустыненного пастбища на Каспийской низине под влиянием облесения
 Figure 8/18. Dynamics of reclamation on the desertified pasture in Caspian lowland as affected by ameliorative afforestation



1978, март. Пятно опустынивания на пастбище в барханных песках до рекультивационного облесения
 1978. March. Desertification areas with barkhan sands in the pasture before ameliorative afforestation



1979, июнь. Ежегодный высев кормовых культур привел к выравниванию и стабилизации опустыненных территорий
 1979. June. Annual fodder crops resulted in leveling and stabilization of the degraded territories relief



1981, июнь. Облесение привело к уменьшению дефляции и появлению всходов диких и посеянных трав на опустыненных пастбищах
 1981. June. Afforestation resulted in deflation control and growth of natural and seeding grasses in the desertified pastures



1984, июль. Почти вся поверхность была покрыта растительностью и превратилась в леса и пастбища с урожаем кормовых культур 1,5-2 т/га.
 1984. July. Almost total surface was covered with vegetation and turned into forests and pastures with fodder crops yield of 1.5-2.0 t/ha.

1 – Опустынивание пастбищ
 1 – Pasture desertification

3 – Продуктивное пастбище
 3 – Productive pasture

2 – Рекультивационная запашка кормовых культур
 2 – Ameliorative fodder crop plowing

Conclusion

The agroforestry landscape is determined by a territory's natural diversity. It must allow a complete use of what the local flora and fauna have to offer, as well as of the area's thermal resources, underground supplies, runoff, and

effluents, deposits of organic matter, and waste from plant and animal industries.

Large-scale operations aimed at transforming the environment through protective afforestation are part of the All-Union concept of the nation's social and economic



многоярусные лесопастбища, состоящие из системы лесонасаждений для животноводства и улучшенных травяных пастбищных фитоценозов (Петров, 1989). В наиболее жестких условиях создают преимущественно кустарниковые мелиоративно-кормовые насаждения и лишь на понижениях рельефа – древесные зонты и прифермерские насаждения. В более благоприятных условиях в систему включают пастбищезащитные лесонасаждения. Улучшая микроклимат, они увеличивают продуктивность и продолжительность вегетации трав, создают условия для подсева к естественному травостою ценных кормовых растений. В результате продуктивность пастбищных фитоценозов возрастает в 1,2-1,8 раз, а с учетом съедаемых скотом древесных листьев и побегов - в 2-3 раза.

Мелиоративно-кормовые насаждения на деградированных пастбищах формируют в виде однорядных кулис из обладающих кормовой ценностью кустарников и полукустарников, располагая их обычно через 20-30 м между пастбищезащитными лесными полосами или в виде редкостойного “саванного” древесного яруса.

Древесные теневые зонты – куртины площадью 0,5-1 га защищают животных от избытка солнечной радиации на водопое и в местах дневного отдыха. Они увеличивают выживаемость ягнят, прирост живой массы животных и настриг шерсти на 10-25% и окупаются к концу первого же года пользования. Прифермерские лесные насаждения предназначены для защиты животноводческих объектов от снежных и песчаных заносов, холодных ветров и пыльных бурь.



Фото 4-3. Ученый инспектирует быстрорастущие молодые саженцы березы, кипариса и пихты в новой лесополосе, заложенной в Докучаевском научно-исследовательском институте сельского хозяйства Центрально-Черноземного региона. (Фото Тима МакКейба)

Photo 4-3. Research scientist inspects the rapid growth of young birch, cypress, and lime trees in a new windbreak established at the Dokuchaev Research Institute of Agriculture for the Central Black-Soil Area. (Tim McCabe photo)

Разработана поэтапная дифференцированная технология, позволяющая закреплять барханы в очагах опустынивания, превращать опустыненные массивы в лесопастбища. Для этого используют лесопосадочные машины МЛБ-1, МПП-1, МЛУ-1, способные высаживать саженцы и саженьцы деревьев и кустарников в условиях сложного рельефа, подобран ассортимент растений-мелиорантов.

Применение этой технологии обеспечивает приживаемость мелиорантов на 80-90% и решает проблему создания лесопастбищ в очагах опустынивания, имеющих площадь до 300-500 га. В более крупных опустыненных массивах для увеличения шероховатости деструктивной области и перехвата значительных масс песка применяют нарезку валов-каналов, а при создании травяного яруса – аэросев семян кормовых трав. Очаг опустынивания через несколько лет превращается в лесопастбище, высокая продуктивность (до 2 т/га кормовой фитомассы) и долговечность (более 60 лет) которого обеспечиваются за счет имеющихся запасов физиологически доступной влаги. По такой технологии на опустыненных землях Калмыкии ежегодно создают 5-8 тыс. га лесопастбищных фитоценозов.

Принципиально новые технологические решения основаны на локальной фитомелиорации путем создания сети двух- и трех ярусных буферных лесопастбищных оазисов и очагов обсеменения с



Фото 4-4. Зрелые деревья березы, высаженные в несколько рядов, обеспечивают защиту полей от ветровой эрозии. (Российское фото)
Photo 4-4. Mature birch trees in multi-rows provide cropland protection from wind erosion. (Russian photo)



transformations and development of its various regions. Accordingly, the concept of developing the agro-industrial complex of the near-Caspian Sea region has evolved. There, agroforestry reclamation is indispensable to plant production, and in a number of cases is the sole means of removing ecological stresses.

Of late, there has been a sharp rise in interest in agroforestry reclamation as it has been undertaken in many countries with varied natural, climatic, social, and economic conditions. This became evident at international scientific courses, symposia, and meetings of scientists and experts held in Russia and abroad, convened within the joint framework of the International Center of Agricultural Forest Reclamation and other programs aimed at controlling desertification and improving arid pastures and other agricultural landscapes. Agroforestry reclamation should be regarded as the most available means to regulate agrarian ecology on a global scale; for instance, solving international problems related to control of arid areas' desertification, to conserving soils in large river basins covering the territories of several states, and also to protecting agricultural lands against radionuclide contamination. To attain this objective, targeted international programs and concepts of agroforestry reclamation should be developed over large geographical regions.

References

1. Manaenkov, A.S., V.I. Petrov, and N.S. Zyuz. A method to reclaim deflation foci with the topography of small dunes to be used under woodland pastures. (A.c. 1115682 USSR. MKI3 ASOIV23/00.) *Applic.* 6/2/82; *Publ.* 9/30/84. *Bull.* N36.
2. Protective afforestation in the USSR. E.S. Pavlovsky, ed. Moscow, Agropromizdat, 1986. 263 p.
3. Koptev, V.I. Efficiency in field-protective afforestation in the Ukraine. (*Vestnik selskokhozyaistvennoy nauki.*) *Agricultural Science News*, 1981. N3. p. 122-126.
4. Desert Afforestation. G.P. Ozolin, ed. Moscow, Agropromizdat, 1985. 232 p.
5. Pavlovsky, E.S. Environmental and social problems of agricultural afforestation. Moscow, Agropromizdat, 1988. 182 p.
6. Pavlovsky, E.S. and I.G. Zykov. Soil Conservation by agricultural afforestation and comprehensive gully-narrow reclamation. (*Vestnik selskokhozyaistvennoy nauki.*) 1984. N12. p. 41-48.
7. Petrov, V. I. Sylvo-agrarian reclamation of the arid zone. (*Problemy osvoeniya pustyn.*) *Problems of Desert Reclamation*. 1989. N1. p. 19-25.
8. Petrov, V.I. and K.N. Kulik. Aerial survey of sands in the southeast of the European part of the USSR. (*Vestnik selskokhozyaistvennoy nauki.*) 1986. N12. p. 118-122.
9. Stepanov, A.M. Agricultural forestry reclamation of irrigated lands. Moscow, Agropromizdat, 1987. 208 p.
10. Tribunskaya, V.M. Economic effect of shelterbelts in the soil conservation system. Moscow, Agropromizdat, 1990. 175 p.
11. Kharaishvili, G.I., M.U. Kekelia, N.V. Tadriashvili, et al. Efficiency of field-protective forest belts in Georgia. *Bull. VNIALMI*, 1985. Issue 3 (46). p. 45-46.



применением аэросева семян растений-псаммофитов в гранулах из сильнонабухающих полимерных гидрогелей.

Пески и прилегающие супесчаные равнины, где выпадает 300-350 мм осадков, выгодно осваивать не только под лесопастбища, но и под почвозащитные севообороты, сады, виноградники, леса защитно-хозяйственного и рекреационного назначения.

Структура агролесоландшафтов определяется природным разнообразием территории. Она должна обеспечить полное использование местного биоэкологического потенциала – территориальных и термических ресурсов, запасов подземных, сточных и сбросных вод, залежей органических веществ, отходов аграрного производства и животноводства.

Крупные операции, преобразующие среду с помощью защитного лесоразведения – это научно обоснованная часть общей концепции социально-экономических преобразований в стране и развития отдельных регионов. Так, подготовлена концепция развития агропромышленного комплекса Прикаспийского региона, в которой агролесомелиорация выступает как неотъемлемый компонент экологичного аграрного производства и в ряде случаев как не имеющее альтернативы средство разрядки экологической напряженности.

В последние годы резко возрос интерес к развитию агролесомелиорации во многих странах с различными природно-климатическими и социально-экономическими условиями. Свидетельство тому – ежегодно проводимые в России и за рубежом международные научные курсы, симпозиумы и встречи ученых и специалистов в рамках совместных проектов, Международного центра агролесоводства и других программ по борьбе с опустыниванием, по улучшению аридных пастбищ и других агроландшафтов. Агролесомелиорацию следует рассматривать как наиболее доступную форму управления аграрной экологией в глобальном масштабе, например, в решении международных проблем борьбы с опустыниванием аридных территорий, защиты почв от эрозии на водосборах крупных рек, охватывающих территории нескольких государств, а также защиты сельскохозяйственных земель от радионуклидного загрязнения. Для этого требуется разработка целевых международных программ и концепций агролесомелиорации крупных географических регионов.

Литература

1. А. с. П15682 -СССР. МКИ³ АОIV23/00. Способ освоения очагов дефляции с мелкобарханным рельефом под лесопастбища /А.С. Манаенков, В.И. Петров, Н.С. Зюзь. Заявл. 02.06.82; Оpubл. 30.09.84. Бюл. № 36.
2. Защитное лесоразведение в СССР /Под ред. Е.С. Павловского. М.: Агропромиздат, 1986. 263 с.
3. Коптев В.И. Эффективность полезащитного лесоразведения на Украине //Вестн. с.-х. науки. 1981. № 3. С. 122-126.
4. Облесение пустынь /Под ред. Г.П. Озолина. М.: Агропромиздат, 1985. 232 с.
5. Павловский Е.С. Экологические и социальные проблемы агролесомелиорации. М.: Агропромиздат, 1988. 182 с.
6. Павловский Е.С., Зыков И.Г. Агролесомелиоративная защита почв от эрозии и комплексное освоение овражно-балочных систем // Вестн. с.-х. науки. 1984. № 12. С. 41-48.
7. Петров В.И. Лесоаграрное освоение засушливой зоны. //Проблемы освоения пустынь, 1989. № 1. С. 19-25.
8. Петров В.И., Кулик К.Н. Изучение песков Юго-Востока европейской части СССР с помощью аэрокосмических снимков. //Вестн. с.-х. науки. 1986. № 12. С. 118-122.
9. Степанов А.М. Агролесомелиорация орошаемых земель. М.: Агропромиздат, 1987. 208 с.
10. Трибунская В.М. Экономическая эффективность защитных лесных насаждений в системе охраны почв от эрозии. М.: Агропромиздат, 1990. 175 с.
11. Эффективность полезащитных лесных полос в Грузии / Хараишвили Г.И., Кекелия М.У., Тадриашвили Н.В. и др.// Бюл. ВНИАЛМИ, 1985. Вып. 3 (46). С. 45-46.



Почвозащитная обработка

Conservation Tillage



Почвозащитная обработка

И.П. Макаров, А.И. Пупонин*, О.Г. Котлярова, Г.И. Казаков, Н.И. Картамышев, Е.И. Шиятый

Резюме

Рассмотрены особенности почвозащитной обработки по регионам страны, вскрыты преимущества и недостатки такой обработки, условия ее применения. Выделены проблемы, требующие решения.

Введение

Прогрессирующие антропогенные нагрузки на почвенный покров, снижение уровня плодородия почв, разрушение структуры пахотных горизонтов вызвали широкое распространение процессов эрозии и дефляции, уменьшение площади пашни на душу населения. В результате возникла острая необходимость разработки почвозащитных ресурсосберегающих технологий возделывания сельскохозяйственных культур как приоритетного направления исследований в области земледелия.

Существенные различия природно-экологических условий на территории страны обуславливают особые требования к созданию комплексов почвозащитной обработки, адаптированной к особенностям регионов.

В странах СНГ эродировано около одной трети пахотных площадей. При этом отмечено действие водной и ветровой эрозии как в отдельности, так и совместно (табл. 1). Общая площадь эродированной и потенциально эрозионно-опасной пашни достигает 70%. В регионах наиболее древнего земледелия эродированные земли составляют половину и более площади пашни.

В результате развития этих процессов в 60-е годы возникла необходимость принятия неотложных мер, направленных на предупреждение водной и ветровой эрозии почв.

До этого в науке и практике господствовала теория академика В.Р. Вильямса, в соответствии с которой повышение плодородия почв связывалось с улучшением ее структуры при вспашке.

Катастрофические пыльные бури в 30-40-е годы в США и Канаде, а также в 60-е годы в бывшем СССР послужили мощным стимулом для научных

исследований в области почвозащитной обработки почвы, предусматривающей рыхление почвы без оборота пласта с сохранением пожнивных остатков на поверхности. Основой для этих исследований в нашей стране стали работы Т.С. Мальцева и А.И. Бараева в 50-60-е годы.

Исследованиями Казахского научно-исследовательского института зернового хозяйства и других научных учреждений стран содружества показана реальная возможность замены вспашки на плоскорезную обработку при возделывании яровых зерновых культур. Плоскорезная обработка предотвращала пыльные бури, способствовала увеличению весенних запасов влаги в почве, повышению урожайности зерновых культур.

В течение нескольких лет было налажено массовое производство плоскорезов-рыхлителей для основной обработки почв, сеялок для посева зерновых по стерне, ротационных мотыг вместо зубовых борон, что позволило на недавно распаханых целинных и залежных землях заменить плужную вспашку почвозащитной безотвальной обработкой с сохранением стерни на поверхности.

Положительный опыт замены вспашки почвозащитной (плоскорезной) обработкой при возделывании яровых зерновых культур в азиатском регионе земледелия (Казахстан, Сибирь) был проанализирован и одобрен на сессии ВАСХНИЛ в г. Ростове (1969 г.) и рекомендован для широкой научной и производственной проверки в европейском регионе земледелия. К этому времени уже были пыльные бури на миллионах гектаров пашни в Поволжье, Северном Кавказе, на юге Украины; уничтожались посевы, засыпались мелкоземом лесные полосы, дороги и производственные сооружения.

Широкая сеть опытов по изучению противозерозионной обработки почв, проведенных после 1969 г. в условиях Поволжья, Северного Кавказа, Степи Украины, Центрально-Черноземной зоны европейского региона, позволила собрать обширную информацию по эффективности этого приема в зависимости от особенностей почвенного покрова, климата и возделываемых культур.



Conservation Tillage

I.P. Makarov, A.I. Puponin, O.G. Kotlyarova, G.I. Kazakov, N.I. Kartamyshev, and E.I. Shiyaty*

Abstract

Various features of conservation tillage in the country's regions are considered. Advantages and disadvantages of such tillage are discussed, as well as its application. Problems awaiting solution are touched upon.

Introduction

Extensive spread of soil erosion and deflation and reduced per capita acreage of arable land are caused by increased human impact on the soil cover, decreased soil fertility, and destruction of texture of plowed horizons. As a result, development of conservation and resource-saving technologies for growing crops has become a research priority in the field of arable farming of the Soviet Union. Great variations in natural and ecological conditions over the country's territory require the adaptation and application of specific conservation tillage practices.

About a third of the nation's arable land is affected by water or wind erosion, or both (Table 1). Total acreage of eroded and potentially erodible soils of arable lands reaches 70 percent. In certain regions and republics, largely those with the most ancient arable farming traditions (Uzbekistan, Ukraine), eroded soils comprise half or more of arable-land acreage.

As a result of concepts developed to tackle soil tillage problems during the 1960's, it became urgent to take measures to prevent water and wind from eroding the area's soils.

Before that time, both theoretically and in the field, the concepts of V. R. Williams prevailed, whereby increases in soil fertility were associated with improved soil texture resulting from moldboard plowing.

Disastrous dust storms occurred in the 1930's and 1940's in the United States and Canada and in the 1960's in the former Soviet Union. These storms provoked a powerful outcry for scientific research in the field of conservation tillage—including the use of nonmoldboard plowing of soils, with postharvest residues being left on the surface. The work conducted by T.S. Maltsev and A.I. Baraev in the 1950's and 1960's served as the basis for this research.

Investigations carried out at the All-Union Research Institute for Cereal Production and other of the nation's research institutions showed that there was a real possibility of growing

spring cereal crops with a subsurface cultivator. Such tillage helped prevent dust storms, promoted increased spring moisture content of soils, and raised cereal crop yields.

Over a period of several years, large-scale production using subsurface cultivators-looseners was responsible for most of the soil tillage; seeders were used for the sod-sowing of cereals, and rotary hoes replaced tined harrows. This enabled residue and stubble to remain on the surface of the recently reclaimed virgin and waste lands.

Positive results in substituting conservation (subsurface) tillage for plowing in cultivating spring cereal crops in the Asian arable farming area (Kazakhstan, Siberia) were analyzed and approved by the VASKhNIL session held in the city of Rostov in 1969. It was recommended that the technique be extensively tested on both a scientific and practical basis in the European arable farming area. There, over several successive years, dust storms had been striking millions of hectares of arable land in the Volga region, the Northern Caucasus, and the southern part of the Ukraine; as a result, sown areas had been eliminated and forest strips, roads, and enterprises lay buried.

After 1969, a great number of experiments researched conservation tillage in the Volga region, Northern Caucasus, steppes of the Ukraine, and central chernozem areas of the European region. These studies enabled the collection of valuable information on the efficacy of this technique, taking into consideration such variables as soil cover, climate, and crops grown.

Arable farming in the European part of the country differs greatly from that of the Asian region because of climatic conditions (Table 2), with up to 10-12 field crops being grown in rotations. Arable crops such as corn, sunflower, sugar beets, and others comprise a substantial share of these rotations. It was natural to begin by testing the substitution of conservation tillage for plowing on cereal crops. In the arid steppe areas of the Volga region, Northern Caucasus, and southern Ukraine, soil conservation tillage showed an apparent advantage over plowing—both in preventing erosion and in increasing cereal crop yields.

By the middle of the 1980's soil conservation tillage was applied on more than 60 million ha (the total arable-land acreage is 227 million ha).

Nonmoldboard cultivation practiced mostly in arid steppe



Существенные отличия европейского региона земледелия от азиатского заключаются в климатических особенностях (табл. 2), более широком наборе культур, возделываемых в севооборотах, значительном удельном весе пропашных культур (кукуруза, подсолнечник, сахарная свекла и др.) в структуре посевных площадей. Естественно, что на первом этапе была изучена возможность замены вспашки почвозащитной обработкой под зерновые колосовые культуры. В степных засушливых районах Поволжья, Северного Кавказа, юга Украины почвозащитная обработка показала явное преимущество перед вспашкой как по предотвращению эрозии, так и по действию на урожайность зерновых культур.

К середине 80-х годов площадь применения почвозащитной обработки в странах содружества достигла 60 млн га (общая площадь пашни – 227 млн га).

Рыхление почвы без оборота пласта в большинстве степных засушливых районов оказалось более эффективным в отношении накопления и сохранения запасов влаги, особенно в районах, где зимние твердые осадки занимают значительный удельный вес (до 30-40% и более) в годовой сумме осадков.

Сохранение растительных остатков на поверхности почвы в процессе ее рыхления создает почвозащитный эффект, размер которого зависит от количества растительных остатков на почве.

Если при вспашке потери почвы от ветровой эрозии по регионам и странам содружества составляли от 34 до 220 т/га в год, то стерни на поверхности снизились до значений, близких к нулю.



В Казахстане и Западной Сибири применение противозерозионной обработки почв существенно сократило проявление ветровой эрозии и увеличило производство зерна, повысило урожайность и ее устойчивость.

Данные научных учреждений азиатского и европейского регионов земледелия позволили определить, что средняя прибавка уровня зерновых культур от применения почвозащитной технологии обработки почвы составляет в степной зоне европейского региона и в северных областях Казахстана около 0,2 т/га, а в Западной Сибири 0,23 т/га. Однако эти средние показатели не везде и не каждый год одинаковы.

Плоскорезная обработка как эффективный прием увеличены запасов влаги в почве обеспечивает наибольшее превышение урожайности яровой пшеницы в годы, когда значение гидротермического коэффициента (ГТК) в наиболее важные периоды органогенеза зерновых культур не превышает 0,6; при благоприятных гидротермических условиях вегетации различия в урожайности снижаются, а в отдельные года (ГТК > 1,5-2) и по вспашке может быть получено превышение в урожайности. В засушливых условиях азиатского степного региона вероятность благоприятных гидротермических условий вегетации невелика, что и ведет к получению среднесезонного преимущества плоскорезных обработок (фактор влаги в минимуме). В районах же, где гидротермические условия вегетации яровых зерновых культур складываются более благоприятно, чаще получают равновеликие урожаи по вспашке и почвозащитным приемам обработки.



Фото 5-1. До катастрофических пыльных бурь 60-х, отвальная вспашка служила основным методом обработки почвы (Фото 5-1). Исследования в области почвозащитного земледелия показали, что растительные остатки обеспечивают защиту от ветровой эрозии (фото 5-2). (Фото Тима МакКейба)

Photo 5-1. Prior to the devastating dust storms in the USSR during the 1960's, moldboard plowing served as the prevailing farm practice (Photo 5-1). This led to research in the area of conservation tillage where residues from the previous crop provide protection from wind erosion (Photo 5-2). (Tim McCabe photo)



Таблица 1. Удельный вес эродированных и эрозионно-опасных обрабатываемых земель в отдельных регионах и странах содружества (%)

Table 1. Proportion of eroded and erodible soils in the arable farming regions (percent)

Регион, страна содружества Region, CIS Country	Эродированные и эрозионно-опасные земли Eroded and erodible soils	Эродированные земли в результате водной или ветровой эрозии Eroded soils by water or wind
Азиатский регион / Asian Region/Country		
Казахстан Kazakhstan	77,4% 77.4%	25,4% 25.4%
Западная Сибирь Western Siberia	80,3% 80.3%	33,8% 33.8%
Восточная Сибирь Eastern Siberia	59,4% 59.4%	33,3% 33.3%
Урал Ural	68,7% 68.7%	28,5% 28.5%
Узбекистан Uzbekistan	87,2% 87.2%	66,6% 66.6%
Европейский регион / European Region/Country		
Беларусь Byelorussia	64,5% 64.5%	29,0% 29.0%
Центральный Central	33,3% 33.3%	16,0% 16.0%
Центрально-Черноземный Central-Chernozem	68,5% 68.5%	22,5% 22.5%
Поволжский Volga Region	62,3% 62.3%	38,5% 38.5%
Северо-Кавказский Northern Caucasus	75,5% 75.5%	44,2% 44.2%
Украина Ukraine	70,6% 70.6%	44,8% 44.8%
Всего Total	70,0% 70.0%	32,6% 32.6%

areas turned out to be more effective in terms of accumulating and maintaining soil moisture content than plowing performed by separate plows. This result was especially evident in those areas where winter's solid precipitation comprised a considerable share (30 to 40 percent and higher) of total annual precipitation.

The level of plant residue left on the soil surface during plowing helps in the conservation of the soil.

While with plowing, the nation's estimated deflation-caused soil losses ranged from 34 to 220 tons per ha per year, conservation tillage, where stubble is left on the surface, practically eliminated losses.

Use of conservation tillage on the soils of Kazakhstan and Western Siberia helped to considerably diminish the effects of

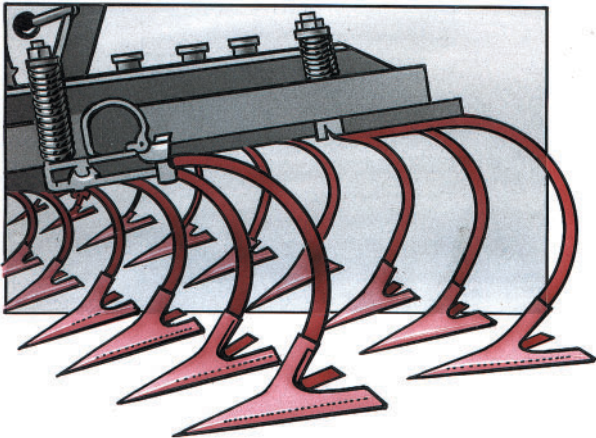
deflation and increase grain production, as well as to raise and maintain yield capacity.

Data obtained by research institutions in the Asian and European regions showed the following about the average increase in the yield of cereal crops resulting from the use of the soil-conserving technology: in the steppe zone, increases of about 0.2 ton per ha; in the northern regions of Kazakhstan, 0.2 ton per ha; and in Western Siberia, 0.23 ton per ha. Nevertheless, these average data are not the same everywhere and every year.

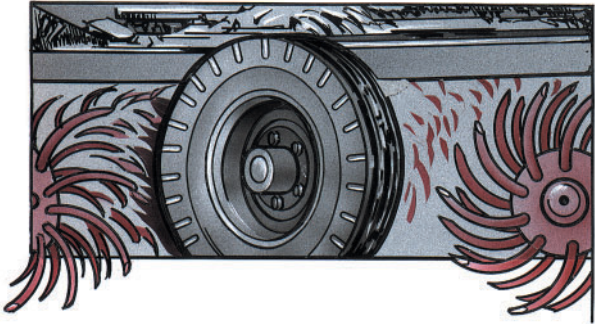
Subsurface cultivation as an effective way to increase moisture content of the soil ensures the highest increase in yield capacity of spring wheat in those years when a value of hydrothermic coefficient (HTC) at the most important stages of organogenesis of cereal crops does not exceed 0.6; under



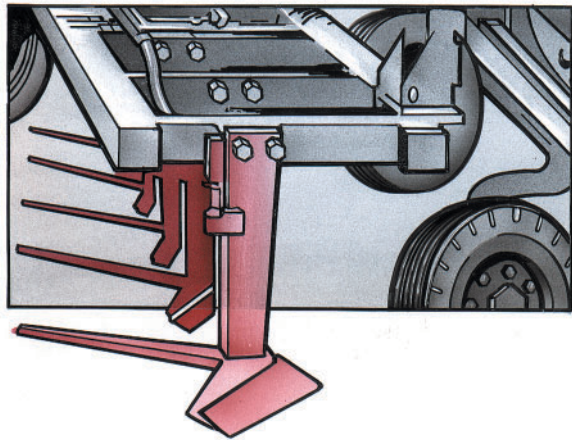
Рис. 19 Типы культиваторов
Figure 19. Types of cultivators



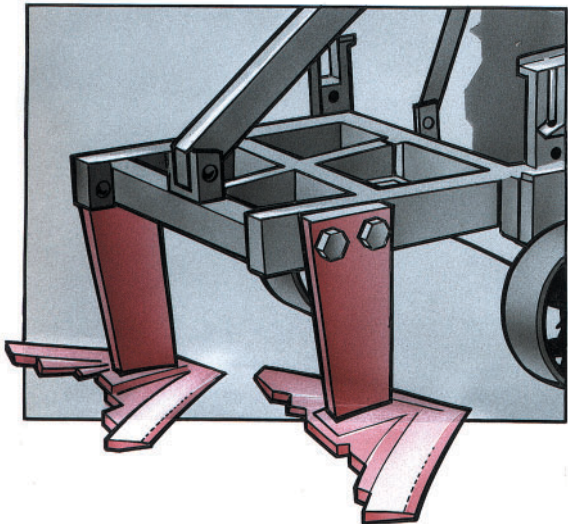
культиватор модель 38
subsurface cultivator model 38



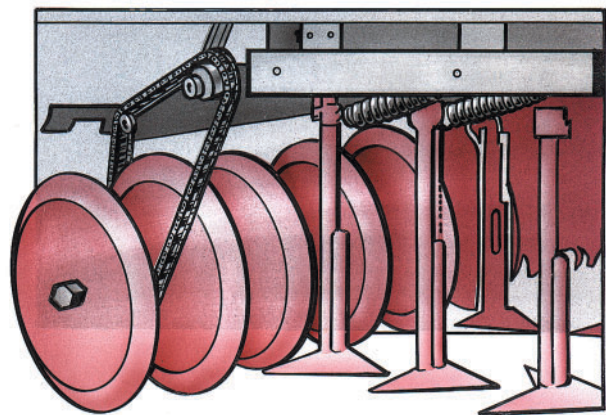
широкозахватная борона модель 20
wide-level harrow model 20



широкозахватный культиватор модель 9
wide-level subsurface cultivator model 9



культиватор модель 2 x 150
subsurface cultivator model 2 x 150



сеялка СЗС 2,1
seeder SZS 2.1



favorable hydrothermic conditions of cultivation the differences in yield capacity decrease, and in certain years ($HTC > 1.5$ to 2), and even with plowing, there may be an increase in yield. Under the dry conditions of the Asian steppe arable farming region, the probabilities of favorable hydrothermic conditions for plant cultivation are not high, and this leads to the average, over a period of many years, advantage of subsurface tillage (moisture factor is at a minimum). Where hydrothermic conditions for growing spring cereal crops are more favorable, equal yields may be expected from plowing and conservation tillage.

Data obtained for spring cereal crops at many of the nation's research institutions summarized by Professor D.E. Vanin, may serve to a certain extent to confirm this proposition. For instance, for spring wheat 97 trials showed an apparent advantage of subsurface tillage over plowing (yield differences exceed 5 percent). These data are obtained largely in the Asian arable farming region. In 12 trials the differences were not significant (less than 5 percent), but in 55 trials plowing showed an advantage.

In 53 trials on spring barley (in the Asian arable farming region) a considerable increase was noted in the yield with subsurface cultivation, in 104 trials the differences were insignificant, and in 52 trials moldboard cultivation showed an advantage.

Results mentioned by Professor N.K. Shikula concerning the comparative study of plowing and subsurface cultivation in the Ukraine (400 trials) indicate that in one-third of the trials there was an advantage with subsurface tillage (in dry seasons), for one-third the results were the same (in those years with average moisture content), and for one-third yield decreased under subsurface tillage (in years with excess moisture).

Barley yields increase under subsurface tillage, with the general average yield level at 1-2 tons per ha, whereas at a yield level of 2.5-3.5 tons per ha there is an advantage with the plowing methods. Hence, one can suggest that yield increases with subsurface tillage when the role of moisture content of soils during the yield build-up is predominant.

Transition to nonmoldboard cultivation's soil-conserving methods should be combined with the use of complex technological and other techniques to effectively free fields of weed seeds rather than suppress the weed growth in plantings. A mechanical transition to subsurface cultivation, especially in fields highly contaminated with weed seeds, will invariably result in an intensive growth of weeds in plantings.

In the Poltava region it was postharvest semi-fallow tillage in 5 crop fields of the 10-field crop rotation that freed fields of weeds and established the basis for the transition to nonplow tillage.

In arid steppe areas of Western Siberia, Altai, and Kazakhstan, where short-term (four or five crops) fallow cereal crop rotations and an appropriate system of fallows, principal and presowing tillages are applied, transition to nonmoldboard cultivation does not lead to increased weediness beyond an ecologically sustainable threshold.

More complex are the conditions in multicourse rotations (10 to 12 crops), including alternating cereals with arable crops in the European arable farming region where, because of large quantities of weed seeds in the soil, nonmoldboard cultivation greatly enhances weediness. Under these conditions, the transition to nonmoldboard cultivation should be combined with more intensive weed control measures. Such transition should first be accompanied by alternating plowing and nonmoldboard loosening in crop rotations.

Observations made over many years in both the Asian and European arable farming regions have shown that soil conservation tillage kept the organic matter in soils, promoting its buildup in the topsoil. On the common chernozems of the European region, keeping mulch intact on the surface and building up the organic matter in the topsoil during conservation tillage increases viability and number of earthworms—which on the whole is associated with a rise in humus levels of the arable layer. In a number of trials of conservation tillage conducted in the European region there was a need to add nitrogen fertilizers to cereal crops.

In both Asian and European arable farming regions, no considerable changes were noted either in soils' phytosanitary status or in infestation levels after plowing had been substituted for soil conservation tillage.

It was shown that in some arable farming regions of the European region, nonmoldboard cultivation with implements did not properly loosen the arable layer of the soil to a level adequate for plowing. This is attributable to weather conditions prevalent in the fall-winter period in the European part, where a thaw frequently occurred in fall and winter, and rainfall caused self-packing of soils where nonmoldboard cultivation was performed. As a result, in springtime, thawing water in those fields that had undergone subsurface cultivation did not easily percolate and there was an increase in effluent when compared to those fields which had been tilled with moldboard plows. Photos 5-3 & 5-4
Under such conditions, more effective fall nonmoldboard cultivation is performed by implements having chisel-type working elements.

These conclusions are supported by the data, which show that while moving from steppe to forest-steppe and with an increase in soil moisture content the differences between nonmoldboard cultivation and plowing are smoothed over, while in more humid zones (forest-steppe) marked advantage enjoys a moldboard plowing.



Обобщенные профессором Д.Е. Ваниным данные, полученные для яровых зерновых культур во многих научно-исследовательских учреждениях стран содружества, в определенной мере могут служить подтверждением этого положения. Так, для яровой пшеницы в 97 опытах выявлено явное преимущество плоскорезной обработки по сравнению со вспашкой (различия в урожайности превышают 5%). Эти данные получены в основном в азиатском регионе земледелия страны. В 12 опытах различия были незначительны (менее 5%) и в 55 опытах отмечено преимущество вспашки.

Для ярового ячменя в 53 опытах (азиатский регион земледелия) установлено существенное превышение урожайности при плоскорезной обработке, в 104 – различия были незначительны, а в 52 опытах выявлено преимущество вспашки отвальными плугами.

Приведенные профессором Н.К. Шиколой результаты сравнительного изучения вспашки и плоскорезной обработки в Украине (400 опытов) показали в 1/3 опытов преимущество плоскорезной обработки (в засушливые годы), в 1/3 результаты были равнозначными (в средние по увлажнению годы) и в 1/3 опытов было установлено снижение урожайности при плоскорезной обработке (годы с избыточным увлажнением).

Увеличение урожайности ячменя при плоскорезной обработке наблюдается при общем среднем уровне урожайности от 1 до 2 т/га, при уровне урожайности от 2,5 до 3,5 т/га установлено преимущество вспашки. Отсюда можно предположить, что скорее всего прибавку урожая при плоскорезной обработке почвы получают в условиях, когда роль запасов влаги в почве в формировании урожая является преобладающей.

Переход на почвозащитные приемы обработки почвы без оборота пласта необходимо сочетать с проведением комплекса агротехнических и других приемов по эффективной очистке полей от семян сорных растений, а не просто подавлять развитие сорняков в посевах. Механический переход на плоскорезную обработку, особенно на полях, имеющих высокие запасы семян сорняков в почве, всегда будет способствовать интенсивному росту засоренности посевов.

В Полтавской области именно качественное применение полупаровой обработки в послеуборочный период в пяти полях десятипольного севооборота обеспечило существенную очистку полей от запасов семян сорняков в почве, что и создало основу для перехода на бесплужную обработку.

В засушливых степных районах Западной Сибири, Алтая и Казахстана при соблюдении коротких (четырёх-, пятипольных) зернопаровых севооборотов и соответствующей системы паровых, основных и предпосевных обработок почвы в севообороте переход на плоскорезную обработку не ведет к увеличению засоренности выше экологического порога вредоносности.

Сложнее складываются условия в многопольных (10-12 полей) зернопропашных севооборотах европейского региона земледелия, где особенно при высоких запасах семян сорняков в почве переход на плоскорезную обработку существенно усиливает засоренность посевов, особенно пропашных культур. В этих условиях переход на плоскорезную обработку почвы должен сопровождаться усилением мер по очистке полей от семян сорняков. Отсюда на первом этапе такой переход включает чередование в севообороте вспашки (в чистом пару, под пропашные, зернобобовые и крупяные культуры) и безотвального рыхления (под однолетние травы, яровые зерновые и озимые культуры).

Многолетние наблюдения, проведенные как в азиатском, так и европейском регионе земледелия, показали, что почвозащитная обработка создает условия для сохранения и накопления органического вещества в почве, особенно в верхнем ее слое. На черноземах обыкновенных европейского региона сохранение на поверхности мульчи и накопление органических веществ в верхнем почвенном слое при почвозащитных обработках позволяют активизировать жизнедеятельность и рост численности дождевых червей, что в целом сопровождается увеличением содержания гумуса в пахотном слое. В ряде исследований почвозащитной обработки в европейском регионе выявлена необходимость дополнительного внесения азотных удобрений при выращивании зерновых культур.

Существенного изменения фитосанитарной обстановки почвы, а также увеличения численности вредителей при замене вспашки на почвозащитную обработку как в азиатском, так и европейском регионе земледелия не установлено.

Показано, что в некоторых сельскохозяйственных областях европейского региона обработка плоскорезными орудиями не обеспечивает адекватного вспашке рыхления пахотного слоя почвы. Связано это с погодными особенностями осенне-зимнего периода в европейском регионе, где частые оттепели в это время и выпадающие осадки способствуют более сильному самоуплотнению почвы при безотвальных обработках.



Таблица 2. Основные агроклиматические показатели азиатского и европейского регионов земледелия СНГ

Table 2. Major agroclimatic features of Asian and European arable farming regions of CIS

Регион, страна содружества Region, CIS Country	Теплообеспеченность Heat availability	Влагообеспеченность Moisture availability		
	сумма температур выше 10° С Sum of temperatures above 10°C	продолжительность вегетационного периода, число дней с температурой выше 10° С Growing season, number of days with temperatures above 10° С	годовая сумма осадков, мм Annual rainfall, mm	высота снежного покрова, см Snow cover thickness, cm
Азиатский регион / Asian Region/Country				
Западная Сибирь Western Siberia	1700-2000 1,700-2,000	115-120 дней 115-120 days	350-400 мм 350-400 mm	35-40 см 35-40 cm
Северный Казахстан Northern Kazakhstan	2000-3200 2,000-3,200	125-120 дней 125-120 days	250-350 мм 250-350 mm	20-30 см 20-30 cm
Европейский регион / European Region				
Степная Steppe	2200-3450 2,200-3,450	138-199 дней 138-199 days	300-500 мм 300-500 mm	10-60 см 10-60 cm
Лесостепная Forest-steppe	1600-3400 1,600-3,400	106-188 дней 106-188 days	400-600 мм 400-600 mm	25-80 см 25-80 cm
Лесная Forest	2200-3450 2,200-3,450	100-163 дней 100-163 days	500-800 мм 500-800 mm	20-80 см 20-80 cm

While cereal spike crops in soil conservation tillage in steppe and forest-steppe zones of the European arable farming region yield, as a rule, either as much as or more than crops under plowing, the yields of certain arable crops (sugar beets, corn produced for grains, etc.) under trials are sharply reduced when soil conservation tillage is used.

The causes of such a decrease in yield can be extremely varied: for instance, they include incomplete scarifying and crumbling of the arable layer, increased weediness of fields, and the need to change the ratio of applied mineral fertilizers. Long term use of conservation tillage in cultivating crops remains under dispute.

In the Asian arable farming region under the steppe conditions of Western and Eastern Siberia and Kazakhstan, nonmoldboard cultivation replaced plowing in the 1960's-1970's and has been in use for more than 20 years in growing cereal crops in the 4- to 6-course fallow cereal crop rotations. Provided that soil conservation technology

to grow cereal crops were strictly followed, there would be no negative phenomena to alter soil fertility. According to Yu. B. Moshchenko, studies conducted under static conditions showed that consistent use of nonmoldboard cultivation in the cereal-fallow crop rotations furthered the increase in soil fertility.

Some scientists think that along with consistent use of soil-conserving subsurface tillage resulting from fallow-cereal crop rotations, plowing should be done at regular intervals. Nevertheless, such proposals are not yet included in the recommendations made by research institutions of the Asian region.

The share of conservation tillage in crop rotations practiced in the European region varies along with soils, climate, crops to be grown, and other zonal features of arable farming. Under arid steppe conditions, where cereal crops (winter and spring ones) are generally grown, conservation nonmoldboard cultivation is the tillage system used most. With high



В итоге весной, на полях, где была проведена плоскорезная обработка почвы, ухудшается впитывание талых вод, возрастает сток по сравнению с полями, вспахантыми отвальными плугами.

В таких условиях более эффективное осеннее рыхление почвы без оборота пласта достигается орудиями с рабочими органами чизельного типа.

Эти положения подтверждаются данными, показывающими, что с переходом от степи к лесостепи и увеличением увлажнения различия между безотвальными способами рыхления почвы и вспашкой сглаживаются, и в более увлажненной зоне (лесостепи) прослеживаются преимущество вспашки отвальными плугами.

Если зерновые колосовые культуры при почвозащитной обработке в степной и лесостепной зонах европейского региона земледелия, как правило, дают или равный урожай в сравнении со вспашкой, или выше, то некоторые пропашные культуры (сахарная свекла, кукуруза на зерно и др.) в отдельных случаях резко снижают урожайность при почвозащитной обработке полей.

Причины такого уменьшения урожайности могут быть весьма различны, например: недостаточное рыхление и крошение обрабатываемого слоя почвы, увеличение засоренности поля, необходимость изменения в соотношении используемых минеральных удобрений.

Дискуссионным остается пока вопрос о возможности длительного применения почвозащитной обработки при возделывании сельскохозяйственных культур.

В азиатском регионе земледелия в степных условиях Западной, Восточной Сибири и Казахстана плоскорезная обработка сменила вспашку в 60-70-е годы и уже более 20 лет ее применяют при возделывании зерновых культур в четырех шестипольных зернопаровых севооборотах. При тщательном соблюдении почвозащитной технологии возделывания зерновых культур каких-либо негативных явлений, изменяющих плодородие почв, здесь не установлено. По данным Ю.Б. Мощенко, стационарные исследования, проведенные в Западной Сибири, показывают, что длительное многолетнее применение плоскорезных обработок в зернопаровых севооборотах способствует повышению плодородия почв.

Некоторые ученые полагают, что при длительном использовании почвозащитной плоскорезной обработки в зернопаровых севооборотах необходима



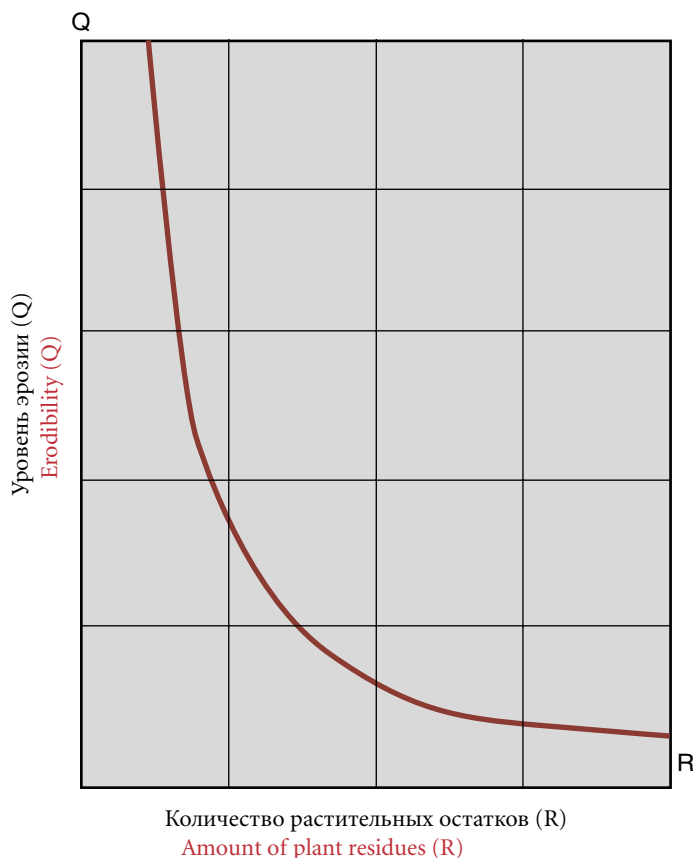
Фото 5-2. В Докучаевском научно-исследовательском институте сельского хозяйства Центрально-Черноземного региона ученые используют 2-х лемешный плуг (фото 5-3) и дисковую борону (фото 5-4) для подготовки пашни к осеннему севу. Оба метода оставляют почти 80% растительных остатков на поверхности почвы для борьбы с эрозией. (Фото Тима МакКейба)

Photo 5-2. At the Dokuchaev Research Institute of Agriculture for the Central Black-Soil Area researchers use a 2-bladed sweep (Photo 5-3) and a paraplow (Photo 5-4) to prepare cropland for fall planting. Each tillage method leaves nearly 80 percent of the previous crop residue on the soil surface to combat erosion. (Tim McCabe photo)



Рис. 3-30 Влияние количества растительных остатков (R) на поверхности почвы на уровень эрозии (Q)

Figure 3-30. Change of erodibility (Q) as affected by the amount of plant residues (R) on the soil surface



moisture content of soils and an increase in the number of fields under arable crops in the crop rotation, plowing is more widely used, and here the use of a combination of different tillage methods in the crop rotation is more effective.

I.E. Shcherbak and N.K. Shikula prove the possibility and use of perennial application of conservation tillage in growing cereal and arable crops in long-term (10 to 12 fields) crop rotations of the steppe and forest-steppe area of the Ukraine, but this point of view so far has not been recognized by scientists and producers of the European arable farming region. There the majority of researchers recommend either regular plowing or a combination of nonmoldboard cultivation along with plowing.

Conclusion

In general, the advantages of soil conservation tillage are evident: erosion processes are sharply slowed down, and the moisture regime of arable lands is optimized. As a result of such tillage in steppe areas, the possibility of attaining uniform germination of cereal crops under normal conditions set for seedbed moistening is increased, and yields increase.

It is important to keep in mind that conservation tillage methods require maintaining a firm adherence to technological discipline in growing crops. Even under the conditions of the Asian arable farming region, violating soil conservation techniques to prepare fallow and non-fallow precursors often leads to rapid growth of negative consequences (weediness, soil packing, etc.), requiring the use of herbicides or return to plowing. Ignorance concerning technological requirements of soil conservation tillage, especially in the more humid areas of the forest-steppe zone and non-chernozem European region, often causes intensive weed growth in plantings and a return to conventional plowing.

In addition, in the European arable farming region, where plowed soils comprise 82 percent of the agricultural acreage, the share of arable crops in the sown area is great; frequently they are grown on 1- to 5-degree slopes (over half of plowed soils are on such slopes). Soil conservation cannot be based on conservation tillage alone. Under these conditions only a complex system of measures, including optimum crop rotations for soil fertility and an erosion-preventive land organization, along with a soil conservation technology to grow crops, is capable of ensuring soil conservation.

To expand the use of soil conservation tillage in the area's arable farming, it is necessary to further improve and differentiate the methods of such tillage applicable to zonal and n-crozoal soil- and climate-specific features of cultivation.

References

1. Ecological problems of keeping and reproducing the soil fertility. A.P. Shcherbakov, Corresponding member of VASKhNIL, ed. Kursk, 1989. 189 p.
2. Morgun, F.I., A.N. Shikula, and A.G. Tarariko. Soil conservation arable farming. Kiev. Publ. "Urozhai" (Yield), 1988. 253 p.
3. Resource-saving technologies of tillage: Scientific fundamentals, experiment, perspectives. I.P. Makarov, VASKKNIL member, ed. Kursk, 1989. 244 p.
4. Scientific fundamentals of modern systems of arable farming. A.N. Kashtanov, VASKhNIL member, ed. Moscow. Publ. Agropromizdat, 1988. 256 p.



периодическая вспашка. Однако в рекомендациях научных учреждений азиатского региона такие предложения пока отсутствуют.

Удельный вес почвозащитной обработки в севооборотах европейского региона варьирует в зависимости от почв, климата, возделываемых культур и других зональных особенностей земледелия. В степных засушливых условиях, где преимущественно возделывают зерновые культуры (озимые и яровые), наиболее высокая доля в системе обработки почв приходится на почвозащитные плоскорезные обработки. В условиях большого увлажнения и с увеличением числа полей пропашных культур в севообороте шире применяют вспашку – здесь наиболее эффективно сочетание в севообороте различных способов обработки почв.

И.Е. Щербак, Н.К. Шикула доказывают возможность и полезность многолетнего применения почвозащитной обработки при возделывании зерновых и пропашных культур в длительных (10-12 полей) севооборотах степи и лесостепи Украины. Однако эта точка зрения пока не получила достаточного признания среди ученых и практиков европейского региона земледелия. Здесь большинство исследователей рекомендуют сочетание (чередование) безотвальной обработки и вспашки.

В целом выявлены преимущества почвозащитной обработки, резко замедляющие развитие процессов эрозии, оптимизирующие режим влажности пахотных земель. В результате такой обработки почвы в степных районах увеличивается гарантия получения дружных всходов зерновых культур вследствие создания нормальных условий увлажнения посевного слоя почвы, повышается урожайность.

Важно иметь в виду, что почвозащитные обработки требуют соблюдения высокой технологической дисциплины при возделывании сельскохозяйственных культур. Даже в условиях азиатского региона земледелия нарушение почвозащитной технологии подготовки пара и непаровых предшественников часто приводит к быстрому росту негативных последствий (засорение, уплотнение почв и т.д.), требующих применения гербицидов или возврата к вспашке. Несоблюдение технологических требований к почвозащитной обработке, особенно в более влажных районах лесостепной зоны и Нечерноземья европейского региона, часто обуславливает интенсивное засорение посевов и также возврат к традиционной вспашке.

Вместе с тем в европейском регионе земледелия СНГ, где распаханная земля составляет 82% площади сельскохозяйственных угодий, а в структуре посевов высок удельный вес пропашных культур, которые зачастую размещают на склонах крутизной от 1 до 5° (на такие склоны приходится здесь более половины распаханной почвы), защита почв от эрозии не может базироваться лишь на почвозащитной обработке. В этих условиях только комплексная система мероприятий, включающая оптимальные севообороты с учетом плодородия почв и развития эрозионных процессов, противоэрозионную организацию территории, почвозащитную технологию возделывания сельскохозяйственных культур, гидротехнические и фитомелиоративные приемы и др., способна обеспечить гарантированную защиту почв от эрозии.

Для расширения применения почвозащитной обработки в земледелии стран дружества необходимы дальнейшее совершенствование и дифференциация приемов такой обработки применительно к зональным и микрозональным почвенно-климатическим особенностям возделывания культур.

Литература

1. Моргун Ф.Т., Шикула А.Н., Тарарико А.Г. Почвозащитное земледелие. Киев: Урожай, 1988. 253с.
2. Научные основы современных систем земледелия / Под ред. акад. ВАСХНИЛ А.Н. Каштанова. М.: Агропромиздат, 1988. 256 с.
3. Ресурсосберегающие технологии обработки почв: научные основы, опыт, перспективы /Под ред. акад. ВАСХНИЛ И.П. Макарова. Курск, 1989. 244 с.
4. Экологические проблемы сохранения и воспроизводства плодородия /Под ред. акад. ВАСХНИЛ А.П. Щербакова. Курск, 1989. 189 с.



Мелиорация переувлажненных почв гумидной зоны СССР

Reclamation of Overmoistened Humid Zone Lands

Мелиорация переувлажненных почв гумидной зоны

Б.С. Маслов, С. Г. Скоропанов*, Ц.Н. Шкиннис, О.В. Скрипник, А.Н. Степанов

Резюме

Для тяжелых почв рекомендованы закрытые собиратели (дрены с фильтрующей засыпкой) в сочетании с глубоким рыхлением почвы. Рассмотрены конструкции водооборотных осушительно-увлажнительных систем с гидравлическими регуляторами уровня (гидроавтоматы), вопросы мелиорации торфяных почв.

Зона избыточного увлажнения простирается от Балтийского моря до Тихого океана. Основная проблема мелиорации на этой обширной территории с разнообразными природно-хозяйственными условиями – осушение переувлажненных земель.

Площадь их в составе сельскохозяйственного фонда России превышает 58 млн га. Кроме того, здесь около 110 млн га болот. Без осушения непригодны к использованию торфяные, глеевые и глееватые почвы, особенно тяжелые и подстилаемые водонепроницаемыми грунтами. Во влажные годы недобирают урожай на глееватых супесчаных и песчаных почвах.

Неустойчивость погоды, частая повторяемость засушливых периодов (продолжительностью 10-30 суток и более) также обуславливают снижение урожая. Значительная площадь земель страдает от наводнений, водной эрозии и дефляции. Преобладают бедные питательными веществами почвы. Поэтому основа современной мелиорации земель – комплексность: осушение проводят в сочетании с культуртехническими работами (очисткой сельскохозяйственных угодий от кустарников и камней, выравниванием почв и др.), агромелиорацией, орошением, окультуриванием почв и природоохранными мероприятиями.

Основной способ осушения повсеместно, кроме районов с многолетнемерзлыми породами, – закрытый трубчатый дренаж. В СНГ из 16,7 млн. га осушенных земель на его долю приходится 11,78 млн. га, или 70%.

Ориентировочные значения расстояний между дренами для разных почв следующие: песок мелкозернистый – 30-40 м, супесь и легкий суглинок – 16-30, торф низинный – 16-40, средний суглинок – 12-20, тяжелый суглинок и глина – 6-12 м.

Минимальный диаметр дрен из керамических труб – 50 мм. Исследованиями установлена целесообразность увеличения диаметров дрен. Закономерное возрастание водозахватной способности по мере увеличения диаметра наблюдается как при гончарном, так и при пластмассовом дренаже.

В последние годы была изучена эффективность пластмассового дренажа в разных почвенно-климатических районах страны.

Использование пластмассового дренажа при осушении постепенно возрастает. На Сахалине и в Хабаровском крае, где не было давних традиций применения гончарных труб, пластмассовый дренаж уже несколько десятилетий – основной способ осушения.

Пластмассовые дрены, имеющие площадь водоприемных отверстий (F) более 40 см²/м, отводят на 30-50% больше избыточных вод, чем гончарные дрены того же диаметра. Это сказывается и на интенсивности снижения уровня грунтовых вод, о чем свидетельствуют данные, полученные на суглинистой почве в Рижском районе Латвии (табл. 1).

Наиболее острой научной проблемой мелиорации остается осушение тяжелых почв. Многолетние исследования, проведенные в Латвии, Псковской, Владимирской, Смоленской и других областях России, подтвердили эффективную работу траншейного дренажа во всех грунтах с коэффициентом фильтрации (K) до 0,02 – 0,06 м/сут при обеспечении отвода поверхностного стока и проведении глубокого рыхления почвы.

Об эффективности дренажа, уложенного траншейным способом, свидетельствуют высокие значения модулей дренажного стока, полученные в результате многолетних наблюдений на тяжелосуглинистых глееватых почвах в Московской и Смоленской областях (табл. 2).

Менее изучена эффективность бестраншейного пластмассового дренажа. Исследованиями А. М. Смирнова показано, что на плотных тяжелых супесях и легких суглинках (K = 0,1-0,3 м/сут) осушающее действие бестраншейного дренажа по сравнению с траншейным снижается на 20-30%.



Reclamation of Overmoistened Humid Zone Lands

B.S. Maslov, S.G. Skoroparov, Ts.N. Shrinkis, O.V. Skripnik, and A.N. Stepanov*

Abstract

Buried collecting pipes (drains with permeable backfill) combined with subsoil plowing, are recommended for heavy soils. Water rotation drainage-irrigation systems with hydraulically operated, level-regulating devices (a hydraulic automatic installation), along with issues related to peat land reclamation, are considered.

A zone of excessively moist soils stretches from the Baltic Sea to the Pacific Ocean. The main problem for land reclamation over this wide expanse, with its diverse natural and economic conditions, is drainage to remove surplus water.

The acreage of such lands, which are considered part of the total agricultural lands of Russia, is over 34 million hectares (ha). In addition, the zone includes over 110 million ha of marshland. Without drainage, peaty, gley, and gleyish soils, particularly heavy ones and those with impervious subsoil, are not fit to use. In rainy seasons there are shortages in crop yields on gleyish loamy sands and sandy soils.

Fluctuations in climate, as well as frequent recurrence of droughts lasting 10 to 30 days or more, also result in reduced yield. This large area suffers from floods, water erosion, and deflation.

Nutrient-poor soils are prevalent. Therefore, there should be a multifaceted approach to land amelioration. Drainage should be carried out along with cultural amelioration (freeing the agricultural lands of shrubs and stones, land leveling, etc.), land reclamation, irrigation, soil development, and nature conservation measures.

Subsurface pipe drainage is the major method of draining the area except for those regions with permafrost soils. In the former Soviet Union, of the total drained land area of 16.07 million ha, the share with subsurface pipe drainage totals 11.78 million ha, or 70 percent.

Approximate distances between drains for various types of soils are as follows:

- Fine sands, 30-40 m;
- Loamy sands and light loams, 16-30 m;

- Lowland peats, 16-40 m; and
- Medium loams, heavy loams, and clays, 6-12 m.

The minimum diameter of clayware pipe (tiles) is 50 mm. Studies have shown that increasing the pipe diameter of tiles and polyvinylchloride, or PVC, pipes leads to an increase in their water-catching capacity.

In recent years, the efficiency of PVC pipe drainage has been verified under various soil and climatic conditions.

The use of PVC pipe drainage is gradually gaining popularity. For instance, in Latvia its share was as small as 17 percent in 1984, while in 1987 it had reached 47 percent, and in 1990 it was nearly 60 percent. On Sakhalin Island and in the Khabarovsk Territory in which there was no tradition of using clayware pipes, PVC pipe drainage has been a major method employed for several decades.

PVC drains having water entry slots (F) of over 40 sq. cm./m divert surplus water in an amount 30-50 percent higher than when tiles of the same diameter are used. They exert an influence on the rate of the decrease in the groundwater table, indicated by the data obtained in clays of the Riga area in Latvia (Table 1).

In studying land reclamation, drainage of heavy soils is the most acute challenge. Studies conducted over a period of many years in Moscow, Vladimir, Smolensk, and other regions of Russia confirm the efficiency of trenching in all types of soils with the coefficient of permeability (k) being up to 0.02 to 0.06 m/day, provided surface flow and deep subsoil loosening are ensured.

High values for the modulus of drainage efficiency are obtained on the basis of perennial observations of heavy, loamy, gleyish soils of the Moscow and Smolensk regions (Table 2).

The efficiency of trenchless plastic pipe drainage has been less thoroughly studied. Research carried out by A.M. Smirnov showed that in hard, heavy, loamy sands and light clays ($k=0.10.3$ m/day), 2030 percent less drainage was achieved than with trench drainage. Trenchless drainage was less effective than trench drainage in diverting water. Through studies conducted in the Russian Federative Republic (the Leningrad, Moscow, and Smolensk regions, and Khabarovsk Territory), Latvia, and Lithuania, the following ratios were

¹ Underlined numbers in parentheses cite sources listed in the References section at the end of this article.



Бестраншейный дренаж хуже отводит воду, чем траншейный. Исследованиями, выполненными в Ленинградской, Московской и Смоленской областях и Хабаровском крае, установлено следующее соотношение между объемом дренажного стока траншейного и бестраншейного дренажа:

Мелкозернистый песок, супесь	1,06-1,25
Легкий суглинок	1,11-1,37
Тяжелый суглинок	1,33-1,94
Тяжелый суглинок и легкая глина	1,82-3,45

Большой разброс значений вполне объясняется неоднородностью грунтов, разным качеством строительства дрен и различной методикой исследований.

Бестраншейный дренаж на тяжелых почвах ($K < 0,1$ м/сут) действует в 2-3 раза, а на легких, суглинистых ($K = 0,5-0,8$ м/сут) в 1,2-1,3 раза слабее, чем траншейный (Шкиннис, 1988).

На почвах с $K < 0,3$ м/сут необходимо сгущение бестраншейного дренажа в 1,5 раза, что ведет к его удорожанию. (Бишоф и др., 1988). Доказано, что на Дальнем Востоке в оструктуренных тяжелых почвах с иллювиальным горизонтом повышенной водопроницаемости ($K = 0,15 - 0,4$ м/сут) бестраншейный дренаж практически эквивалентен траншейному.

Для применения дренажа на переувлажненных землях рекомендована единая классификация почв по водопроницаемости. В ее основу положена оценка водопроницаемости наименее водопроницаемого горизонта (по всей толщине от поверхности земли до глубины заложения дрен), что направлено на повышение эффективности дренажа, "в запас прочности".

При этом выделяют следующие категории почв: очень слабая водопроницаемость – $K < 0,01$ м/сут; слабая – $K = 0,01-0,1$; средняя – $K = 0,11-0,3$; высокая – $K = 0,31-1$; очень высокая – $K > 1$ м/сут.

На слабоводопроницаемых почвах и особенно при $K < 0,01$ м/сут закрытый дренаж даже при расстояниях между дренами менее 5-6 м, что экономически неоправданно, не обеспечивает необходимый осушительный эффект. Осушение достигается только дренами с засыпкой траншеи (щели) фильтрующим материалом (крупнозернистый песок, щебень) до подошвы пахотного слоя или не менее чем до глубины рыхления почвы (с запасом 10-15 см).

Для глубокого рыхления почвы применяют рыхлители РС=0,8. Разработана технология строительства

дренажа с использованием узкотраншейных и бестраншейных экскаваторов с присыпателями дрен фильтрующим материалом.

Основным способом осушения пашни с тяжелыми почвами становится комбинированный дренаж, представляющий собой сочетание закрытого дренажа (собирателей) с кротованием или глубоким рыхлением.

Применение глубокого рыхления улучшает почву, на 25-30% повышает максимальные весенние модули дренажного стока. Прибавка урожая от рыхления составляет 20-30%, затраты на этот прием окупаются в первый же год. Кротование проводят через 2-4 м. Оно дает такой же прирост интенсивности осушения, как увеличение густоты дренажной сети в 1,3-1,8 раза при коэффициенте фильтрации почвы менее 0,1 м/сут.

Расстояния между закрытыми собирателями рекомендуется определять по материалам региональных опытных исследований и проверять по формуле Писарькова-Аверьянова. Для равнинных участков с тяжелыми почвами эти расстояния обычно не превышают 13-20 м.

На тяжелых почвах с особой тщательностью нужно выполнять комплекс мероприятий по организации поверхностного стока:

- планировку и выравнивание поверхности земли с засыпкой небольших и неглубоких (до 40-50 см) понижений;
- устройство прудов или поглощающих колодцев в глубоких замкнутых понижениях, воду из которых выводят закрытые коллекторы;
- раскрытие (соединение) естественных понижений искусственными ложбинами глубиной до 0,5 м с пологими откосами (1:8-1:10);
- сгущение дрен в 2-3 раза в протяженных и неглубоких понижениях рельефа с засыпкой траншей фильтрующим материалом;
- устройство воронок-водоотпусков через кавальеры.

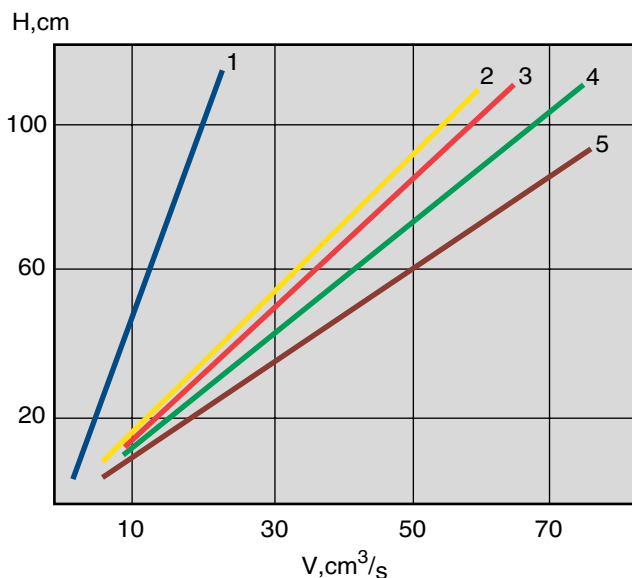
Для отвода поверхностного стока с осушаемых земель можно применять и агро-мелиоративные мероприятия. Так, на Дальнем Востоке в условиях муссонного климата широко используют гребневание поверхности (высота гребней 13-15 см, расстояние между ними 0,7 м). В условиях влажных субтропиков распространена нарезка гряд высотой 30-60 см и шириной: 0,7-1,4 м – под овощи; 2,8-3,5 м – под сады.

Осушение земель в период избытка влаги и дополнительное увлажнение при ее недостатке в почве обеспечивают осушительно-увлажнительные системы (ОУС), которые построены в гумидной зоне СССР на 2,5 млн га. Увлажнение позволяет получить прибавку



Рис. 1/22 Сток воды (V) в зависимости от уровня грунтовых вод над дренами различного диаметра (D)

Figure 1/22. Specific flow (V) as affected by the soil water head (H) above the drains of different diameter



- 1 - керамическая труба, D=75 мм
ceramic tube, D=75 mm
- 2 - полиэтиленовая труба, D=75 мм
polyethylene tube, D=75 mm
- 3 - полиэтиленовая труба, D=100 мм
polyethylene tube, D=100 mm
- 4 - полиэтиленовая труба, D=200 мм
polyethylene tube, D=200 mm
- 5 - "идеальная дрена", D=75 мм
"ideal drain", D=75 mm

established for volumes of drainage effluent with trench and trenchless drainage:

- Fine sands, loamy sands 1.06-1.25
- Light loams 1.11-1.37
- Heavy loams 1.33-1.94
- Heavy loams and light clays 1.82-3.45

The wide range of these values was attributable to soil diversity, various qualities related to drain construction, and different study methods.

The soils with $k < 0.3$ m/day require that trenchless drainage be 1.5 times more concentrated, which leads to an increase in cost (1).

Trenchless drainage in heavy soils ($k < 0.1$ m/day) was 2-3 times poorer, while in light loams ($k = 0.50.8$ m/day) it was 1.2-1.3 times poorer than trench drainage (4).

Trenchless drainage was proven to be similar to trench drainage in the Far East in heavy, structurally improved soils that had illuvial horizons with increased permeability ($k = 0.15-0.4$ m/day).

A general soil classification for permeability is recommended. It is based on the permeability level of the extremely low permeable horizon (along its entire thickness from the topsoil to the depth of drains laid) that is directed at the increase in the drainage efficiency, "as a reserve."

Alongside it, the following soil categories are identified:

- Extremely low permeable = < 0.01 m/day;
- Low permeable = $0.01-0.1$ m/day;
- Moderately permeable = $0.1-0.3$ m/day;
- Highly permeable = $0.3-1$ m/day; and
- Extremely highly permeable < 1 m/day.

In the low permeable soils, particularly with k equal to < 0.01 m/day, culvert-type drainage—even if the distance between drains is less than 5 to 6 meters, which is not cost effective does not ensure the needed draining effect. Drainage is achieved only with the help of drains and backfilling the trenches (slots) with permeable material (coarse sands, stone chips) up to the tillage pan, or no shallower than the depth of subsoil loosening (with the reserve of 10-15 cm).

Plows RS=0.8 are used for deep soil loosening. Technology has been developed to construct ditches with the use of slit trench and trenchless excavators, including filling the drain with permeable material.

Combined drainage with culvert tile drainage (buried collecting pipes) used in conjunction with mole drainage, or deep soil plowing, becomes the main method to drain arable lands comprised of heavy soils.

Deep soil plowing improves the soil and increases the maximum spring modulus of drainage effluent by 25-30 percent. The yield increase resulting from deep soil plowing is up to 20-30 percent, with the expenses incurred in employing this method paid for after year. Mole drains are spaced at intervals of 2 to 4 m. Molding also increases the rate of drainage—the usual result of the 1.3- to 1.8-fold increase in the network of drains with the soil permeability coefficient being under 0.1 m/day.

Distances between buried collecting pipes should be defined, with consideration given to the results of locally performed experiments, and should be verified according to Pisarkov and Averiyonov's formula. For plains with heavy soils, the distances usually range from 13 to 20 m.

To ensure surface flow, special measures are to be taken for heavy soils :



Таблица 1. Средняя (1979-1988 гг.) продолжительность стояния уровней грунтовых вод при глубине дрен 1,4 м в зависимости от материала труб, сутки

Table 1. Average diurnal groundwater tables with drains laid 1.4 m deep and of various pipe materials (1979/88)

Дренаж Drainage	Слой почвы, см / Soil layer, cm					
	0-20 см 0-20 cm	0-40 см 0-40 cm	0-60 см 0-60 cm	0-80 см 0-80 cm	0-100 см 0-100 cm	0-120 см 0-120 cm
Пластмассовый (F = 23 см ² /м) Plastic pipes (F=23 sq. cm./m)	--	4	18	34	54	76
Гончарный Tiles	3	10	23	48	78	123
Без дренажа Without drainage	89	113	134	157	181	208

урожая на 15-30% в зависимости от почв и культур. Для орошения осушенных земель используют подпочвенное увлажнение (подача воды по дренам или каналам) или дождевание.

Перспективны совмещенные осушительно-увлажнительные системы, в которых закрытые коллекторы используют в качестве распределителей для подачи воды к дождевальным установкам. В периоды дефицита влаги в почве вода подается в истоки коллекторов-распределителей, из которых через открытые смотровые колодцы забирается дождевальными машинами. Коллекторы-распределители собирают из низконапорных труб. Совмещенные системы могут работать как комплексные: преимущественно в режиме подпочвенного увлажнения по дренам и эпизодически – в режиме дождевания небольшими нормами.

Наиболее эффективно использовать совмещенные осушительно-увлажнительные системы на ровных участках, в этом случае применяют дрены с уклонами 0,0001-0,001. Площадь систем с таким дренажем в СССР превышает 55 тыс.га.

Разработаны осушительно-увлажнительные системы водооборотного типа. Существенное их достоинство заключается в том, что имеется возможность повторного использования дренажных и сбросовых вод, а это предотвращает загрязнение рек и водоемов удобрениями, гербицидами и другими химическими веществами. Водооборотная осушительно-увлажнительная система, как правило, включает в себя два пруда-накопителя.

Для использования на совмещенных осушительно-увлажнительных системах разработан и испытан регулятор двустороннего действия – гидроавтомат, представляющий собой двухрычажную систему, соединенную с двумя запорными клапанами и общим поплавковым приводом. Конструкция проста в изготовлении, монтаже и эксплуатации. Рассчитана для установки на коллекторах диаметром 200 мм. Главный недостаток таких регуляторов состоит в том, что при их применении не обеспечивается учет взаиморасположения уровня воды в канале, уровня грунтовых вод (УГВ) и заданного уровня регулирования. Это может привести к подтоплению со стороны канала при необходимости осушения в условиях, когда

$$H_k > H_n > H_z,$$

где H_k – уровень воды в канале, H_n – уровень грунтовых вод в поле; H_z – заданный уровень регулирования.

При потребности в увлажнении невозможна подача воды в коллекторно-дренажную сеть в условиях, когда

$$H_n < H_k < H_z,$$

Для устранения указанных недостатков разработана конструкция регулятора, запорный орган которого находится в рабочем (открытом) положении только при выполнении следующих условий:

$$H_k > H_n < H_z;$$

$$H_k < H_n > H_z.$$



- Land leveling, backfilling small and shallow (up to 40-50 cm) depressions;
- Ponding, or the construction of suction wells in deep, closed depressions from which water is drawn by collecting pipes;
- Opening (connecting) the natural depressions with artificial trenches up to 0.5 m deep with gentle slopes (1:8 to 1:10);
- A 2- to 3-fold increase in the network of drains in long and shallow depressions with trench backfilling with permeable material; and
- Construction of craters—waterways through trenches.

Land reclamation can be used to divert surface flow. For example, in the Far East under monsoon conditions, ridging is widely used (ridges are 13 to 15 cm high and spaced 0.7 m apart). Under humid subtropical conditions, ridges are cut 30 to 60 cm high and 0.7 to 1.4 m wide for vegetables and 2.8 to 3.5 m for orchards.

Land drainage, performed both when there is excess moisture and when additional moistening is done in case of a shortage of soil moisture, occurs via draining and irrigating systems (DIS), which in the CIS are constructed in the humid zone of 2.5 million ha. Irrigation allows an increase in yield of 15 to 20 percent, depending on soils and crops. To irrigate drained lands, subsoil moistening (water carried by drains or channels) or sprinkling are used.

Combined drainage and irrigation systems, where buried collecting pipes carry water to sprinklers, show promise. When water is deficient in the soil, water is delivered to the heads of collectors/distributors from which the water is drawn for sprinklers via open observation wells. Collectors/distributors are assembled low-pressure pipes. Combined systems can operate as complex ones—largely in regimes of subsoil moistening along the drains and occasionally in regimes where spraying is performed at low rates.

Combined drainage and irrigation systems are most effective in the plains, where drains with gradients of 0.000 to 0.001 are used. In the CIS the land area under this type of drainage system is more than 55,000 ha.

Drainage and irrigation systems of a water rotation type have been developed. Their great advantage is that they allow repeated drainage and water use, preventing contamination of rivers and water reservoirs with fertilizers, herbicides, and other chemicals. The water rotation drainage and irrigation system usually includes two storage ponds.

To apply combined drainage and irrigation systems, a double action regulating device hydraulically-operated automatic controller that is actually a two-lever system connected to two closing valves and a common float drive is developed

and tested. The implement is easy to construct, mount, and operate and can be mounted on collecting pipes 200 mm in diameter.

The main drawback to these regulating devices is that when they are used, interconnected channel water levels, groundwater table, and set level to be regulated are not considered. This can lead to underflooding from a channel when drainage is required under the conditions in which

$$H_c > H_g > H_s$$

where H_c is the channel water level;
 H_g is groundwater table in the field; and
 H_s is set level to be regulated.

When irrigation is needed, it is impossible to feed the collecting pipe and drainage network with water when

$$H_g < H_c < H_s$$

To get over the drawbacks mentioned above, a regulating device was developed, with a closing part placed in the working (open) position, provided:

$$H_c > H_g > H_s$$

$$H_c < H_g > H_s$$

This regulating device is constructed in the form of a two-tank system. Each of these tanks is divided into two separate parts. One of the tanks works as a regulator in the drainage regime; the other one in the irrigation regime. Outside the well there is a groundwater level (GWL) sensor made in the form of a ground hole. One part of either of the tanks is connected to the GWL sensor and the other one to the channel. A closing valve on the collector is driven by either floating system, both of which analyze the fall level in the tanks. To prevent a regulating device from working in the regime of flooding, a control valve with a float drive is installed. Installation of such a regulator is possible even in systems that are not completely automated.

With gradients less than 0.002, the load of the automatic hydraulic machine is 1020 ha. Automated drainage and irrigation systems are designed according to the module principle, allowing a reduction in the number of water-receiving wells. To manage pumping stations, microprocessors have begun to be used (2).

Drainage and irrigation systems used for irrigation in the Ukraine are found on more than 1.2 million ha, with nearly half of that area assured of water delivery; more than 3,000 ponds and water reservoirs were constructed for this purpose. In plains, a great deal of land is lost because of the



Этот регулятор сконструирован в виде двухемкостной системы. Каждая из емкостей разделена на две не сообщающиеся между собой системы. Одна из емкостей обеспечивает работу регулятора в режиме осушения, другая – в режиме увлажнения. Вне колодца размещен датчик УГВ, выполненный в виде грунтовой скважины. Одна половина каждой из емкостей соединена с датчиком УГВ, другая – с каналом. Привод запорного клапана на коллекторе осуществляется одной из двух поплавковых систем, анализирующих перепад уровней в емкостях. Для предотвращения работы регулятора в режиме подтопления установлен контрольный клапан с поплавковым приводом. Установка такого регулятора возможна на системах без комплексной автоматизации.

При уклонах поверхности менее 0,002 нагрузка на гидроавтомат составляет 10-20 га. Автоматизированные осушительно-увлажнительные системы проектируют по модульному принципу, что позволяет сократить число водоприемных колодцев. Для управления насосными станциями получают распространение микропроцессоры (Бочаров и др., 1990).

Осушительно-увлажнительные системы с использованием дренажа для орошения применяют преимущественно с гарантированной подачей воды, для чего построены тысячи прудов и водохранилищ. В равнинных условиях под водохранилищами теряется много земли: соотношение между площадью под водохранилищами и орошаемой территорией составляет примерно 1:20.

Широко распространена мелиорация торфяных почв низинного типа как наиболее плодородных. К специфической особенности этих почв относится уменьшение торфяного слоя из-за “сработки” торфа под влиянием физического уплотнения и биохимического разрушения органического вещества. Уплотнение (осадка) торфа в значительной степени зависит от глубины понижения уровня грунтовых вод, времени и характера использования торфяной почвы. Интенсивность осадки в первые годы после осушения достигает 10-20 см в год. В дальнейшем она сокращается и изменяется ежегодно в пределах 0,5-2 см.

При осушении торфяных почв усиливается минерализация органического вещества. Так, ежегодные потери торфа на 1 га достигают 2,2 т при глубине залегания грунтовых вод 0,7 м; 6,1 т – при 1,2 и 15,9 т – при глубине 1,5 м (Скоропанов и др., 1987).

По исследованиям, выполненным в Полесье, потери органического вещества торфяной почвы за 25 лет составили 3,2 т/га под многолетними травами и почти в 3 раза больше – под пропашными культурами.

Ежегодная убыль органического вещества на глубоководном торфянике, подстилаемом суглинком, за 75 лет опытов составила в среднем 4,4 т/га, на мелкозалежном торфянике, подстилаемом песками – 3,4 т/га. Характер использования почв был различным: в первом случае многолетние травы в севообороте занимали до 40%, во втором – 77%. Это свидетельствует о целесообразности лугового использования осушенных земель.

На Полесской опытно-мелиоративной станции средне- и маломощные торфяники за время их сельскохозяйственного освоения трансформировались и ныне представлены двумя группами: торфяными и “сработанными”, то есть органо-минеральными. Из 2600 тыс.га “сработанные” торфяники составляют около 40%. Снижения их плодородия не произошло (табл. 3).

За 28 лет продуктивность земли возросла по сравнению с исходной (урожай абсолютной массы до осушения почв составлял 0,65 т/га) в 15,5 раза.

Эффективность мелиорации органо-минеральных почв резко повышается при орошении. Так, при ежегодном внесении 450 кг NPK в среднем за 11 лет гектар орошаемого пастбища дал 45,3 т зеленой массы (9040 корм. ед.), превысив среднюю за три года продуктивность в контроле (без орошения.) на 8000 корм. ед.

При мелиорации торфяников первостепенное внимание нужно уделять щадящему, водосберегающему осушению. С помощью химизации земледелия в этих условиях последовательно уменьшают нормы осушения (оптимальные уровни грунтовых вод).

В Западной Сибири и на Камчатке при осушении мощных торфяников со степенью разложения торфа до 45-50% высокая эффективность достигнута созданием щелевого дренажа. Такой дренаж нарезают щеледренажными машинами, глубина его составляет 1-1,2 м. Щелевые дрены выводят в каналы или в щелевые коллекторы. Расстояние между каналами 200-500 м. Срок действия этого дренажа – до десяти лет. При определении комплекса природоохранных мероприятий в районах осушения рекомендуется выделять пять зон: 1) объект мелиорации (мелиоративная система); 2) немелиорируемые



constructed water reservoirs. For example, in Byelorussia the mirror area of ponds and water reservoirs comprises nearly 40,000 ha. The ratio of area under water reservoirs to irrigated lands is about 1:20.

Reclamation of discharge wetlands as most fertile is widely practiced. Specific peculiarities of these soils include peat layer depletion owing to the activity of physical compression and biochemical decay of organic matter. Compression (settling) of peat is largely dependent on the extent to which groundwater depth is lowered as well as on time and type of use of peaty soils. The rate of settling during the first several years following drainage is 10-20 cm per year. Later on, the rate is reduced annually and varies within the range of 0.52 cm.

In draining peaty soils, the mineralization of organic matter is enhanced. For example, peat losses per 1 ha are 2.2 tons with groundwater depth of 0.7 m, 6.1 tons at a groundwater depth of 1.2 m, and 15.9 tons at a groundwater depth of 1.5 m (5).

According to studies carried out in Polesie, losses in peaty soils organic matter over 25 years totaled 3.2 tons per ha under perennial grasses and nearly 3 times that amount when under arable crops.

Annual loss in organic matter of deeply accumulated peatlands with clay subsoils, as revealed by experiments conducted over 75 years, averaged 4.4 tons per ha; that of shallow peats with sandy subsoils averaged 3.4 tons per ha. The way soils were used varied: in the former case the share of perennial grasses in crop rotations was about 40 percent; in the latter, 77 percent. This indicated feasibility of drained lands use under meadow grasses.

At the Polesie Land Reclamation Experimental Station the medium and shallow peat depth during the time of their use underwent a transformation and now are presented in two groups: peaty and "worked," i.e., organo-mineral. Out of 2,600,000 ha, "worked" peats make up about 40 percent. There was no decrease in their fertility (table 3).

Over a period of 28 years, soil productivity grew 15.5-fold (prior to drainage, the yield of absolute mass was 0.65 ton per ha).

In reclaiming organic and mineral soils, efficiency is sharply increased when the soils are irrigated. For example, with an annual application of 450 kg of NPK, 1 ha of irrigated pasture land produced on average (over 11 years) 45.3 tons of green mass (9,040 feed units), thus surpassing the average (over 3 years) level of productivity of the control (without irrigation) by 8,000 feed units.

In peatland reclamation, attention should be focused primarily on drainage that would save water. With the development of chemization being developed in arable farming, the scope of drainage is gradually reduced (optimum groundwater tables).

In draining huge peat areas in Western Siberia and Kamchatka, where decomposition reaches 45-50 percent, a high degree of efficiency is achieved through fissure drainage. Such drainage work is carried out with the help of fissuring machines, and the depth of fissures is 11.2 m. Fissure drains are connected to channels or fissure collectors. Spacing between channels is 200 to 500 m. Durability of this drainage system is up to 10 years.

In defining the set of nature conservation measures performed in drainage areas, five zones are recommended:

1. An object of reclamation (a reclamative system);
2. Non-reclamative areas within the object of reclamation;
3. Lands adjacent to the object of reclamation;
4. Remote territories; and
5. Air space within the limits of a remote territory.

Criteria for use in outlining the zones are the indices of changes in soil moisture regime, groundwater table, flow regime, and water levels of rivers plus topographical conditions and sometimes the microclimate (3).

Natural components within the limits of the reclamation system and in the neighboring area are subject to conservation: land (soil and resources), water (surface and ground), plants and animals, atmosphere, landscapes, and natural, historical and cultural monuments.

Reclamation system designs include estimates of the effect they would have on reclaimed and adjacent territories, state of water flows and water reservoirs, biogenesis, animals' habitat, and reproduction conditions. Specific measures related to nature conservation, to designs and parameters of the reclamation systems, and to construction are envisaged based on these estimates.

The success of comprehensive landscape reclamation determined by the degree to which the reclaimed agroecosystem and its neighborhood are stabilized.

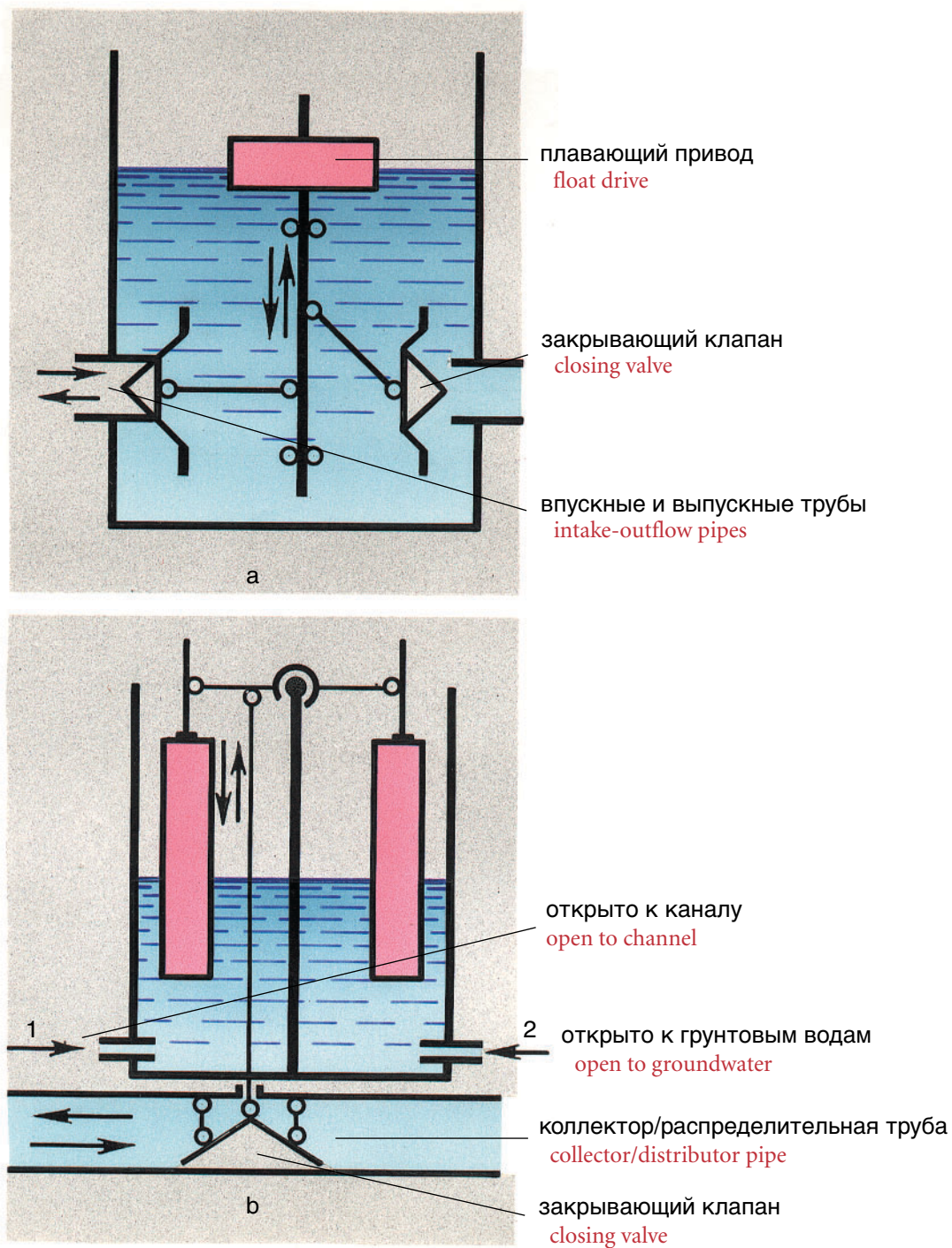
Conclusion

The use of trenchless drainage results in reduced drainage effluent (as compared with trench drainage) on light loams and loamy sands by 1.06-1.37 times, on medium and heavy loams by 1.33-3.4 times, and by a considerably diminished drainage effect. To establish a normal moisture regime, drainage should be more intensive, entailing higher costs and,



Рис. 3/24 Схемы регуляторов уровня грунтовых вод

Fig. 3/24. Schemes of ground water level regulators



on heavy soils, additional use of permeable backfilling, deep plowing, or molding.

Switching to drainage and irrigation systems is a progressive direction in land reclamation. The effectiveness of water rotation type systems, using a hydraulically operated automatic installation, was verified.

Recommended measures are directed at restricting peat “working” and are based on studies conducted over many years on the decomposition of peats following drainage; these measures include a transfer of peaty soils into meadows and pastures and a reasonable level of arable farming chemization.

Of special significance are measures to conserve nature. Ecologically supportable land reclamation require comprehensive improvement.

References

1. Bishof, E.A., N.N. Neteba, et al. Drainage of heavy soils: Conditions of efficiency. “Gidrotekhnika I melioratsiya” (Hydraulic Technology and Land Reclamation). 1987, N5. p. 44-48.
2. Bocharov, S.Yu., A.S. Goreiko, O.V. Skripnik, et al. Computerization to control pump stations of the drainage and irrigation systems. “Melioratsiya and Vodnoe Khozyaistvo” (Reclamation and Water Economy). 1990, N9.
3. Maslov, B.S., and I.V. Minaev. Land reclamation and nature conservation. Moscow, Rossel’khozizdat. 1985. 271 p.
4. Skhinkis, Ts.N., and Ya.Ya. Walter. On the employment of a trenchless method to install drains for draining overmoistened soils. Problems of the use of P.V.C. materials in land reclamation. Elgava. 1988. p. 14-32.
5. Skoropanov, S.G., V.S. Brezgunov, and N.V. Okulik. An increased fertility of peaty soils. Minsk. “Nauka I Technika” (Science and Technology). 1987. 248 p.



Таблица 2. Продуктивность осушенных торфяных почв при удобрении
Table 2. Drained peat soil productivity, with fertilizers being applied

Показатели Indices	Средние значения по годам Average values by years					
	1962-65	1966-70	1971-75	1976-80	1981-85	1986-89
Внесение NPK, кг/га Application of NPK, kg/ha	112	256	299	267	290	306
в том числе азота nitrogen component	13	26	24	37	85	105
Влажность почвы, % Soil moisture, percent	54%	60%	60%	57%	66%	70%
Урожай абсолютно сухой массы культур в севообороте, т/га Yield of oven dry matter in crop rotation, t/ha	3,52	4,60	5,45	6,61	7,54	9,15
в том числе трав grass component	2,62	5,04	6,19	7,29	8,40	10,10

NPK = азот, фосфор, калий
NPK = nitrogen, phosphorus, potassium

площади внутри объекта мелиорации; 3) земли, непосредственно прилегающие к объекту мелиорации; 4) отдаленные территории; 5) воздушное пространство, в границах отдаленной территории. Критерием выделения зон служат показатели изменения водного режима почв, уровня грунтовых вод, режима стока и уровней воды в реках, а также топографические условия, иногда и микроклимат (Маслов, Минаев, 1985).

Охране подлежат компоненты природы, расположенные в пределах мелиоративной системы и на прилегающей территории: земля (почва и недра), воды (поверхностные и подземные), растительность, животный мир, воздушная среда, ландшафты, памятники природы, истории и культуры.

В проектах мелиорации составляют прогнозы степени воздействия их на мелиорируемые и смежные территории, состояние водотоков и водоемов, биогеоценозы, условия обитания и воспроизводства животного мира. По результатам прогноза предусматривают специальные природоохранные мероприятия, изменяют конструкции и параметры мелиоративных систем и сооружений.

Рациональность комплексной ландшафтной мелиорации оценивают устойчивостью агроэкосистемы на мелиорируемых и прилегающих к ним землях.

Литература

1. Компьютеризация управления насосными станциями осушительно-увлажнительных систем / С.Ю. Бочаров, А.С. Горейко, О.В. Скрипник и др. Мелиорация и водное хоз-во. 1990. № 9.
2. Маслов Б.С., Минаев И.В. Мелиорация и охрана природы. М.: Россельхозиздат, 1985. 271 с.
3. Осушение тяжелых почв: условия эффективности / Бишоф Э.А., Нетреба Н.Н. и др. Гидротехника и мелиорация, 1987. № 5. С. 44-48.
4. Скоропанов С.Г., Брезгунов В.С., Окулик К.В. Расширенное воспроизводство плодородия торфяных почв. Минск: Наука и техника, 1987. С. 248.
5. Шкинчис Ц.Н., Валтер Я.Я. О применении бестраншейного способа укладки дрен при осушении переувлажненных почв // Вопросы применения полимерных материалов в мелиорации земель. Елгава, 1988. С. 14-32.



Влияние потоков элементов на загрязнение водных источников

Influence of Element Flows on Pollution of Water Sources

Влияние потоков элементов на загрязнение водных источников

Б.Б. Шумаков*, С.Я. Безднина

Резюме

Загрязнение водных источников – результат сложнейших природных и антропогенных процессов локального, регионального и глобального уровней. При ухудшении качественного состава воды снижается устойчивость экологической системы, нарушается нормальное ее функционирование. Решение проблемы экологизации водных источников связано с разработкой и применением эффективных правовых и экономических мер, а также технологий модернизации производственных процессов. Создание экологически чистых производств должно стать процессом экономически выгодным.

Введение

Проблема нарастающего дефицита пресной воды благоприятного состава признана проблемой международного значения, затрагивающей все аспекты деятельности человеческого сообщества и оказывающей весьма существенное влияние на здоровье людей, экономику и социальные условия. Токсичные вещества, содержащиеся в воде, вызывают структурные изменения в экологических системах, так как постепенно выводят из структуры сообщества наиболее чувствительные к загрязнению воды. Основные источники такого загрязнения – вещества, попадающие в воду в результате производственных процессов промышленности, энергетики, коммунально-бытового и сельского хозяйства.

Международное значение экологизации водопользования обусловлено тем, что водные артерии пересекают территории различных стран, а также чрезвычайной сложностью научных, технологических аспектов этой проблемы и необходимостью в связи с этим консолидации ученых и специалистов разных стран.

Основные причины загрязнения водных источников можно подразделить на две группы. Первая группа причин обусловлена проявлением глобальных процессов: изменением климата планеты, нарушением теплоэнергетического баланса, загрязнением атмосферы и соответственно атмосферных осадков.

Вторая группа причин связана с деятельностью человека. Сточные воды (в том числе коллекторно-

дренажные воды и стоки крупных животноводческих комплексов и ферм), поверхностный сток, транспорт, энергетика служат основными источниками поступления в водные объекты тяжелых металлов, биогенов, пестицидов, нефтепродуктов, фенолов, радионуклидов, поверхностно-активных и других веществ. В результате изменяются физические и органолептические свойства воды, химический состав, биохимический режим водоемов, состав микроорганизмов. Это нарушает экологию водоемов, снижает биопродуктивность. Кроме того, водоем становится источником поступления токсичных веществ по водно-трофическим цепям: вода – человек; вода – животные – человек; вода – почва – растение – человек; вода – почва – растение – животные – человек.

Миграция и накопление токсикантов – результат сложного процесса взаимодействия физико-химических свойств препаратов и множества биотических и абиотических факторов среды. Стойкость вещества, характер и длительность детоксикации, биоаккумулирующая активность отдельных звеньев трофической цепи определяют их число на пути к организму человека.

Изучение качества воды в водоемах и водотоках показало, что поступление биогенных элементов с сельскохозяйственных угодий приблизительно равно поступлению этих элементов с промышленными и хозяйственно-бытовыми сточными водами, то есть современное сельское хозяйство стало одним из основных факторов антропогенного загрязнения водных источников. Так, нитратные формы азотных удобрений не безвредны для человека, теплокровных животных и гидробионтов. Фосфорные удобрения являются источником поступления токсичного фтора в окружающую среду, интенсивное внесение фосфора обуславливает недостаток в карбонатных почвах таких элементов как цинк, железо, марганец. Избыток калийных удобрений, применяемых в основном в виде хлорида калия, приводит к накоплению хлора, к которому весьма чувствительны многие виды растений, а также к резкому снижению содержания в растениях бора, натрия и кальция.

При интенсивном внесении азотных удобрений, использовании для орошения коллекторно-дренажных и сбросных вод, обогащенных азотом, в почве и растениях аккумулируются значительные количества нитратов. В



Influence of Element Flows on Pollution of Water Sources

B.B. Shumakov and S.Ya. Bezdina*

Abstract

Water pollution caused by the most complex natural and human processes occurs on local, regional, and global levels. Along with deterioration of water quality, the ecosystem's normal functioning is impeded, and it becomes less able to withstand impacts. The solution to the problem of maintaining ecological balance of water sources is to develop and use effective legal and economic measures, as well as technologies aimed at modernizing production processes. The establishment of ecologically clean production practices should be economically advantageous.

Introduction

The growing deficit in good-quality fresh water is recognized as a problem of international significance—one that affects all aspects of human activity and that exerts a profound influence on people's health, the economy, and social conditions. Toxic chemicals contained in water bring about structural changes in ecosystems; over time those natural components most vulnerable to water pollution that emanate from a community's infrastructure are excluded. Production processes in industries, power plants, the municipal economy, consumer services, and agriculture are the major sources of water pollution.

The international significance of ecological problems associated with water use is compounded by the fact that many waterways cross over lands of different countries. In addition, scientific and technological aspects of the problems are extremely complex, requiring scientists and experts from different countries to cooperate in solving them.

The major sources of water pollution can be divided into two groups. The first group deals with obvious global processes: a change in the planet's climate, violation of the thermo-energetic balance, pollution of the atmosphere, and, consequently, pollution of precipitation.

The second group is associated with human activity. Effluents (including water from collector-drainage systems, as well as slurry from large-scale livestock operations and farms), surface runoff, motorized transportation, and power plants serve as major sources of pollution of water bodies—depositing heavy metals, biogenes, pesticides, oil products, phenols, nuclides, surfactants, and other substances. Water's physical and organoleptic properties are altered, as are the chemical

composition and biochemical regime of water reservoirs and microorganisms. The ecology of water reservoirs is violated and bioproductivity decreases. In addition, water reservoirs become the source of toxic substances, which move along the water-trophic chains: water - humans; water - animals - humans; water - soil - plants - humans; water - soil - plants - animals - humans.

Migration and accumulation of toxic substances result from an intricate interaction between substances' physical and chemical properties on the one hand and myriad environmental factors— biotic and abiotic—on the other. The stability, character, and duration of substances' detoxification, as well as the bioaccumulating activity of certain links in this trophic chain, determine the degree of toxins making their way to the human body.

Research into reservoirs' water quality and effluents has shown that the extent of biogenous elements introduced from agricultural lands almost equals those introductions of these elements from industrial waste and sewage. That is, modern farming has become one of the major sources of human-caused impurities in water reservoirs. For instance, nitrate forms of nitrogenous fertilizers are not harmless to humans, warm-blooded animals, or aquatic life. Phosphorous fertilizers are the source of toxic fluorine released into the environment, and intensive application of phosphorus causes carbonate soils to become deficient in such elements as zinc, iron, and manganese. Potassium fertilizers applied in excess, largely in the form of potassium chloride, result in the build-up of chlorine, to which many plant species are highly sensitive. They also lead to a sharp decrease in the boron, sodium, and calcium content of plants.

Nitrates are accumulated in large quantities through the intensive use of nitrogenous fertilizers and through irrigation using collector-drainage and discharged water enriched with nitrogen. Since the accumulation of nitrates occurs mainly in the above-ground parts of plants, information about nitrate rates becomes important in the production of those vegetables and fodder crops that are consumed fresh. A high nitrate content in soils leads to pollution of ground water used as a source of drinking water. The need to set levels for nitrates contained in water and plant products is attributable to the fact that their reduction results in the formation of nitrites which, in turn, are capable during the process of endogenous synthesis of converting into nitrosoamines having carcinogenic and mutagenic properties.



связи с тем, что накопление нитратов происходит в основном в зеленых органах растений, особую важность приобретает нормирование нитратов при производстве овощей и фуража, потребляемых в свежем виде. Высокое содержание нитратов в почве приводит к загрязнению подземных вод, используемых, как правило, в качестве источников питьевой воды. Необходимость строгого нормирования нитратов, содержащихся в воде и растительной продукции, объясняется тем, что в результате их редукции образуются нитриты, способные, в свою очередь, превращаться в процессе эндогенного синтеза в нитрозоамины, обладающие канцерогенными и мутагенными свойствами.

Поступление биогенных элементов (особенно азота и фосфора) в непроточные и малопроточные водоемы способствует развитию сине-зеленых, диатомовых и других водорослей, эвтрофикации водоемов. Продукты разложения сине-зеленых водорослей по характеру токсичного воздействия сходны с хлорорганическими пестицидами.

Поиск решения экологических аспектов рационального использования минеральных удобрений ведется в различных направлениях: замена нитратных форм азотных удобрений соединениями аммония, обесфторивание фосфатов, дехлорирование природных калийных удобрений и замена их фосфатами калия, поиск новых форм удобрений. Такие подходы обеспечат соблюдение допустимых уровней содержания различных удобрений в водных источниках.

К существенному фактору сельскохозяйственного загрязнения водных источников относятся пестициды. Установлено, что пестициды – биологически высокоактивные вещества, способные оказывать аллергенное, бластоогенное, мутагенное, тератогенное и эмбриотоксическое действие на организм человека и животных. Большинство пестицидов представляют собой стойкие соединения с длительным периодом полураспада (месяцы, годы). Метаболиты некоторых пестицидов более токсичны, чем исходные соединения; по мере продвижения к высшим звеньям трофических цепей концентрация этих продуктов возрастает.

Миграция и накопление пестицидов в почве, воде и продукции сельскохозяйственного производства стали объектом серьезных исследований во многих странах мира. Хлорорганические пестициды загрязняют как продукты животноводства, так и растениеводства, фосфорорганические пестициды и карбаматы накапливаются преимущественно в растениях. Транслокация и накопление токсикантов в биомассе

растений зависят от климатических условий, гранулометрического состава почвы, содержания в ней гумуса, емкости поглощения, рН почвенного раствора, а также от количества препарата и его физико-химических свойств.

Загрязнение водных источников происходит и в результате эрозии почв. При этом с почвой в водоемы попадают остатки пестицидов и минеральных удобрений.

Представляют опасность как источник химического, так и биологического загрязнения стоки крупных животноводческих комплексов. С такими стоками в воду поступают не только биофильные элементы, стимулирующие эвтрофикацию водоемов, вызывающие разложение гетеротрофной микрофлоры, но и болезнетворные микроорганизмы, гельминты.

Почвенный покров – важнейший компонент агроэкосистемы – играет роль физико-химического и биологического поглотителя и нейтрализатора многих химических соединений; способность почвы к самоочищению зависит от содержания в ней органического углерода, рН среды, емкости поглощения, других факторов и имеет определенный предел. Накопление в почве токсичных веществ оказывает ингибирующее действие на микроорганизмы, что снижает плодородие почвы и опасно в связи с переходом препарата в контактирующие среды: воздух, растения, поверхностные и подземные воды.

Способность почв и растений к самоочищению проявляется в различной мере, зависит от многих факторов, весьма важные из которых – биотические: активность почвенных микроорганизмов и метаболизм растений. Остаточные количества экзогенных химических веществ в биомассе растений переходят в последующие звенья трофических цепей: продукты земледелия – человек; корма – животные – человек.

Один из источников поступления различных химических веществ в почву и растения – оросительная вода, поэтому нормирование ее качества имеет важное практическое значение. Попадание в почву и накопление в ней некоторых металлов, приносимых с оросительными водами, может угнетать деятельность почвенной микрофлоры, осуществляющей важнейшие процессы самоочищения почвы, фиксации азота; влиять на устойчивость растений к болезням, засухе; снижать их пищевую ценность; наконец, вызывать токсичную реакцию у растительных животных и передаваться далее по трофической цепи человеку. Например, повышение в почве содержания меди (более 3 мг/кг) не только угнетает процессы самоочищения почв, снижает количество почвенных микроорганизмов, титр нитрификаторов, устойчивость растений к водному дефициту, но и уменьшает содержание витамина С в овощах, белка в зерне гороха, крахмала в зерне пшеницы.



The introduction of biogenous elements (especially nitrogen and phosphorus) into motionless and slightly influent water reservoirs promotes the development of blue-green, diatomic, and other algae and eutrophication of water reservoirs. The products of blue-green algae's decay, with respect to their toxic impact, are identical to organochlorine pesticides.

Studies aimed at finding a solution to ecological problems associated with the use of mineral fertilizers are conducted in various manners: substitution of ammonium compounds for nitrate forms of nitrogenous fertilizers, defluorination of phosphates, dechlorination of native potassium fertilizers and substitution of potassium phosphate for them, and by searching for new fertilizer formulas. Such approaches allow us to stick to permissible levels of various fertilizers in water sources.

Pesticides are a significant factor in agricultural pollution of water sources. It has been established that pesticides are biologically highly active substances capable of exerting allergic, blastomagenous, mutagenic, teratogenic, and embryotoxic effects on humans and animals. The majority of pesticides are stable compounds with a lengthy half-life (months, years). With some pesticides, the metabolites are more toxic than the initial compounds; plus, as pesticides approach higher links of the trophic chain, the concentration of these by-products rises.

The migration and accommodation of pesticides in soil, water, and agricultural products have become the object of thorough investigation in many countries. Organochlorine pesticides pollute animal and plant products; organophosphorous pesticides and carbamates are built up largely in plants. Translocation and accumulation of toxic substances in plant biomass depend on climatic conditions, humus content, particle-size soil composition and exchange capacity, pH of soil solution, as well as on the amount and physical and chemical properties of the pesticide.

Water sources also become polluted as a result of soil erosion. Residues of pesticides and mineral fertilizers make their way to water reservoirs along with the soil.

Slurry from animal production facilities poses a danger as a source of both chemical and biological pollution. Not only do effluents from animal farms reach water reservoirs, where biophilic elements stimulate eutrophication of water reservoirs, causing a decay of heterotrophic microflora, but pathogens and helminths also reach reservoirs.

Soil cover, the most important component of the agricultural ecosystem, acts as a physical, chemical, and biological absorber and neutralizer of many chemicals; soil's detoxifying properties depend on its organic carbon content, medium pH, saturation capacity, and other factors—but only to a

degree. Accumulation of toxic material in the soil inhibits microorganisms, thus decreasing soil fertility, and is dangerous since a chemical spreads to the environment: the air, plants, and surface and ground waters.

The detoxifying properties of soils and plants manifest themselves differently, depending on many factors, the most important being activity of soil microorganisms and plant metabolism. Residues of exogenous chemicals in plant biomass are transferred to subsequent links along a trophic chain: for example, from arable-farming products to humans; or from feeds to animals to humans.

Irrigation water is one of the means by which various chemicals reach soils and plants; that is why rating such water as to quality is of great practical importance. Introduction to the soil and accumulation of some metals, brought with irrigation water, can suppress the activity of soil microflora; these microflora perform the important processes of self-purification of soils and nitrogen fixation. The metals influence plant tolerance to diseases and droughts, decrease their nutritive value, and bring about toxic effects in herbivorous animals, which are transmitted further along the trophic chain to humans. For instance, an increase in the soil's copper content (over 3 mg per kg) not only suppresses self-purification of soils, but it also lowers the soil microorganism population level, titres of nitrifiers, and drought tolerance of plants—diminishing vitamin C content of vegetables, protein content of peas, and starch content of wheat grains. Such metals as zinc, molybdenum, vanadium, cadmium, lead, and others are toxic to soil microflora and plants. At the same time, the presence of exogenous lead in food products is absolutely unacceptable.

The impact of toxic substances derived from the soil and crops is revealed as follows:

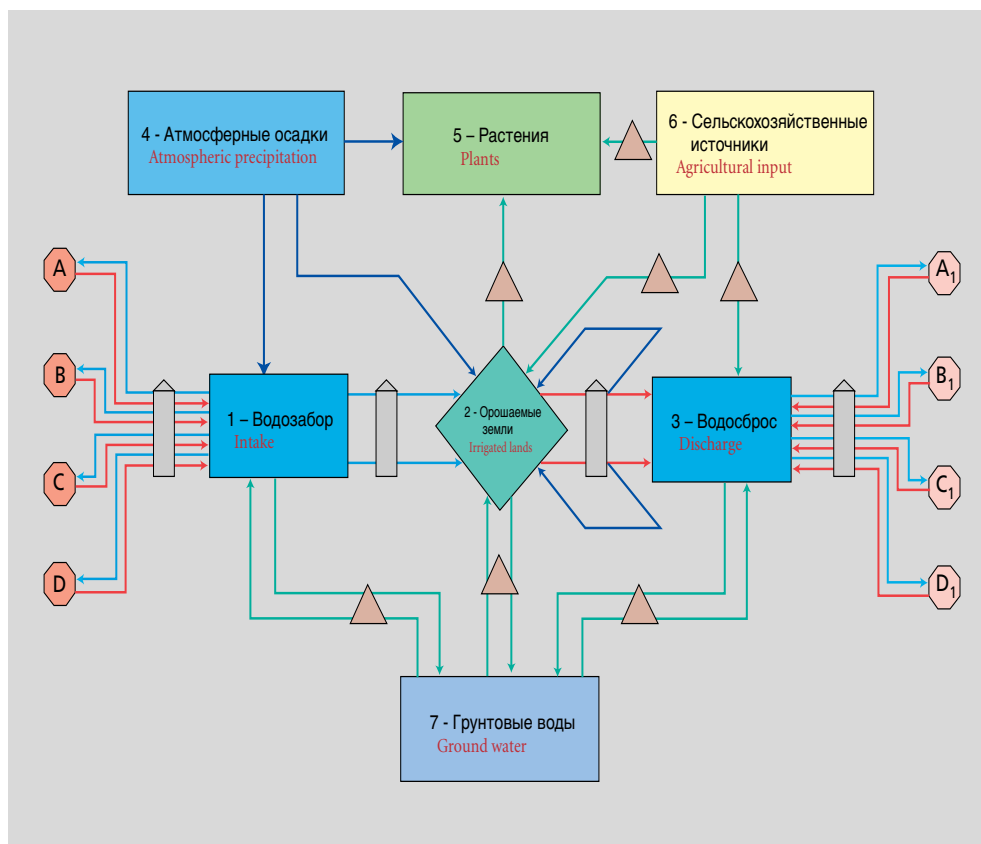
- The thermal and microbiological regime of soils is violated;
- Migration and accumulation of toxins in agricultural produce occur, along with subsequent change in nutritive value;
- Plant growth and fruit-bearing are suppressed; and
- Toxic properties are changed and metabolites of higher toxicity are formed.

In agriculture, arable farming systems, as well as those associated with land improvement and water infrastructure, form a whole system—natural and human made with a certain (fit for specific conditions) level of ecological stability. When applied in arable farming systems, mineral fertilizers, trace elements, and pesticides reach plants, as well as ground and surface waters.

Atmospheric precipitation is a rather important source of toxic chemicals introduced to soil, plants, and water bodies. Lead content of rain and snow fluctuates from 1.6 g per liter



Рис.1-25 Схема круговорота воды в процессе функционирования мелиоративной системы
 Figure 1-25. Scheme of mass transfer in the process of ameliorative system functioning



Пути транслокации солей, микроэлементов и токсикантов:

Pathways of the salt, trace elements and toxicants transfer:

- 1-2 открытые и закрытые каналы
- 1→2 - open and closed ditches;
- 2-3 дрена, коллекторы, поверхностный сток
- 2→3 - drains, collectors, surface flow;
- 2-5 транслокация в растения
- 2→5 - translocation into plants;
- 2-7 миграция в грунтовые воды
- 2→7 - migration into ground water;
- 4-1; 4-2; 4-5 атмосферные осадки
- 4→1; 4→2; 4→5 - atmospheric precipitation
- 6-5; 6-2; 6-3 сельскохозяйственные источники
- 6→5; 6→2, 6→3 - agricultural supply;
- 1-7; 3-7 перенос на границе между поверхностными и грунтовыми водами
- 1→7; 3→7 - mass transfer at interaction of the surface and ground water; mass transfer within

A, B, C, D - Системы водопотребления

Systems of water consumption

▲- Точки контроля над поступлением солей и токсинов

Control points of the salt and toxic substances supply

⊠- Сооружения по управлению качеством воды

Water quality control structures

→ orange color - вода перед очисткой

water before refinement

→ blue color - вода после очистки

water after refinement

Установлена токсичность для почвенной микрофлоры и растений таких металлов, как цинк, молибден, ванадий, кадмий, свинец и др. В то же время наличие экзогенного свинца в пищевых продуктах недопустимо.

Воздействие токсичных веществ на почвы и сельскохозяйственные культуры проявляется в следующем:



in those areas distant from industrial establishments to 350 g per liter and higher in large cities. Mercury, passed into the atmosphere by burning solid fuel and in the process of running non-ferrous metallurgical enterprises, is carried into the soil and water reservoirs by rainfall. Under the influence of microorganisms, mercurial compounds are transformed into methylmercury, a highly toxic organic compound. Human-caused pollution of the atmosphere and, correspondingly, rainfall containing cadmium, sulfur oxide and products of its transformation, pesticides, and other toxic chemicals, allow atmospheric precipitation to deteriorate soil fertility and quality agricultural produce and to pollute water reservoirs within both irrigated and rain-fed zones.

Drainage performed on irrigated and drained lands promotes the intensive removal of salts, biogens, pesticides, and other toxic substances from soil horizons and zones under active influence of drainage into waterways and water reservoirs. These chemicals subsequently affect water users in the lower reaches of the river. Modern irrigated arable farming is the largest user of water resources. In the desert zone, the volume of water intake for irrigation reaches 90 percent of total water consumption. However, a considerable part of this volume represents evaporation, infiltration, and drainage effluent. In addition, in the drainage process, centuries-old salt supplies in deep soil horizons become activated, and intensive agricultural production enhances migration of biogenes, pesticides, and other toxic substances.

Management of the ecology as it relates to water use in arable farming under irrigation cannot be effective without efforts to manage land use as well. Taking into consideration the fact that there is a close relationship between the processes of water and land use in irrigated arable farming, it is expedient to study the functioning of integral reclamation/water infrastructure systems. Figure 1 shows a scheme for mass transfer in the process of reclamation/water infrastructure systems in the zone of irrigated arable farming. This reveals water-migration routes of the transfer of salts, heavy metals, biogenes, pesticides, and other toxic substances.

Water source for irrigation (1) is in the center of the scheme, as well as irrigated lands (2) and water intake (3). Frequently one river is both the water source and water intake. The state of the water source is determined by the level of ecologization of industrial, municipal, hydroelectric, and agricultural units (A, B, C, D), located in the upper-current areas away from the water intake site. The sources of pollution from soil and agricultural produce on irrigated lands include: atmospheric precipitation (4), arable farming systems (application of fertilizers, pesticides, trace elements, etc.) on irrigated and nearby lands (6), and ground water (7). The latter two sources of pollution are controlled, as are the processes of ground-water pollution and translocation of toxic substances from the soil into plants (5). Finally, the process undertaken to form drainage effluents on irrigated lands is also regulated.

In their scientific and technological aspects, the methods to control these processes are a complicated problem. Its solution will determine the degree of ecologization of reclamative/water infrastructure systems. This problem is closely related to the ability to solve a number of tasks—the chief being the following:

1. Minimizing drainage effluents;
2. Minimizing pollution of the environment with biogenes, pesticides, heavy metals, and other toxic substances;
3. Develop an effective economic and legal mechanism.

To solve the first task it is necessary to optimize water use and to develop and carry out a set of measures directed at



Фото 7-1. Лаборанты Вячеслав Островский и Ирина Осипова берут образцы почвы с опытных участков на которых различные пестициды и удобрения применялись в опытах изучающих влияние химических остатков на растения и почву. (Фото Тима МакКейба)
Photo 7-1. Soil science assistants Vycheslav Ostrovsky (right) and Irina Osipova take soil samples from test plots where a variety of agricultural chemicals and fertilizers have been used in studies about the effects of chemical residues on plants and the soil. (Tim McCabe photo)



нарушается тепловой и микробиологический режим почв;

происходит миграция и накопление токсикантов в сельскохозяйственной продукции и соответствующее изменение пищевой ценности;

подавляется рост и плодоношение растений;

происходит изменение свойств токсикантов и формирование более токсичных метаболитов.

В сельском хозяйстве системы земледелия, мелиоративные и водохозяйственные системы образуют целостную природно-антропогенную систему с определенным для конкретных условий уровнем экологической устойчивости. Применяемые в системах земледелия минеральные удобрения, микроэлементы и пестициды поступают в растения, подземные и поверхностные воды.

К весьма существенному источнику поступления токсичных веществ в почву, растения и водные объекты относятся атмосферные осадки. Содержание свинца в дожде и снеге изменяется от 1,6 мкг/л в районах, удаленных от промышленных объектов, до 350 мкг/л и более в крупных городах. Ртуть, попадая в атмосферу при сжигании твердого топлива в процессе работы предприятий цветной металлургии, поступает с атмосферными осадками в почву и водоемы. Под влиянием микроорганизмов соединения ртути трансформируются в метилртуть – высокотоксичное органическое соединение. Антропогенное загрязнение атмосферы и соответственно атмосферных осадков кадмием, оксидом серы и продуктами ее превращений, пестицидами и другими токсичными веществами позволяет отнести атмосферные осадки к существенным факторам снижения плодородия почв, качества сельскохозяйственной продукции и загрязнения водоемов как в зонах применения орошения, так и в зонах богарного земледелия.

Дренаж на орошаемых и осушаемых землях способствует интенсификации выноса солей, биогенов, пестицидов и других токсичных веществ из почвенного слоя и зоны активного влияния дренажа в водотоки и водоемы, которые, в свою очередь, становятся источниками поступления этих веществ для водопользователей, расположенных ниже по течению реки. Современное орошаемое земледелие – крупнейший потребитель водных ресурсов. В пустынной зоне объем водозабора на орошение достигает 90% общего водопотребления. Однако значительная часть этого объема воды расходуется на

испарение, инфильтрацию, дренажный сток. Вместе с тем в процессе работы дренажа активизируются вековые запасы солей в глубоких горизонтах, а в условиях интенсификации сельскохозяйственного производства усиливается миграция биогенов, пестицидов и других токсичных веществ.

Таким образом, очевидно, что процесс экологизации водопользования в орошаемом земледелии не может быть эффективным без осуществления мероприятий по экологизации землепользования. Учитывая тесную взаимосвязь процессов водо- и землепользования в орошаемом земледелии, целесообразно изучать функционирование целостных мелиоративно-водохозяйственных систем. На рисунке приведена схема массопереноса в процессе функционирования мелиоративно-водохозяйственных систем в зоне орошаемого земледелия, позволяющая выявить водно-миграционные пути переноса солей, тяжелых металлов, биогенов, пестицидов и других токсичных веществ.

В центре схемы показаны водоисточник для орошения (1), орошаемые земли (2) и водоприемник (3). Нередко водоисточником и водоприемником является одна река. Состояние водоисточника определяется уровнем экологизации промышленных, коммунально-бытовых, гидроэнергетических и сельскохозяйственных объектов (А, В, С, D), расположенных выше по течению от места водозабора. Источники загрязнения почв и сельскохозяйственной продукции на орошаемых землях: атмосферные осадки (4), система земледелия (внесение удобрений, пестицидов, микроэлементов и др.) на орошаемых и сопредельных территориях (6), а также подземные воды (7). Последние два источника загрязнения – регулируемые. К управляемым относятся также процессы загрязнения подземных вод и транслокация веществ из почвы в растения (5), и, наконец, процесс формирования дренажного стока на орошаемых землях – также управляемый процесс.

Приемы управления этими процессами в научном и технологическом аспектах представляют весьма сложную проблему. Уровень ее решения будет определять степень экологизации мелиоративно-водохозяйственных систем. Рассматриваемая проблема тесно связана с решением ряда задач, главные из которых следующие.

1. Минимизация дренажного стока.
2. Минимизация загрязнения объектов окружающей среды биогенами, пестицидами, тяжелыми металлами и другими токсикантами.
3. Создание эффективного механизма экономико-правовых отношений.



decreasing to minimum levels infiltration losses in channels on irrigated lands. Theoretically, the volume of drainage effluents can be reduced to 8-10 percent of the conveyed water volume. Minimization and, in some cases, a complete exclusion of drainage effluents are feasible through the application of biological drainage.

To solve the second task it is necessary to scientifically ascertain the correct application rates and the appropriate technologies for applying fertilizers and pesticides under irrigation. Apart from this, it is important to carry out measures to solve the first task, i.e., minimizing drainage effluents. It is also important to use agrotechnological and other methods to reduce fertilizer and pesticide losses to minimum levels. In view of pesticides' high toxicity and persistence in the environment, it is important to more widely employ biological methods to protect plants.

To solve the third task it is necessary to introduce a payment system for water use, including the levying of fines for polluting the environment. The level of the fines would be commensurate with the inflicted damage and would consider duration of the pollution. This would promote the establishment of systems with a high ecological reliability.

Optimizing water use and improving collector-drainage water quality will allow us to prevent surface- and ground-water pollution, as well as pollution of soils and agricultural produce. It should also help us save fresh water and obtain greater farm yields. Methods and technological schemes to utilize drainage water depend on the water's chemical composition and pollution level; since these factors change in the process of operating reclamation-water economy systems, a set of processes enabling the reasonable consumption and improvement in the composition of drainage water should be designed and erected on a modular basis.

Picture shows possible location of facilities to control water quality. If a water source does not meet the requirements for irrigation water quality, then the facilities have to be located on the channel conveying water to irrigated lands. If drainage water does not meet the requirements for water discharged to the water source, the facilities have to be located on drains and collectors. After the facilities have been cleared up, drainage water recycling can be used for irrigation and soil washing.

Various methods have been developed to increase water quality. Physical, biological, chemical, and other methods have been employed in both the urban and rural water supply in treating volumes of sewage.

Drainage effluents, as a rule, are spread over large areas, have a considerable volume, and are distant from power sources. To make attainable a technology that improves drainage water

quality, it is first necessary to have access to technological and financial data. It is assumed that realizing improvements in the quality of drainage water is possible through a step-by-step process. At the first step, preference should be given to low-power-consuming, inexpensive plants erected on a modular basis that are capable of decreasing toxic substances to required levels; as for salts, it is the ion ratio—rather than salt concentrations—that matters, and that may be dangerous for many crops. The established tasks can be undertaken with the help of the “BIOCOM” drainage water clarifying system developed at the All-Union Research Institute of Hydraulic Engineering and Land Improvement; this installation can be operated at various regimes, whether on channels, drains, or collectors. BIOCOM is rather powerful and allows us to reduce general mineralization, to change ion ratios in a desired direction, and to decrease the content of biogens, pesticides, heavy metals, and other toxic substances to required levels.

Conclusion

Success in making water sources clean, with respect to their ecology, is dependent on the ability to carry out effective legal and economic measures and to apply technology and modern production operations in industries, power plants, municipal economies, and agriculture. Facilities that control water quality should ensure the removal of toxic substances from the hydrogeochemical cycle within the boundaries of river basins and certain water-use systems.

References

1. Alekseev, Yu.V. Heavy metals in soils and plants. Leningrad. Agropromizdat, 1987. 141 p.
2. Falkovskaya, L.N., V.S. Kaminsky, L.L. Paal, and I.F. Gribovskaya. The fundamentals of ground water quality prognosis. Moscow. Nauka (Science), 1982. 181 p.
3. Vrochinsky, K.K., M.M. Telitchenko, and A.I. Merezhko. Hydrobiological migration of pesticides. Moscow. Moscow State University, 1980. 120 p.



Для решения первой задачи необходимы оптимизация водопользования, разработка и реализация комплекса мер по снижению до минимальных размеров инфильтрационных потерь из каналов, на орошаемых землях. Теоретически объем дренажного стока можно снизить до 8 - 10% водопадачи. Минимизация и в некоторых случаях полное исключение дренажного стока возможны за счет применения биологического дренажа.

Для решения второй задачи необходимо научное обоснование доз и технологий внесения удобрений и пестицидов в условиях орошения. Кроме того, важно реализовать меры, обеспечивающие решение первой задачи, то есть минимизацию дренажного стока, а также агротехническими и другими приемами снизить потери удобрений и пестицидов до минимальных размеров. В связи с высокой токсичностью и стабильностью пестицидов важно шире использовать биологические методы защиты растений.

Для решения третьей задачи необходимы: введение платного водопользования, штрафных санкций при загрязнении объектов окружающей среды, соизмеримых наносимому ущербу с учетом фактора времени, материальное стимулирование за создание систем с высокой степенью экологической надежности.

Оптимизация использования и повышение качества коллекторно-дренажных вод позволят предотвратить загрязнение поверхностных и подземных вод, почв и сельскохозяйственной продукции, а также сэкономить пресные воды и получить дополнительную сельскохозяйственную продукцию. Методы и технологические схемы утилизации дренажных вод зависят от их химического состава и степени загрязнения, а так как указанные показатели подвержены изменениям в процессе эксплуатации мелиоративно-водохозяйственных систем, комплекс сооружений по рациональному использованию и улучшению состава дренажных вод следует разрабатывать и создавать на модульной основе.

Расположение сооружений по управлению качеством воды зависит от нескольких параметров. Если водоисточник не отвечает требованиям, предъявляемым к качеству оросительной воды, то сооружение должно быть предусмотрено на канале, подводящем воду к орошаемым землям. Если дренажные воды не отвечают требованиям к воде, сбрасываемой в водоисточник, сооружение устраивают на дренах, коллекторах. После очистки на сооружениях дренажные воды целесообразно использовать вновь для орошения или промывки почв.

К настоящему времени разработаны различные методы повышения качества воды: физические, биологические, химические и другие, которые нашли применение в городском и сельском водоснабжении и при очистке сточных вод определенного объема.

Дренажный сток, как правило, рассредоточен на больших площадях, имеет значительный объем и удален от источников энергии.

Чтобы технология повышения качества дренажных вод стала достижимой, необходима прежде всего ее техническая и финансовая доступность. Эти условия определяют этапность решения проблемы повышения качества дренажных вод и ее реализации. На первом этапе следует отдать предпочтение малозатратным, недорогим сооружениям на модульной основе, способным снизить содержание токсичных веществ до требуемого уровня; что касается солей, то для многих культур опасна не столько концентрация, сколько соотношение ионов. Поставленным задачам отвечает разработанная во Всероссийском научно-исследовательском институте гидротехники и мелиорации система очистки дренажных вод "БИОКОМ", которая может работать в различных режимах на каналах, дренах и коллекторах. Разрешающая способность "БИОКОМА" достаточно высока, что позволяет снизить общую минерализацию, изменить в нужном направлении соотношение ионов, уменьшить содержание биогенов, пестицидов, тяжелых металлов и других токсичных веществ до требуемого уровня.

Таким образом, процесс экологизации водных источников определяет необходимость применения эффективных правовых и экономических мер, а также технологий модернизации производственных процессов в промышленности, энергетике, коммунальном и сельском хозяйстве. Сооружения по управлению качеством воды должны обеспечивать выведение токсических веществ из гидрогеохимического оборота в пределах бассейнов рек и отдельных систем водопользования.

Литература

1. Алексеев Ю.В. Тяжелые металлы в почвах и растениях. Л.: Агропромиздат, 1987. 141 с.
2. Врочинский К.К., Телитченко М.М., Мережко А.И. Гидробиологическая миграция пестицидов. М.: изд-во МГУ, 1980. 120 с.
3. Основы прогнозирования качества поверхностных вод / Л.Н. Фальковская, В.С. Каминский, Л.Л. Пааль, И.Ф. Грибовская.



Водное хозяйство России и моделирование водоохранной деятельности

The Water Economy in Russia and Modeling of Water Conservation Activities

Водное хозяйство России и моделирование водоохранной деятельности

А.М. Черняев, А.А. Дерингер, Н.В. Хильченко, А.Д. Рикун, А.Е. Косолапов

Резюме

Дана характеристика системы водообеспечения и охраны водных ресурсов России. Рассмотрен опыт использования математических моделей оптимального планирования развития водного хозяйства в бассейне реки (регионе) и крупном промышленном центре. Изложена концепция создания нового хозяйственного механизма отрасли “водное хозяйство”.

Водное хозяйство России – это крупная государственная отрасль, решающая вопросы водообеспечения населения и народного хозяйства на основе рационального и экономного использования водных ресурсов, их охраны от истощения и загрязнения.

Благодаря значительной технической вооруженности, водное хозяйство удовлетворяет потребности России в свежей воде, составляющие 110 км³ в год. Забор воды из природных источников стабилизирован и остается в последние годы практически на одном уровне.

Радикального решения водохозяйственных проблем в России, на наш взгляд, невозможно достичь без значительных изменений в ее экономической системе. Расточительное водопотребление, загрязнение природной среды должны стать экономически невыгодными. Лишь в этих условиях возможно широкое и эффективное использование уже имеющихся технологических и научных достижений для рационального ведения водного хозяйства.

В данной работе рассмотрены некоторые концептуальные и методические аспекты этих проблем. Существенное внимание уделено применению математических моделей для оптимизации сложных водохозяйственных систем, а также административным, технологическим и экономическим вопросам рационального водопользования.

Концепция развития водного хозяйства в России неоднократно претерпевала уточнения и изменения. Первоначально, когда природные источники могли обеспечить потребности населения и народного хозяйства, водохозяйственная деятельность сводилась к подаче воды потребителям по возможности наиболее

дешевыми способами. С развитием большой гидроэнергетики, ирригации и возникновением дефицита воды в отдельных регионах утвердился принцип “справедливого распределения” воды между потребителями, а затраты на водохозяйственные мероприятия должен был нести “главный” потребитель. Это привело к “узурпированию” преимущественного права пользования водоисточником “главными” потребителями – гидроэнергетикой и ирригацией.

С развитием народного хозяйства возростала потребность в технологическом расходе воды и одновременно – опасность загрязнения природных водоисточников.

Совершенствовались методы и способы удовлетворения потребности в воде. Дефицит природной воды в отдельных районах стимулировал развитие оборотного водоснабжения в промышленности, что стало, по существу, технической революцией в водном хозяйстве предприятий. Появились замкнутые системы водоснабжения. Все это в определенном смысле сняло зависимость промышленного водоснабжения от природного водоисточника. Однако отстало теоретическое осмысление происшедшего, не изменилась и основная концепция водопользования, слабо приспособленная к новым условиям.

Более того, водохозяйственная деятельность расчленилась на два самостоятельных направления – использование вод и охрана вод. Дефицит воды стали покрывать за счет использования все новых водоисточников и межбассейновой переброски водных ресурсов. Охрану вод трактовали как строительство все новых и новых, более современных очистных сооружений, а использованные достаточно загрязненные воды продолжали сбрасывать в реки, как бы “поддерживая” их неудовлетворительное качественное состояние.

Относительно замкнутых систем водоснабжения нужно отметить следующее. Они требуют примерно на 30-50% больше капиталовложений по сравнению с развитыми оборотными циклами. Эксплуатация этих систем связана не только с большими денежными затратами и использованием значительных кадровых



The Water Economy in Russia and Modeling of Water Conservation Activities

A.M. Chernyaev, A.A. Deringer, N.V. Khilchenko, A.D. Rikun, and A.E. Kosolapov

Abstract

The systems of water supply and water resources conservation in Russia are characterized. Experience in the use of mathematical models for optimum planning—for the water economy development in a river basin (a Region) and in a large industrial center—is considered. The concept of establishing a new economic mechanism for the “Water Infrastructure” sector is set forth.

The water economy in Russia is a large state sector that tackles problems associated with supplying water to people and the national economy. It is based on rational and economical use of water resources that keeps the resources safe from depletion and pollution.

Thanks to good water economy engineering, Russia’s demand for fresh water is met at the rate of about 110 cubic kilometers per year. The water intake from natural sources has stabilized, remaining at about the same level over the past decades.

We believe that it is impossible to find a fundamental solution to the problems confronting Russia’s water economy without marked changes in the economic system. Environmental pollution that dissipates water consumption should be rendered unprofitable. Only then would it be possible to widely and effectively apply available technologies and scientific achievements to meaningfully practice water economics.

This paper deals with some conceptual and methodological aspects of these problems. Great attention is attached to the application of mathematical models to optimize the composite water economy systems and also to administrative, technological, and economic issues of rational water use.

The concept of developing the water economy in the Russian Federation has undergone repeated changes and modifications. Originally, when natural sources could satisfy people and the national economy, water economy activities were confined to the delivery of water to users by the cheapest possible method. With the development of hydrological power engineering, irrigation, and the occurrence of water

deficits in some areas, the principle of “just distribution” of water among users was established, and expenditures on water economy procedures had to be borne by the “principal” consumer. It led to “principal” users—hydropower engineering and irrigation—“usurping” the priority right to make use of the water source.

Along with the development of the nation’s economy came a demand for water to be consumed for technological processes; at the same time, pollution emerged as a threat to natural water sources.

Methods and techniques employed to meet the demand for water improved. Deficits in natural water in some areas led to the development of a rotational water supply for industry that brought about a technological revolution at water economy facilities. “Closed” water supply systems were developed. All of this, to a certain extent, allowed industry to no longer depend on natural resources for its water supply. However, the theoretical understanding of what was going on proceeded too slowly, and the basic concept of water use, which was poorly adapted to new conditions, did not change.

Moreover, the activities in the field of water economy split into two independent directions: water use and water conservation. Deficits in water supply began to be covered through the exploitation of newly discovered water sources and inter-basin water resource transfers. Water conservation was interpreted as the construction of more and more updated purification facilities, while usable, residue-polluted water continued to be discharged into rivers—thus “maintaining” the rivers, unsatisfactory quality status.

As for the “closed” water supply systems, it is worth noting that they require approximately 30-50 percent more investments when compared with developed rotation cycles. The operation of these systems is associated not only with high costs and a large work force, but also with the need for huge additional energy inputs. In addition, under closed water supply systems, irreparable water losses increased markedly, which is why the use of such systems at enterprises located in towns near small rivers unavoidably entails the need to spend more on the control and territorial redistribution of the natural flow to replenish these water losses.

Underlined numbers in parentheses cite sources listed in the References section at the end of this article.



ресурсов, но и сопряжена с громадными дополнительными энергозатратами. Кроме того, в условиях замкнутых систем водоснабжения существенно возрастают безвозвратные эксплуатационные потери воды, поэтому организация таких систем на предприятиях городов, расположенных на малых реках, неизбежно сопровождается дополнительными затратами на регулирование и территориальное перераспределение естественного стока, чтобы восполнить эти потери воды.

Разделение проблем водопользования на охрану и использование вод в реальных условиях сегодняшнего дня и в ближайшей перспективе разорительны для общества, а главное, они уводят от решения основной проблемы. Охрана – вынужденная мера в борьбе со следствием – загрязнением, которое порождено хозяйственной деятельностью и отсталой технологией. Безотходная технология и замкнутые системы водоснабжения в водном хозяйстве – это главная, долгосрочная стратегия общественного производства, программа-максимум. В ближайшее время ее проведение сдерживается прежде всего отсутствием необходимых средств.

Опираясь на бассейн реки как объективно существующую природно-хозяйственную систему, нужно правильно поставить задачу водохозяйственной практики: сформировать такую бассейновую водохозяйственную систему, которая с минимальными суммарными затратами на инженерно-технические и технологические мероприятия для трансформации имеющихся местных водных ресурсов и их инженерное воспроизводство удовлетворяла бы потребности всех расположенных в бассейне пользователей и потребителей и обеспечивала экологически безопасный расход и качество воды в самой реке.

Разумеется, реализация “оптимальных” планов невозможна без изменения системы управления водопользованием. “Оптимальный” (с общеканальной позиции) уровень водопотребления или сброса должен не “навязываться” источникам, а достигаться преимущественно экономическими методами: платой за сброс, свежую воду, финансовыми льготами при осуществлении водоохраных мероприятий (Рикун и др., 1991).

Многолетний опыт решения водных проблем Уральского экономического региона с использованием оптимизационных моделей подтверждает перспективность такого пути. К специфике региона относится крайне высокий уровень диспропорции между концентрацией промышленности, загрязнением природной среды и обеспеченностью водными

ресурсами. Поэтому здесь уже сейчас приходится применять такие кардинальные технические и организационные решения по водосбережению, которые в иных районах могут быть использованы гораздо позднее.

Например, расчеты по оптимизации водохозяйственной системы г. Екатеринбурга показали, что к 2000 г. общая потребность в свежей воде может быть удовлетворена при расходе ее 11,5 м³/с. Это позволяет отказаться от ввода до 2000 г. планируемого Верхне-Араслановского водохранилища (расчеты по водообеспечению, проведенные традиционными методами, приводили к выводу о необходимости перераспределения стока р. Уфы, так как суммарная потребность в воде была определена на уровне 14,2 м³/с).

Приведем схематичное описание результатов расчетов по моделям оптимизации водохозяйственной системы для двух уровней – промышленного узла (промузла) и речного бассейна. Подробному рассмотрению этих моделей и результатам расчетов по реальным объектам посвящена работа А.Д. Рикун, А.М. Черняева, И.М. Ширяка (1991).

Моделирование водохозяйственной системы представляется нам весьма важным, поскольку в рамках промышленного узла возможная кооперация по водоподготовке, очистке, использованию и повторному использованию воды может быть весьма плодотворной, и одновременно имеются административные предпосылки для реализации решений, оптимальных с позиции города в целом.

Основные факторы, учитываемые моделью водохозяйственной системы промышленного узла, указаны на схеме (рис. 1). Как видно из этой схемы, для экономии суммарного потребления свежей воды предприятиями может быть рассмотрена совокупность следующих альтернатив: повторное использование (повышение коэффициента оборота предприятий); использование очищенной сточной воды от соседних предприятий, от групповых очистных сооружений (например, городской канализации и сооружений доочистки городской канализации). Таким образом, в модели рассматриваются два вида свежей воды – относительно чистая (из источников водоснабжения или водоподготовки) для открытых оборотных систем, и менее чистая – для систем технического водоснабжения предприятий. Наиболее сложный момент в информационном обеспечении модели водохозяйственной системы промышленного узла – описание водохозяйственной системы предприятий.

Для каждого предприятия $j \in J$, являющегося или значимым водопотребителем или (и) существенным



Dividing the water use problems into water conservation and water use under present conditions, as well as those of the near term, is too expensive for the community. But primarily, it distracts us from finding the solution to the main problem. Conservation is an enforced means of controlling pollution caused by human economic activities and outmoded technology.

Energy-efficient technology and closed water supply systems employed in the water economy comprise the main long-term strategy of public production. For the time being, its implementation is held in check primarily by the lack of required resources.

Using the river basin as the objectively existing natural and economic system, it is necessary to establish proper tasks for the water economy that will establish basin water economy systems with minimum total expenses for the engineering and technological procedures needed to transform available local water resources. Engineering reproduction would meet demands by all users and consumers within the basin and ensure ecologically safe discharge and quality of water in the river itself.

Of course, implementation of “optimum” plans is impossible without changing the water-use management system. The “optimum” (from the general basin standpoint) level of water consumption or discharge should not be “forced” upon water users but is to be attained largely through economic means: pay for water use, its works included, and financial incentives for water conservation measures (2).

Experience gained over many years in finding solutions to water problems typical of the Urals economic region, involving the use of optimization models, confirms the prospects for such a method.

The region is unique in that it includes an extremely high level of disparity among industrial concentration, environmental pollution, and sufficiency of water resources. Thus here one must make fundamental engineering and organizational decisions concerning water supply, which could be employed in other regions much later.

For instance, estimates on optimizing water economy systems of the city of Yekaterinburg showed that by the year 2000 a total demand for fresh water could be met with water intake of 11.5 cubic meters per second. This permits suspension of construction of the previously planned Verkhne-Araslan water reservoir (estimates for water supply made by conventional methods led to the conclusion that the Ufa River flow had to be redistributed since a total demand for water in Yekaterinburg was estimated at 14.2 cubic meters per second).

We shall give a schematic description of results of the estimates for the models to optimize the two-level water economy system for the industrial complex and river basin. Work carried out by A.D. Rikun, A.M. Chernyaev, and I.M. Shiryak (2) is devoted to the detailed examination of these models and the estimates concerning actual establishments.

We feel that modeling the water economy system is rather important since within the framework of the industrial complex, possible cooperation in water preconditioning, treatment, use, and recycling can be rather successful, and, at the same time, there are administrative prerequisites for fulfilling the solutions, which are optimum from the city standpoint as a whole.

Major factors considered by the model of the water economy system of the industrial complex are indicated in Figure 1. It is evident from this figure that in order for enterprises to economize total consumption of fresh water the following alternatives could be considered: recycling (a higher coefficient of water rotations at enterprises); and utilization of treated waste effluents from neighboring enterprises, from combined sewers (for instance, city sewage system and facilities to additionally clean sewage system). Thus, the model considers two types of “fresh” water—relatively pure (from the supply or water treatment sources) for open-rotation systems—and not quite pure—for the technological water supply systems of enterprises.

The description of the water economy facilities of enterprises is the most complicated momentum in information feeding the model of industry’s water economy system.

For each enterprise $j \in J$, which is either a significant water use and/or a highly important source of waste discharge, $(L+2)$ curves of q_j^s, q_j^{st} dependencies of discharge of fresh and effluent water and masses m_{jl} for every L kind of pollutants ($l=1, \dots, L$) on sum expenditures c_j made on the enterprise’s water economy infrastructure are drawn. An example of drawing similar dependencies is given in figure 2. Drawing the functions $q_j^s(c_j), q_j^{st}(c_j), \{m_{jl}(c_j)\}_{l=1}^L$ is confined to the definition of indices $\{q_j^s(c_j^z), q_j^{st}(c_j^z), \{m_{jl}(c_j^z)\}_{l=1}^L\}_{z=0}^{z_j}$ for $(z+1)$ variants of the water economy system development of an enterprise and linear interpolation of values q_j^s, q_j^{st}, m_{jl} for “intermediate” values for expenditures c_j .

A schematic calculation of four ($z=1, \dots, 4$) variations in the water economy system development at the iron-concrete manufacturing plant—starting from the existing system to one with complete cessation of effluents—is given in Figure 3. Here the first and cheapest procedure includes introducing ($z^p=1$) a circulation cycle to the equipment cooling systems (group I); with $z^p=2$, water is recycled to wash parts, with a mechanical treatment being applied to effluents of users in groups II, III, IV, etc.; a complete cessation of the plant’s



источником сброса загрязнения, строят $(L + 2)$ кривые q_j^s, q_j^{st} зависимостей расходов свежей и сточной воды и масс m_{jl} для каждого L -го вида загрязняющих веществ ($l=1, \dots, L$) от суммарных приведенных затрат c_j на водохозяйственную инфраструктуру предприятия.

На рисунке 2 приведен пример построения подобных зависимостей. Построение функций $q_j^s(c_j), q_j^{st}(c_j), \{m_{jl}(c_j)\}_{l=1}^L$ сводится к определению показателей $\{q_j^s(c_j^z), q_j^{st}(c_j^z), \{m_{jl}(c_j^z)\}_{l=1}^L\}_{z=0}^{z_j}$ для ($z_j = 1$) вариантов развития водохозяйственной системы предприятия линейной интерполяции значений для “промежуточных” значений затрат c_j . На рисунке 3 дана схема расчета четырех ($z^p = 1, \dots, 4$) вариантов развития водохозяйственной системы завода железобетонных изделий – от существующей до полностью бессточной. Здесь первое и наиболее дешевое мероприятие состоит в введении (при $z^p = 1$) оборотного цикла в системах охлаждения оборудования (группа I); (при $z^p = 2$) повторно используется вода для промывки деталей, при этом вводится механическая очистка для стоков потребителей в группах II, III, IV и т.д.; полное прекращение сброса сточных вод завода потребует их дименирализации в котельной, введения (при $z^p = 3$) физико-химической очистки в каскадном и формовочном отделениях.

Таким образом, построение производственных функций $q_j^s(c_j), q_j^{st}(c_j), m_{jl}(c_j)$ представляет собой достаточно сложную процедуру, поэтому все малозначимые источники описывают в модели агрегированно.

Рассмотренная модель водохозяйственной системы промышленного узла является нелинейной, невыпуклой задачей математического программирования. Ее допустимая область определяется балансами масс воды и загрязняющих веществ в соответствии с топологией водохозяйственных коммуникаций, ограничениями на величины потоков, технико-экономическими зависимостями, описывающими варианты развития водохозяйственных систем предприятий, систем водоподготовки, транспортировки и очистки воды. Алгоритм решения такой задачи (как правило, в качестве целевой функции рассматривали суммарные затраты) основан на сведении ее к решению последовательности задач линейного программирования. По данной модели были проведены многочисленные расчеты для таких городов Уральского экономического района, как Екатеринбург, Челябинск, Нижний Тагил, Магнитогорск. Однако столь детализированные модели сложно применять при расчете водохозяйственных систем речных бассейнов, которые могут содержать десятки промышленных узлов.

Разработка и применение “крупномасштабных” бассейновых моделей сопряжены с решением двух связанных проблем. Это проблемы адекватности и простоты использования модели. Кроме того, важный фактор, определяющий структуру модели, – характер информационного обеспечения. Например, в России использование только нормативных данных приведет к уровню ошибок в 100%. Эти проблемы обусловили необходимость разработки новой бассейновой модели, опирающейся на агрегированное описание основных источников загрязнения в отличие от традиционных моделей (Modelling, 1978).

Центральный момент, определяющий структуру такой модели, – это описание предприятия. Для того, чтобы бассейновая модель оптимизации оказалась эффективной в вычислительном отношении, было принято решение такое описание делать индивидуальным лишь для небольшого числа предприятий-гигантов, в то время как сотни средних и мелких предприятий описывают агрегированно, с дифференциацией лишь по отраслевому и региональному признакам. С помощью обработки имеющихся детальных данных по 200 предприятиям Уральского экономического района были построены регрессионные модели “средних” предприятий ряда отраслей. Отказ от индивидуального описания средних и мелких предприятий позволяет в десятки раз сократить размерность по сравнению с “точными” дезагрегированными моделями.

Многолетний опыт эксплуатации бассейновой модели как в Уральском экономическом районе, так и для бассейнов рек в иных регионах показал, что эта модель обеспечивает вполне приемлемую точность в определении агрегированных характеристик водопользования в бассейне.

В таблице приведены результаты расчетов по оптимизации водохозяйственной системы г. Екатеринбурга, полученные одновременно по бассейновой и “точной” промузловой моделям (Рикун, Черняев, Ширяк, 1991).

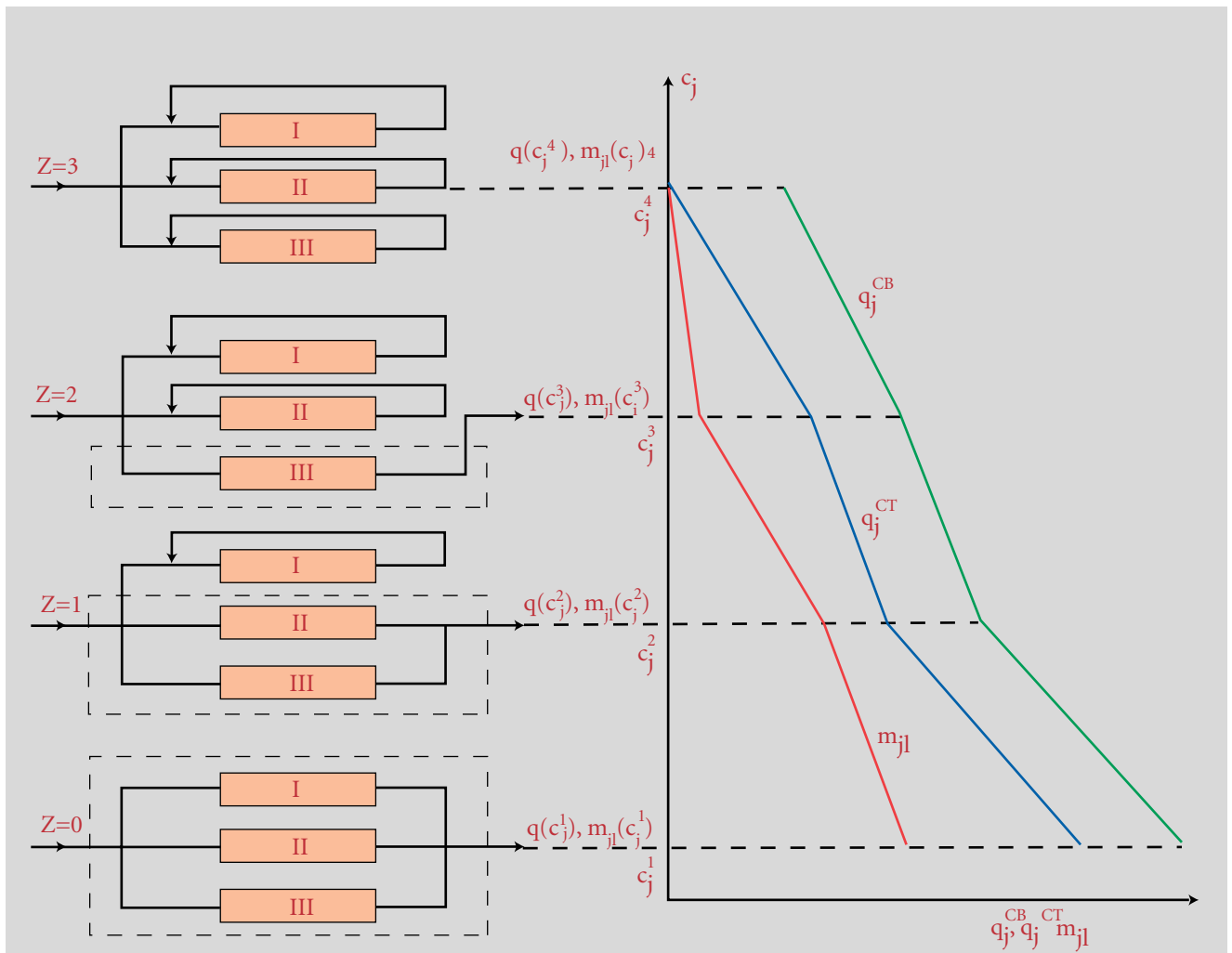
В строках таблицы показатели даны для отраслей (β), а в последней строке – соответствующие суммарные показатели $Q\Sigma^s, Q\Sigma^o, Q\Sigma^t, Q\Sigma^{st}$, и $\Delta\Pi_\Sigma$, полученные в целом по системе. Затраты отрасли “жилищно-коммунальное хозяйство” включают только затраты на развитие системы городской канализации. В графах “Водопотребление” и “Водоотведение” указаны соответствующие расходы $Q\beta^t, Q\beta^o, Q\beta^s, Q\beta^{st}$ как населения, так и предприятий, сбрасывающих свои стоки в городскую канализационную сеть.

Анализ приведенных данных позволяет сделать следующие выводы:



Рис. 2/27 Функции стока для системы менеджмента воды предприятия

Figure 2/27. Discharge functions for the water management system of an iron-concrete manufacturing plant



"Z" процедуры переработки стоков с процессов I, II и III
 "Z" are procedures handling effluent of I, II, & III

waste effluents will require their demineralization in a boiler-room along with application ($z^p=3$) of a physical and chemical treatment in plate holders and molding sections.

Thus, the structure of operation functions $q_j^s(c_j)$, $q_j^{st}(c_j)$, $m_{jl}(c_j)$ is quite a difficult procedure; that is, all the insignificant sources are described in the model aggregately.

The model in question is a non-linear, non-convex mathematical programming task. Its permissible area is defined by the balance between water mass and pollutants in accordance with topology of the water mains, limitation on flow values, and technological and economic dependencies; it is described by variations in the development of enterprises' water systems, systems of water preconditioning, water transportation, and treatment. The algorithm for solving such

a task (as a rule, total expenses were considered as a target function) is based on the fact that it is confined to tackling the consequences of the tasks of linear programming. According to this model, many estimates were made for such cities of the Urals economic region as Sverdlovsk, Chelyabinsk, Nizhny Taguil, and Magnitogorsk. Nevertheless, it is difficult to apply such detailed models when water systems of river basins are estimated and when they can include dozens of industrial centers.

Development and application of "large-scale" basin models are associated with the solution of two related problems: the model's adequacy and its user-friendliness. In addition, information availability and use are important in determining the model's structure. For example, in Russia, exclusive use of normative data would lead to 100 percent error rates. The



Рис. 3/28 Вычисление для системы менеджмента воды предприятия (м³/день)
 Figure 3/28. Calculation of water management system of an enterprise (m³/day)

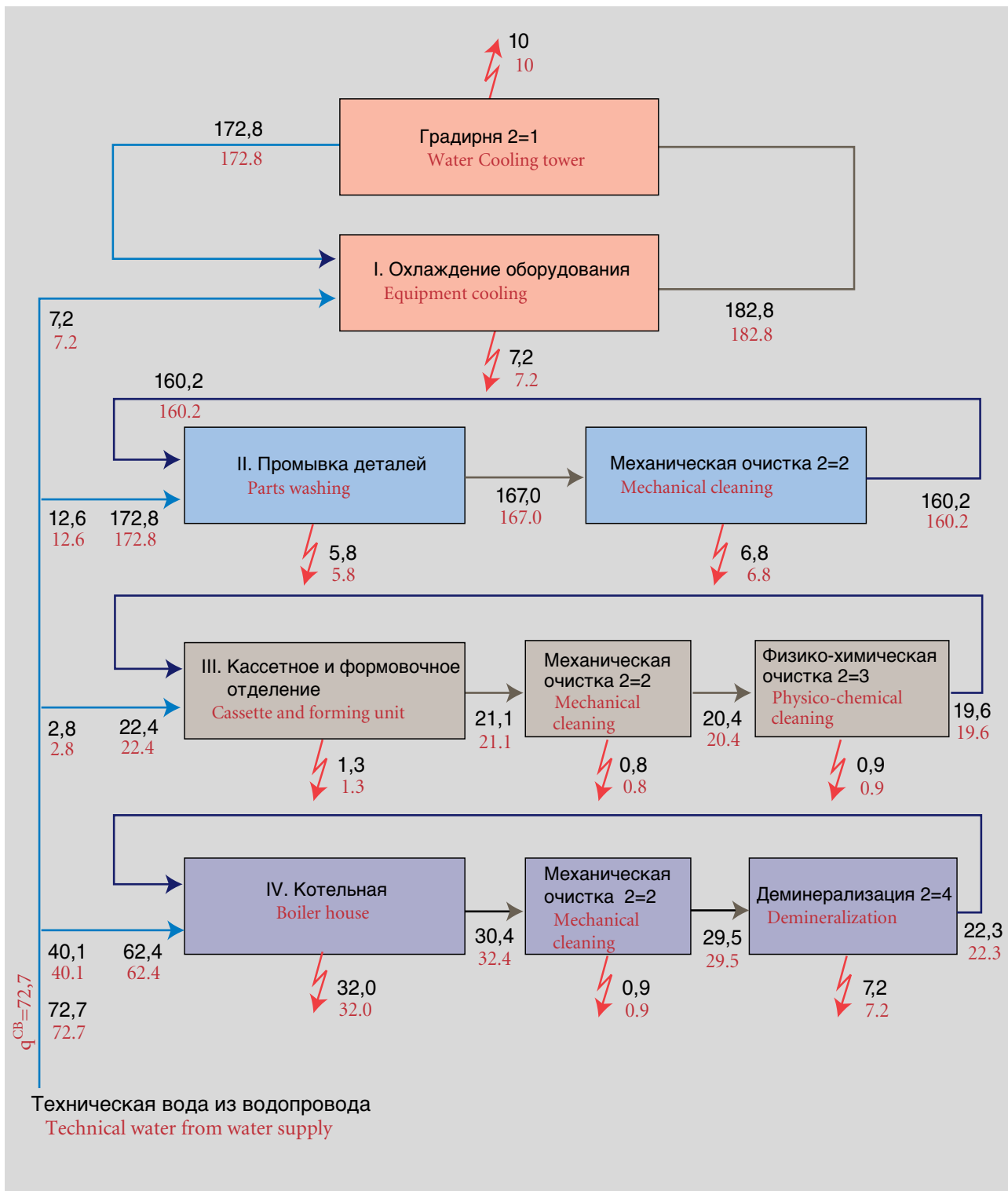


Таблица 1. Значения параметров водохозяйственной системы г. Екатеринбурга, полученные по бассейновой и промузловой моделям оптимизации

Table 1. Parameters of the water economy system of Ekaterinburg for basin and industrial center models

Отрасль народного хозяйства National economy sector	Водопотребление, тыс. м ³ /сут Water use in 1,000 cubic meters per day m ³ /cmd			Водоотведение, тыс. м ³ /сут Water diversion, in 1,000 cubic meters per day Q _β st	Рост приведенных затрат, млн. руб/год Growth in expenses incurred, million rubles per year Δπβ
	технологическая вода Process water Q _β ^t	оборотная вода Circulation water Q _β ^o	свежая вода Fresh water Q _β ^s		
Промышленность строительных материалов Building material industry	1,7/0,47	0,97/0,00	0,73/0,47	0,00/0,15	0,01/0,00
Черная металлургия Ferrous metallurgy	702/665	676/645	26/20	0,0/9	2,4/2,5
Химическая промышленность Chemical industry	84,6/33,6	82,5/32,3	2,2/1,3	0,0/0,2	4,7/1,1
Машиностроение Machine building	784/982	763/905	21/77	0,0/15	4,9/7,9
Жилищно-коммунальное хозяйство Housing and communal services	1128/1204	312/325	816/879	788/817	3,3/2,7
Итого по отраслям Total for sectors	2700/2907	1834/1921	866/986	788/846	17,7/15,0

Примечание: В числителе приведены значения, соответствующие решениям по модели промышленного узла; в знаменателе – по бассейновой модели.

Note: Values in accordance with the solutions to the industrial center models are given in numerator, in accordance with basin model in denominator.

need to solve these problems led to the development of a new basin model based on the aggregated description of major sources of pollution—in contrast to conventional models (1).

Description of the enterprise is the central determinant of the structure of such a model. To effectively automate the basin model, the decision was made to individualize only a small number of large-scale enterprises, while hundreds of medium- and small-scale ones are described aggregately and are differentiated only in sectorial and regional features. Regression models of “medium” enterprises belonging to several sectors were designed through processing available detailed data on 200 enterprises of the Urals economic region. Avoiding individual descriptions for medium- and small-scale enterprises permits a 10-fold reduction in measurements when compared to “precise” non-aggregate models.

Experience over several years in the use of the basin model within the Urals economic region, and also for the river basins of other regions, showed that this model ensured quite an acceptable degree of precision in defining aggregated characteristics of water use in the basin.

Results of estimates for optimizing water systems of the city of Yekaterinburg are given in the table that follows; the results are obtained simultaneously for the basin and “precise” industrial center models (2).

Indices for sectors (β) are given in table 1 as well as the total QΣ^s, QΣ^o, QΣ^t, QΣst, and ΔΠ_Σ data, obtained as a whole for the system. Expenses incurred in the sector “Housing and Communal Services” include only those intended for the development of the city sewage system. The expenses Qβ^s,



1. Несмотря на существенное различие в описании объекта и бассейновой и промузловой моделей оптимизации и неполную идентичность исходных данных, агрегированные показатели решения (итоговые значения водопотребления, водоотведения, затарат) отличаются не более, чем на 15%, что соответствует точности исходных данных.

2. Если оценить важную агрегированную характеристику решения – средний коэффициент водооборота в промышленности города (без жилищно- коммунального хозяйства) $C^0(\sum_b Q_b^0)/\sum Q_b^0$ то получим $C_{pu}^0 = 0,97$ и $C_b^0 = 0,94$ (здесь C_{pu}^0 и C_b^0 – соответственно коэффициенты для промузловой и бассейновой моделей).

Высокие значения величин C_{pu}^0 и C_b^0 связаны с сильным загрязнением р. Исеть выше г. Екатеринбург. Так, по оптимальному плану модели промузла все предприятия, имеющие самостоятельные выпуски сточных вод для достижения допустимых концентраций загрязняющих веществ должны перейти на замкнутые системы водоснабжения. При столь высоких значениях C_{pu}^0 и C_b^0 их различие существенно, а то, что C_{pu}^0 и C_b^0 связано с приближенным характером условия сброса сточных вод в “грубой” бассейновой модели.

Этим же, по-видимому, объясняются и существенные различия в росте удельных приведенных затрат для моделей промузла

$$\frac{\Delta U_b}{\Delta U_{pu}} = \frac{\Delta U_b}{\Delta U_{pu}} \cdot \frac{(Q_s^0 + Q_s^{st})}{(Q_s^0 + Q_s^{st})} \cdot (\Delta U_{pu})$$

$(\Delta U_b/\Delta U_{pu}=1.9; \Delta U_b=1.5)$

3. Значительные различия параметров по отраслям связаны главным образом с несоответствием технологических расходов (что определяется неточным “распределением” предприятий по отраслям, различием используемых прогнозов и т.д.).

Как видно из таблицы, итоговые показатели водопотребления и водоотведения, так и затраты на достижение требуемых ограничений по качеству воды оказываются довольно близкими. По-видимому, это связано со спецификой бассейна, где достижение поставленных водоохранных целей обеспечивается интенсивным ростом водооборота. То обстоятельство, что расчеты по обеим моделям приводят к такому выводу, служит аргументом в пользу адекватности этих моделей.

Анализ расчетов по оптимизационным моделям на “ретроспективу” и сопоставление получающихся результатов с существующими водохозяйственными

комплексами позволяют наглядно оценить сложившиеся диспропорции в развитии водного хозяйства. Эти диспропорции и низкая эффективность в использовании вложенных средств в значительной степени связаны с устаревшей, излишне централизованной системой управления водным хозяйством.

Со всей остротой встала проблема разработки принципиально нового хозяйственного механизма управления водными ресурсами. Объективно уже существует отрасль “водное хозяйство”, хотя и не оформленная организационно и юридически. Экономической основой отрасли должен стать полный хозрасчет, обеспечивающий самокупаемость и самофинансирование на основе создания и реализации собственной продукции, то есть подготовленной к использованию воды требуемого качества.

Отрасль “водное хозяйство” должна как бы получить в аренду от государства все природные воды и отвечать перед государством в лице региональных органов власти за водообеспечение населения и народного хозяйства и поддержание экологически безопасного состояния рек, озер и т.д. Главные оценочные показатели эффективности деятельности отрасли “водное хозяйство” включают в себя надежность водообеспечения (её возможность выполнять контрактные обязательства перед потребителем), качество воды в природных водных источниках, восстановление и улучшение качества воды рек. Первичным и вместе с тем основным структурным звеном основной отрасли должно быть производственное бассейновое управление (объединение).

Заключение

В России сформирована специализированная отрасль “водное хозяйство”, главные задачи которой – водообеспечение народного хозяйства на основе комплексного и рационального использования водных ресурсов и охрана природных источников от загрязнения и истощения. Ретроспективный анализ водохозяйственной практики показывает, что необходим пересмотр концепции управления водными ресурсами, переход к экономическим методам в управлении водопользованием.

Применение методов математического моделирования и в частности оптимизационных моделей, может существенно улучшить качество принимаемых решений при планировании развития и эксплуатации сложных водохозяйственных комплексов.



$Q\beta^o$, $Q\beta^s$, $Q\beta^{st}$ under the “Water Use” and “Water Diversion” headings are incurred by urban populations and enterprises that discharge their effluents into the city sewage system.

Analysis of the data permits the following conclusions to be made:

1. In spite of a considerable difference in the description of the enterprise in basin and production center optimization models and incomplete identity of initial data, the aggregated indices of the solution (summary values of water use, water diversion, and expenses) differ by no more than 15 percent, which corresponds with accuracy of the initial data.
2. If evaluating an important aggregated characteristic of the solution—the average coefficient of water circulation in the city’s industry (excluding housing and communal services) $C^o(\sum_{\beta} Q_{\beta}^o)/\sum Q_{\beta}^o$ —then we’ll obtain $C_{pu}^o = 0.97$ and $C_b^o = 0.94$ (here the coefficients C_{pu}^o and C_b^o stand for the industrial center and basin models, respectively).

High values of C_{pu}^o , C_b^o are associated with the Iset River pollution (to the north of Sverdlovsk). For example, under the optimal plan of the industrial center model, all those enterprises with autonomous outlets for waste effluents should switch over to closed water supply systems. With such high values of C_{pu}^o and C_b^o , their difference is significant, as is the fact that $C_{pu}^o > C_b^o$ are related to the approximation of conditions under which waste effluents are discharged in the “rough” basin model.

Considerable differences in the growth in the expenses specifically incurred ($\Delta U = (\Delta \Pi_x / (Q_x^o + Q_x^{st}))$)—for the industrial center (ΔU_{pu}) and basin models ($\Delta U_b / \Delta U_{pu} = 1.9$; ($\Delta U_b = 1.5$) kopecks per cubic meter are explained by the same reasoning.

3. Considerable differences in parameters between the sectors are related largely to a discrepancy in process water discharges $Q_{\beta t}$ (which is defined by an inaccurate “distribution” of enterprises among sectors, differences in application of prognoses, etc.)

As can be seen in the table, total data on water use and water diversion, as well as the expenses $\Delta \Pi_x$ incurred to achieve the required restrictions imposed on water quality, turned out to be rather close. This result is likely connected with specific features of a basin where the set water conservation goals are attained through an intensive increase in water circulation. The fact that calculations for both models led to the same conclusion speaks in favor of these models’ adequacy.

By analyzing estimates associated with the optimization models, as well as comparing the resulting data with the functioning water economy complexes, we can visually evaluate discrepancies that occurred in the development of the

water economy. These discrepancies and low efficiency in the use of investments are, to a great extent, connected with the old-fashioned, excessively centralized system used to manage the water economy.

The need to develop an absolutely new economic mechanism to manage water resources has become acute. The water economy sector, though not formed organizationally and legally, objectively exists. Economically, the sector should be self-supporting, or self-sufficient, earning enough money to be self-financed at the expense of its own realized output, and it should be prepared to produce water of required quality.

The water economy sector must be in a position to rent all natural water resources from the state and to be responsible before regional governmental bodies for supplying water to the population and the national economy, and for maintaining the ecologically safe status of rivers, lakes, etc. The principal determination of the water economy efficiency includes an assessment of the reliability of the water supply system (its ability to meet contractual commitments to water consumers), the quality of natural water resources, and restoration and improvement of river water quality.

The production and basin department (association) must be a primary and at the same time principal structural unit of the sector.

Conclusion

A specialized sector—the water economy—has been formed in Russia; its main task is to supply water to the national economy on the basis of a comprehensive and rational use of water resources and to protect natural water sources from pollution and depletion. A retrospective analysis of the water economy in practice shows that it is necessary to review the concept of controlling water resources and to transition to economical methods to manage water use.

The use of mathematical modeling methods and, particularly, of optimization models, can greatly improve the quality of decisions made in planning the development and operation of water economy complexes.

References

1. Modeling of water quality in hydrological cycle. Proc. Of Baden Symp, IIASA and IAHS, Sept. 1978. 382 p.
2. Rikun, A.D., A.M. Chernyaev, and I.M. Shiryak. Methods in mathematical modeling to optimize water economy systems of industrial regions. Moscow. Publ. “Nauka” (Science), 1991.
3. Vavilin, V.A. and M.Yu. Tsitkin. Mathematical modeling and water quality control. Water Resources. 1977. N4. pp. 114-132.



Литература

1. Вавилин В.А., Циткин М.Ю. Математическое моделирование и управление качеством водной среды //Водные ресурсы. 1977. № 5. С. 114-132.
2. Рикун А.Д., Черняев А.М., Ширяк И.М. Методы математического моделирования в оптимизации водохозяйственных систем промышленных регионов. М.: Наука, 1991 (в печати).
3. Modelling of Water Quality in Hydrological Cycle/ Proc. Of Baden Symp., IIASA and IAHS, Sept. 1978. Baden, 1978. 382 p.



СИСТЕМЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СТОЧНЫХ ВОД

Irrigation Systems That Utilize Effluents

Резюме

Определены объемы использования сточных вод и навозных стоков для орошения с учетом охраны природной среды в частности, водных ресурсов, от загрязнения в условиях обеспечения кормами развивающегося животноводства. Обоснована перспектива широкого применения оросительных систем для утилизации сточных вод и стоков животноводческих комплексов, что представляет собой более прогрессивное решение по сравнению с другими способами (вывоз жидкого навоза мобильным транспортом, использование сооружений искусственно-биологической очистки, орошение чистой водой и др.). Это позволит рационально использовать питательные вещества в растениеводстве и предотвратить загрязнение водных объектов.

Введение

Научно-технический прогресс обусловил значительное увеличение потребления как для хозяйственно-бытовых нужд, так и для нужд промышленности и сельского хозяйства чистой воды. В связи с этим повысился и сброс различных загрязненных сточных вод. Вместе со сточными водами и навозными стоками сбрасывается огромное количество биогенных элементов (азота, фосфора, калия и др.), органических и токсичных веществ.

Многолетние исследования показывают, что воздействие человека на окружающую среду в последние 25-30 лет стало превышать возможности естественных факторов, которые еще совсем недавно обеспечивали экологическое равновесие в природе. Положение усугубляется тем, что большое число крупных предприятий и населенных пунктов страны не имеет очистных сооружений. Применяемые же дорогостоящие сооружения для искусственной биологической очистки сточных вод, в особенности высококонцентрированных, трудноокисляемых навозных стоков, не обеспечивают качество очистки, которое допускало бы сброс в естественные водоемы. Степень очистки сточных вод на самых современных очистных сооружениях не превышает 90%. Поэтому в природную среду попадают многие десятки и даже сотни тысяч тонн биогенных элементов, что нарушает

экологию водных бассейнов страны, так как водные ресурсы, населенные пункты и промышленные предприятия (в том числе и крупные животноводческие комплексы) распределены на территории неравномерно, то очевидно, что европейская часть СНГ будет испытывать острый недостаток чистой воды в самый ближайший период, а некоторые районы испытывают его уже сейчас.

Наметилась тенденция дальнейшего увеличения объемов сточных вод (коммунально-бытовых, тяжелой, легкой и пищевой промышленности, крупных животноводческих комплексов и др.). По прогнозу, количество сбрасываемых сточных вод в 2000 г. достигнет 30 км³. Общий объем навозных стоков по стране в настоящее время составляет свыше 27,1 млн м³.

Количество загрязняющих веществ (рассчитанное по биологической потребности в кислороде), содержащихся в общих объемах водоотведения в 1990 г. по бассейнам основных рек стран СНГ, составило: Волга – 960 тыс.т., Дон – 280 тыс.т., Днепр – 120 тыс.т.

Поэтому увеличивающиеся объемы стоков представляют собой повсеместно не только потенциальную, но уже вполне реальную угрозу загрязнения водных ресурсов.

Между тем мировым опытом уже давно доказано, что прекращение загрязнения природных водоемов и восстановление первоначального качества сточных вод может быть достигнуто в результате их доочистки на сельскохозяйственных полях орошения после предварительной очистки на искусственных очистных сооружениях.

Применение сточных вод для орошения позволяет сократить дефицит поливной воды, рационально использовать удобрительные вещества, содержащиеся в них, для повышения плодородия почвы и увеличения урожая сельскохозяйственных культур, а также достигнуть высокой степени очистки этих вод почвенным методом.

Естественный (почвенный) метод очистки сточных вод и навозных стоков наиболее полно гарантирует охрану



Irrigation Systems That Utilize Effluents

L.P. Ovtsov, L.A. Muzychenko, B.C. Semenov, P.D. Savos'ev, and A.N. Karachevtsev

Abstract

Volumes of waste effluents and slurry to be used for irrigation purposes were defined with regard to environmental protection—particularly to the protection of water resources from pollution under conditions associated with providing feed to increase livestock production. Extensive application of irrigation systems that use waste effluents and slurry resulting from livestock production presents a more progressive technological solution to the problem, as compared to other methods (removal of slurry with the help of trucks). It will also enable the rational use of plant nutrients and prevent water pollution.

Introduction

Scientific and technological progress will presumably lead to a considerable rise in the use of pure water for economic and everyday needs, in industry, agriculture, and in discharging contaminated waste effluents of different origins. Together with waste effluents and slurry runoff, a huge amount of biogenous elements (nitrogen, phosphorus, potassium, etc.), as well as organic and toxic substances, are discharged.

Studies conducted over many years have shown that the impact of humans over the last 25 to 30 years has started to exceed the capabilities of natural factors to respond in a way that ensures a natural ecological balance. The situation is aggravated by the great number of the nation's large enterprises and settlements that do not have purification facilities. Expensive facilities that decontaminate and clarify biological effluents and, particularly, highly concentrated, slightly oxidizable slurry, do not ensure high enough treatment quality to permit the discharge of effluents into natural water reservoirs. Efficiency in clarifying waste effluents, even in the best purifying facilities, does not exceed 90 percent. Therefore, biogenous elements in the tens and even in the hundreds of thousands of tons get into the environment, affecting the ecology of the country's water resources. Since water resource settlements and industrial enterprises (including large-scale livestock production complexes) are scattered unevenly over the country's territory, it is evident that the European part of the Soviet Union will undergo an acute shortage of pure water in the near future. Some areas suffer from this deficit already.

There is a trend toward further growth in the volume of waste effluent (municipal, consumer service, heavy, light, and food industries, large-scale livestock production complexes, etc.). According to one estimate, by the year 2000 the amount of discharged effluents will reach 60 cubic kilometers. Currently, the nation's total slurry exceeds 1 cubic kilometer.

The pollutants (defined according to biological requirements for oxygen) contained in diverted water were voluminous in 1990 for the country's principal river basins, at 960,000 tons in the Volga River, 280,000 tons in the Don River, and 120,000 tons in the Dnieper River. These growing volumes of waste effluents pose a real threat to water resources elsewhere.

Meanwhile, international experience has long revealed that preventing pollution and restoring water quality in native water reservoirs is achievable through additional purification in those fields planted to arable crops, following pretreatment in artificial purification facilities.

Use of waste effluents for irrigation purposes permits us to reduce the deficit of irrigation water and to rationally use the plant nutrients contained in them to increase soil fertility and crop yields and effectively clarify these waters by soil method.

A natural (soil) method to purify waste effluents and slurry most fully prevents surface and groundwater pollution. A soil layer 1 meter thick enables us to purify effluents to get rid of 95-100 percent of the impurities.

Waste effluents and slurry vary widely in their chemical composition, physical properties, and bacterial contamination; therefore, their use in irrigating agricultural lands greatly differs from irrigation with pure water. The use of such effluents in arable farming under irrigation requires careful concern for the development of technological processes of their preliminary treatments and irrigation, with the view to observing agricultural forest reclamation and sanitary and hygienic requirements.

Waste effluents from food, meat, dairy, and textile industries usually require only mechanical treatment. They can then be taken to the fields under irrigation for additional purification.

The waste effluents of large cities and settlements require, in addition to a mechanical treatment, compulsory artificial biological decontamination. Afterwards they are taken to agricultural lands under irrigation for additional purification.



поверхностных и подземных вод от загрязнения. Метровый слой почвы позволяет очистить воды от загрязняющих веществ на 95-100%.

Сточные воды и навозные стоки характеризуются большим разнообразием химического состава, физических свойств, различной бактериальной загрязненностью, поэтому использование их для орошения сельскохозяйственных угодий существенно отличается от орошения чистой водой. Применение таких стоков в орошаемом земледелии требует особого внимания при разработке технологических процессов их предварительной подготовки и орошения, чтобы обеспечить соблюдение агрометеорологических и санитарно-гигиенических требований.

Сточные воды пищевой, мясо-молочной, текстильной промышленности, как правило, требуют только механической очистки, после чего их можно направлять на сельскохозяйственные поля орошения для доочистки.

Сточные воды крупных городов и населенных пунктов требуют, наряду с механической очисткой, обязательной искусственной биологической очистки. После этого их направляют на сельскохозяйственные поля орошения для доочистки.

Сточные воды малых населенных пунктов после механической доочистки могут быть направлены для биологической очистки (и даже обеззараживания) в биологические окислительные контактные стабилизационные (БОКС) пруды.

Метод очистки сточных вод в БОКС прудах по сравнению с другими методами прудовой очистки сточных вод имеет существенные преимущества, главные из которых – сокращение сроков очистки до 5-10 суток вместо 20-30, а также увеличение гидравлической нагрузки прудов с 200 до 1000 м³/га.

В сравнении с искусственными очистными сооружениями, БОКС пруды при одинаковой производительности (400 м³/сутки) имеют более высокие технико-экономические показатели.

БОКС пруды 25 лет устойчиво работают в странах СНГ – Узбекистане (Бухара), Таджикистане (Душанбе и Орджоникидзе) и в других природно-климатических зонах. Доказано, что очищенные в БОКС прудах загрязненные сточные воды не содержат патогенных микроорганизмов кишечной группы, возбудителей брюшного тифа, паратифа, дизентерии, а также яиц гельминтов.

Эта технология очистки сточных вод экспонировалась на зарубежных выставках (г. Спокане – США, г. Брно – Чехословакия).

Общее звено в технологической цепи очистки всех видов сточных вод – использование накопителей. Их устраивают в целях осветления стоков, регулирования подачи на сельскохозяйственные поля орошения, приема дренажных вод. Вместимость накопителей определяют расчетом до семимесячного объема поступающих сточных вод. Конструкция накопителей должна обеспечивать строгое соблюдение санитарных требований, иметь надежную гидроизоляцию, предотвращающую просачивание загрязненных вод в поверхностные и подземные воды.

Дальнейшие (подготовительные) операции включают: усреднение, нейтрализацию, разбавление с другими видами сточных вод, повышение удобрительной ценности, изоляцию агрессивных и снижение содержания специфических веществ до допустимых уровней.

Заключительная технологическая операция по утилизации сточных вод на орошение – это возделывание кормовых культур и производство кормов (зеленой массы, сена, сенажа, силоса, травяной муки, гранул, брикетов). Наиболее отзывчивы на орошение сточными водами злаковые многолетние травы – костреч безостый, тимopheевка, лисохвост луговой, мятлик луговой, канареечник тростниковидный, овсяница луговая, ежа сборная; из бобовых – клевер ползучий (белый), люцерна посевная (синяя). Урожай этих трав достигает 40-45 т зеленой массы с 1 га. Из пропашных культур хороший урожай при таком орошении дают кукуруза на силос – до 35 т, кормовая свекла – до 50 т/га.

Качество кормов, выращенных с использованием сточных вод для орошения, хорошее. Содержание протеина в сене повышается на 20%, жира – на 30% по сравнению с контролем (при поливе чистой водой).

Положительный опыт использования сточных вод в орошаемом земледелии накоплен в разных районах СНГ. В качестве примера можно привести результаты многолетних исследований по предотвращению интенсивного загрязнения сточными водами таких крупных рек страны, как Волга, Ахтуба и Урал в нижнем их течении.

Чтобы не допустить загрязнения реки Урал сточными водами г. Уральска, предусмотрено после механической очистки проводить доочистку этих вод в системе прудов-накопителей. Затем сточные воды используют



The waste effluents of small settlements, following additional mechanical purification, can be directed to biological oxidational contact stabilization (BOCS) ponds for biological treatment (and even decontamination).

Purifying waste effluents in BOCS ponds has considerable advantages over other methods of pond purification. The chief advantages are reduction in purification time from 20-30 days to 5-10 days and an increase in the hydraulic load of ponds from 200 to 1,000 cubic meters per hectare.

Compared to artificial purification methods, BOCS ponds with the same production capacity (400 cubic meters per day) have higher technological and economic indices. BOCS ponds have been in use for 25 years in Uzbekistan (Bukhara), Tajikistan (Dushanbe and Ordzhonikidzeabad), and other ecological and climatic zones of the former Soviet Union. It is shown that once purified in the BOCS ponds, contaminated waste effluents no longer contain pathogens of the intestine group, causative agents of typhus, paratyphoid, and dysentery; nor do they contain helminth eggs. This technology to purify sewage waters has been exhibited abroad (Spokane, Washington, USA, and Brno, former Czechoslovakia).

The common technological feature in the purification of all kinds of effluents is the use of collectors. Their installation is aimed at clarifying effluents, controlling the distribution in the fields to be irrigated, and receiving drainage water. The capacity of collectors is defined by calculator (up to the 7-month-long volume of the inflow of waste effluents). Collectors should be designed to meet strict hygienic requirements and be waterproof, thus preventing seepage of contaminated runoff to surface and underground waters.

Other (preliminary) operations include: averaging, neutralization, dilution with other kinds of effluents, increasing the nutrient value, isolation of aggressive contents, and decreasing specific substances to permissible levels.

Fodder crops and feed manufacturing are the final technological operations utilizing waste effluents for irrigation purposes (feeds include green masses, hay, haylage, silage, grass meal, pellets, and bales). Perennial gramineous plants (awnless brome grass, timothy, meadow foxtail, Kentucky bluegrass [*Poa pratensis*], reed canarygrass, meadow fescue, and cockfoot) and legumes (white clover, bird's foot trefoil, and alfalfa) are the most responsive to effluent irrigation. The yield of these grasses reaches a level of 40-45 tons of green mass per hectare. Of the arable crops, maize (corn) grown for silage yields well under such irrigation, up to 35 tons per hectare; fodder beets, up to 50 tons per hectare.

The quality of fodder crops grown under irrigation with effluents is good. The protein content of hay increases by 20

percent and fat by 30 percent as compared to the control (irrigation with pure water).

Positive results in the use of waste effluents for irrigated arable farming were achieved in various regions of the former USSR. Results of experiments conducted over many years to prevent intensive contamination of such large rivers as the Volga, Akhtuba, and the low reaches of the Urals may serve as examples.

To prevent contamination of the Urals River with waste effluents emanating from the town of Uralsk, after mechanical purification additional purification of these sewage waters occurs through the systems of ponds and collectors. Then the waste effluents are utilized to irrigate agricultural lands. In this manner, the purification rate of water effluents, with the help of soils, is 99 percent. At an irrigation rate of 4,500-6,000 cubic meters per hectare, the watering rate of 600-1,100 cubic meters per hectare, the yield of maize grown for green mass increased 2.2- to 2.6-fold, and that of sudangrass for haymaking 2.5- to 3.5-fold in comparison with the control (without irrigation). Analysis of plant produce grown on fields under irrigation showed that this system met veterinary and hygienic requirements.

Waste effluents produced in the city of Kiev have been used in the Bortnich irrigation system for more than 20 years, with 23,000 hectares under irrigation. On these irrigated fields, perennial grasses, potatoes, beets, and other crops are grown.

Mixed effluents (produced by municipal economies and consumer services and industries) have been applied for many years to irrigate about 1,000 hectares of the "Noginsky" state-owned farm in the Moscow region, on which perennial grasses and other fodder crops are grown.

Transition from livestock production to industrial technology necessitates the concentration of large cattle populations on limited areas and keeping them without bedding. Disposal of slurry (a mixture of solid and liquid, feed residues, processed water, and other ingredients) as well as strict compliance with veterinary and hygienic requirements to prevent the occurrence of epizootia, is the most complicated problem on large-scale livestock production complexes and industrial-type farms. Removal of manure from premises by washing is recognized as the simplest, least labor-consuming, and most reliable method from the hygiene point of view. This method was suggested by the "GAG," an Italian firm from which the Soviet Union purchased industrial technology to fatten young cattle and pigs.

The effluents are minimally oxidizable. To purify them in artificial biological purification facilities to levels that would permit their discharge into natural water reservoirs, a preliminary repeated dilution with pure water is required.



для орошения сельскохозяйственных угодий. При этом степень очистки сточных вод почвой составляет 99%. При оросительной норме 4,5-6 тыс.м³/га, поливной норме – 600-1100 м³/га, урожай кукурузы на зеленую массу возрос в 2,2-2,6 раза, суданки на сено – в 2,5-3,5 раза по сравнению с контролем (без орошения). Анализ растениеводческой продукции, выращенной на сельскохозяйственных полях орошения, показал, что она вполне отвечает ветеринарно-санитарным и гигиеническим требованиям.

В совхозе “Ногинский” Московской области уже много лет для орошения сельскохозяйственных угодий применяют смешанные сточные воды (хозяйственно-бытовые и промышленные) на площади около 1000 га, где выращивают многолетние травы и другие кормовые культуры.

Перевод животноводства на промышленную технологию вызвал необходимость концентраций больших групп скота на ограниченной территории и бесподстильного его содержания. Наиболее сложной проблемой на крупных животноводческих комплексах и фермах промышленного типа оказалась уборка жидкого навоза (смесь твердых и жидких экскрементов, остатков корма, технологической воды и других включений), а также строгое соблюдение ветеринарно-санитарных и гигиенических требований, чтобы предупредить возникновение эпизоотии. Самым простым, менее трудоемким и надежным в санитарном отношении было признано удаление навоза из производственных помещений способом гидросмыва. Этот способ был предложен итальянской фирмой Джи-Э-Джи, у которой СССР закупил промышленную технологию откорма молодняка крупного рогатого скота и свиней.

Стоки оказались трудноокисляемые. Для их очистки на сооружениях искусственной биологической очистки до показателей, допускающих сброс в природные водоемы нужно было многократное предварительное разбавление чистой водой.

Массовое строительство таких животноводческих комплексов вблизи крупных населенных пунктов, расположенных, как правило, у водных бассейнов, создало серьезную угрозу интенсивного загрязнения водных ресурсов. В некоторых районах страны это уже сейчас стало реальностью.

Для утилизации навозных стоков наиболее приемлемым решением оказалось использование их в сельскохозяйственном производстве для орошения кормовых культур. Однако, как показала мировая практика, для использования навозных стоков на

орошение, необходимы соответствующие земельные площади. Применять высокие оросительные нормы, превышающие допустимые, нельзя. Это неизбежно приведет к отрицательным последствиям – загрязнению почвы, водных ресурсов, растениеводческой продукции.

Соблюдение агротехнических, ветеринарных, санитарных и гидрогеологических требований к устройству и эксплуатации оросительных систем позволяет предотвратить загрязнение поверхностных и подземных вод при орошении животноводческими стоками.

Накоплен большой опыт по использованию стоков от животноводства при поливе многолетних трав. Проведено исследование влияния доз животноводческих стоков с различной концентрацией биогенных элементов на урожай трав, качество кормов, устойчивость разного вида растений к такому орошению, а также изучение эффективности очистки стоков от биогенных элементов и патогенных микроорганизмов.

В Ленинградской области орошение многолетних трав и других кормовых культур стоками животноводческих комплексов проводят в течение 20 лет. Урожай многолетних трав составлял без орошения 3180 корм. ед.; при орошении чистой водой – 4090; при орошении сточными водами животноводческих комплексов, содержащими 240 кг азота на 1 га – 8960, 300 кг азота – 9700, 350 кг – 10 360, 420 кг – 10 940 корм. ед., то есть увеличился в 2-3 раза. Урожай возрастал с повышением дозы вносимых со стоками питательных веществ, но до определенного предела.

В составе животноводческих стоков оптимальными оказались следующие дозы азота: для многолетних трав – 300 кг, кукурузы на силос – 120, ячменя – 120-240 кг на 1 га. Дозы используемого для удобрения сельскохозяйственных культур жидкого навоза, составляющие 50-100 м³/га, оптимальны в различных районах СССР и безопасны в отношении загрязнения окружающей среды (открытых водоемов и грунтовых вод).

При использовании даже высоких доз жидкого навоза на фоне минеральных удобрений к концу вегетационного периода культур содержание азота в почве снижается до уровня контроля, изменения окислительно-восстановительных процессов не происходит, почва самоочищается от бактериального загрязнения.

В результате комплексных исследований, проведенных в различных почвенно-климатических зонах страны,



Mass construction of livestock production complexes near large settlements, located, as a rule, near water reservoirs, constitutes a serious threat to water resources. In some regions of the country it has become a real problem.

As to the use of slurry, the most suitable solution in agricultural production is to use it to irrigate those fields under fodder crops. However, as international experience has shown, appropriate space is needed to utilize slurry for irrigation purposes. It is forbidden to apply it at higher than permitted irrigation rates, which would invariably lead to negative results—the pollution of soil, water resources, and plant produce.

Compliance with technological, veterinary, hygienic, and hydrogeological requirements in arranging and operating irrigation systems enables us to prevent the contamination of surface and underground waters caused by watering with slurry.

Practical experience has been gained in using slurry to irrigate perennial grasses. Research has been carried out to study the effect of slurry rates at various concentrations of biogenous elements on grass yield, on feed quality, and on resistance of various species of plants to such irrigation, and also to study the efficiency of freeing slurry of biogenous elements and pathogenic microorganisms.

Irrigation of areas under perennial grasses and other fodder crops with slurry provided by livestock production complexes has been practiced in the Leningrad region for 20 years. The yield of perennial grasses grown without irrigation is 3,180 feed units, while that with irrigation is 4,090 feed units; irrigating with slurry from livestock production complexes containing 240 kg of nitrogen per hectare yields 8,960 feed units; at 300 kg of nitrogen, 9,700 feed units; at 350 kg of nitrogen, 10,360 feed units; at 420 kg of nitrogen, 10,940 feed units—the yield rose 2- to 3-fold. Yield increased along with growth in the rates of applied nutrients—but only to a certain extent.

The following nitrogen rates are optimum in slurry: for perennial grasses, 300 kg per ha; corn for silage, 120 kg per ha; barley, 120-240 kg per ha. Fifty to 100 cubic meters per ha of slurry applied to fertilize farm crops are optimum in various regions of the former Soviet Union and are innocuous for the environment (open water reservoirs and ground waters).

Even in the use of high rates of slurry as background ingredients of mineral fertilizers toward the end of crops' growing periods, soils' nitrogen content is lowered to a controllable level, and there are no changes in oxidation; reduction processes and soils are self-cleaned of bacterial contamination.

Comprehensive investigations conducted in different soil and climatic zones of the country have shown a possibility of using sewage water for irrigation purposes—from dwelling houses, the municipal economy, food enterprises and light industries, the mineral fertilizer industry, and mine water. Pure water equivalents resulted from some production in chemical, petroleum, and coking industries.

The following data address the outlook for using sewage water for irrigation. The yield of perennial grasses grown to produce green masses under this type of irrigation totals 35-40 tons per ha; that of corn for silage, 25-32 tons per ha and on some farms 450 tons per ha; fodder root crops, 50-60 tons per ha and some years 70-80 tons per ha.

International experience has demonstrated the expediency of establishing large-scale specialized farms to produce fodder crops, where city sewage waters are utilized to irrigate fields under fodder crops after treatment in artificial biological purification facilities. City runoff can be applied to irrigate trees and shrubs in forests and parks around cities, villages, industrial enterprises and complexes, as well as in field-protective forest belts and in nurseries.

Food industries are regarded as low-water-consuming and yet, of the 15 food industries, those consuming the most water include sugar, brewing, soft drinks, wine making, fruit and vegetable canning, starch and molasses, and yeast production. Most of these industries' plants are located in the basins of the Dnieper River (13.5 percent), the Volga River (12.9 percent), the Don (11 percent), and the Dniester (8.8 percent).

Waste effluents from most food industry enterprises are characterized by a high concentration of organic and mineral matter. The yearly volume of such waters contains up to 1,165,000 tons of organic and 1,817,000 tons of mineral matter, that is why waste effluents quickly become stagnant and are not easily purified in artificial biological purification facilities.

And yet, these effluents, in their chemical composition and hygienic and bacteriological state (pollution of waste effluents is of a natural origin), are mostly fit to irrigate fodder crops. The concentration of major plant nutrients in them is rather high. For instance, effluents produced by starch and molasses-manufacturing enterprises contain nitrogen at up to 250 mg per liter; phosphorus, 30 mg per liter; and potassium, up to 200 mg per liter; while waste effluents produced by spirits and yeast manufacturing enterprises contain 2 to 3 times as much. Besides, these sewage waters contain trace elements needed by plants. The cost of purifying effluents used on such fields under irrigation is one-third to one-fifth that of artificial biological purification facilities. At the same time, agricultural production benefits from fodder crop irrigation since additional net profit is made.



установлена возможность использования для орошения сточных вод жилищно-коммунального хозяйства, предприятий пищевой и легкой промышленности, промышленности по производству минеральных удобрений, шахтных и условно чистых вод некоторых производств химической, нефтехимической, коксохимической промышленности. О перспективе использования городских сточных вод на орошение свидетельствуют следующие данные. Урожай многолетних трав на зеленую массу при таком орошении составляет 35-40 т/га, кукурузы на силос 25-32, а в отдельных хозяйствах 450, кормовых корнеплодов 50-60, в отдельные годы 70-80 т/га.

Отечественный и зарубежный опыт показывает, что целесообразно создание крупных специализированных хозяйств по производству кормов, где после устройства сооружений искусственной биологической очистки городские сточные воды используют для орошения кормовых угодий. Городские сточные воды можно применять для орошения древесно-кустарниковых насаждений в зеленых лесопарковых зонах вокруг городов, поселков, промышленных предприятий и комплексов, в защитных лесных полосах, питомниках.

Отрасли пищевой промышленности считаются маловодоемкими, в то же время из 15 отраслей наиболее водоемкие: сахарная, пивобезалкогольная, винодельческая, плодоконсервная, крахмало-паточная, дрожжевая. Наибольшее количество предприятий этих отраслей расположено в бассейнах рек Днепра (13,5%), Волги (12,9%), Дона (11%), Днестра (8,8%).

Сточные воды большинства предприятий пищевой промышленности характеризуются значительной концентрацией органических и минеральных веществ. В ежегодном объеме таких вод содержится до 1165 тыс.т органических и 1817 тыс.т минеральных веществ, поэтому сточные воды быстро загнивают и трудно поддаются искусственной биологической очистке.

Вместе с тем по химическому составу и санитарно-бактериологическому состоянию (загрязнение сточных вод имеет естественное происхождение) эти стоки наиболее пригодны для орошения кормовых культур. Содержание в них основных питательных веществ для растений достаточно высокое. Например, в стоках предприятий по производству крахмало-паточных продуктов оно составляет: азота – до 250 мг/л, фосфора – 30 мг/л, калия – до 200 мг/л, а в сточных водах спиртовых и дрожжевых заводов содержание этих элементов в 2-3 раза выше. Кроме того, в сточных водах содержатся необходимые для растений микроэлементы. Себестоимость очистки стоков,

используемых на таких полях орошения, в 3-5 раз ниже, чем на сооружениях искусственной биологической очистки. Одновременно от орошения кормовых культур сельское хозяйство получает дополнительно чистый доход.

В результате исследований определены виды сточных вод, пригодных для орошения после соответствующей подготовки (городские, предприятий пищевой промышленности, условно-чистые воды химических производств), разработаны и утверждены нормативные документы и рекомендации по проектированию, строительству и эксплуатации полей орошения с учетом агрометеорологических и санитарных требований. Разработаны принципиальные схемы подготовки сточных вод в БОКС прудах. Такие пруды имеются в Узбекистане и других регионах и странах содружества.

Созданы и отработаны в производственных условиях технологические процессы использования различных видов сточных вод для орошения сельскохозяйственных угодий и в целях охраны водных ресурсов.

Для очистки сточных вод небольших населенных пунктов разработана конструкция биологических прудов и технология их работы, пруды с проточного режима переведены на контактный режим, в них вводят специальный комплекс микроводорослей. Это дало возможность увеличить гидравлическую нагрузку в 3-4 раза и сократить площадь, занимаемую прудами в 3 раза. По-прежнему остается проблема подготовки и использования животноводческих стоков, которые загрязняют водную среду. Вместе с тем применение и обезвреживание на полях орошения животноводческих стоков отвечает интересам сельского хозяйства, так как они являются ценным удобрением.

С каждого гектара, орошаемого осветленными животноводческими стоками, получают 9-11 тыс. корм. ед., что в 2-2,5 раза выше, чем на богаре.



Conclusion

Studies have resulted in the identification of waste effluents acceptable for irrigating agricultural lands following proper treatment (this includes sewage from houses, waste from the food industry, and pure water equivalents from the chemical industries). In addition, standards and recommendations for designing, constructing, and running irrigation fields, with regard to agricultural reclamation and sanitary requirements, have been developed and approved. Basic schemes have been devised to have waste effluents prepared in BOCS ponds. Such ponds exist in Uzbekistan, Lithuania, and elsewhere.

Technological processes to use different kinds of waste effluents for irrigating agricultural lands and for conserving water resources were developed and tested under field conditions.

A system of biological ponds and the technology to ensure their operation were developed to clarify waste effluents produced in small settlements. Ponds were transferred from a flow regime to a contact one when a set of microalgae was introduced into them. This enabled a 3- to 4-fold increase in hydraulic load and a 3-fold reduction in the area under ponds.

Yet to be resolved is the problem of preparing and utilizing slurry that pollutes water resources. In addition, decontamination and application of slurry on irrigation fields benefits agriculture since it results in a valuable fertilizer.

Each hectare of land irrigated with clarified slurry yields 9,000 to 11,000 feed units—twice or 2.5 times as much as on rain-fed lands.

References

1. Andreev, N.G. and G.E. Merzlaya. Productivity of grasslands with slurry and waste effluents being utilized. *Vestnik Selskokhozyaistvennoy nauki (Agricultural Science News)*, 1984, N3. pp. 90-94.
2. Blyankman, L.M. and N.A. Pravoshchinsky. Founding the measures to prevent the contamination of nature (native?) waters with slurry from livestock production complexes. *Utilization and Conservation of Native Waters*. Minsk. Science and Technology. 1985. p. 75-86.
3. Irrigation systems with the use of slurry: agency-level construction norms 33.2.2.01-85. Moscow. 1985. 121 p.
4. Irrigation systems with the use of waste effluents. Designing norms: agency-level construction norms 33.2.2.01-85, 33.2.2.02-86. 1986. 85 p.
5. Novikov, V.M., E.E. Elik, N.A. Kovaleva, et al. Utilization systems with the use of slurry: agency-level construction. *Melioratsiya I Vodnoe Khozyastvo (Amelioration and water economy)*. Series 1. Irrigation and Irrigation Systems; Information Review. Moscow. 1985. Issue 2. 65 p.
6. Recommendations for the establishment of biological oxidation contact stabilization (BOCS) ponds in the USSR for small settlements. Moscow. 1987. 32 p.



Литература

1. Андреев Н.Г., Мерзлая Г.Е. Продуктивность лугопастбищных угодий при использовании жидкого навоза и сточных вод // Вестн. с.-х. Науки. 1984. № 3. С. 90-94.
2. Блянкман Л.М., Правощинский Н.А. Обоснование мероприятий по предупреждению загрязнения природных вод отходами животноводческих комплексов // Использование и охрана природных вод. Минск: Наука и техника, 1985. С. 75-86.
3. Использование сточных вод и навозных стоков для орошения // В.М. Новиков, Э.В. Элик, Н.А. Ковалева и др. Мелиор. и водн. хоз-во. Сер. 1. Орошение и оросительные системы: Обзорная информация. М., 1985. Вып. 2. 65 с.
4. Оросительные системы с использованием животноводческих стоков: Ведомственные строительные нормы 33.2.2.01-85. М., 1985. 121 с.
5. Оросительные системы с использованием сточных вод. Нормы проектирования: Ведомственные строительные нормы. 33.2.2.01-85, 33.2.2.02-86. 1986. 85 с.
6. Рекомендации по устройству биологических оксидационных контактных стабилизационных (БОКС) прудов в СССР для небольших населенных пунктов. М., 1987. 32 с.



Проблемы орошения и дренажа

Problems Associated with Irrigation and Drainage



Проблемы орошения и дренажа

Б.Б. Шумаков*, В.Е. Райнин, В. А. Духовный, В.А. Калантаев, И.П. Кружилин

Резюме

Трансформируя малопродуктивные ландшафты с помощью орошения и дренажа в более продуктивные, человек порождает множество проблем, связанных с тем, что культурные ландшафты не обладают такой способностью к адаптации, как природные, и нуждаются в постоянном контроле и регулировании. Статья посвящена проблемам совершенствования оросительных и дренажных систем нового типа, обеспечивающих возможность их экологической адаптации в различных природных условиях.

Введение

Значительная часть сельскохозяйственных угодий в СНГ расположена в засушливой зоне. Именно это обстоятельство в первую очередь определяет величину, качество и стабильность урожая.

При разработке и проведении оросительных мелиораций важно учитывать следующее. Орошению могут сопутствовать процессы вторичного засоления и заболачивания почв. Орошение и дренаж нередко обуславливают вымывание из почв и смыв элементов питания растений, остатков пестицидов и их метаболитов, а также других веществ в водотоки и водоемы, что приводит к загрязнению вод. Если не применять мер защиты, то орошение вызывает затопление и подтопление земель, образование мелководий, увеличение испарения, ухудшение способности воды к самоочищению, замедлений водообмена, усиление развития водорослей, уменьшение количества твердого стока, трансформацию долин и пойм, другие негативные воздействия на окружающую среду.

Существенные изменения в связи с широким развитием орошения и дренажа в нашей стране произошли в экосистемах ряда рек, озер и внутренних морей.

В современных исследованиях наряду с поиском путей увеличения отдачи с орошаемого гектара особую актуальность приобрели проблемы экологизации производственных процессов орошения и дренажа.

Поверхностные способы полива применяют на 60% всех орошаемых земель. К недостаткам такого полива относятся высокая трудоемкость и низкая производительность труда поливальщиков, разрушение почвенной структуры и неравномерность увлажнения по длине поливных борозд и полос.

Совершенствование поверхностных способов полива связано с удлинением поливных борозд и полос и увеличением ширины последних, что позволяет повысить производительность труда, уменьшить трудоемкость работ, увеличить коэффициент земельного использования и КПД оросительных систем. Однако удлинение поливных борозд приводит к неравномерности увлажнения и перерасходу воды в головной части поливных элементов. Во избежание этого применяют особую технологию нарезки борозд. Первую треть борозды уплотняют, среднюю треть оставляют в естественном состоянии, нижнюю треть взрыхляют, а в дне борозды нарезают щель глубиной до 10-15 см, что позволяет довести коэффициент равномерности увлажнения до 0,8-0,9 по сравнению с 0,5-0,6 без этого приема. Разработан специальный бороздоделатель, который обеспечивает уплотнение головной части борозды, рыхление и нарезку щели в хвостовой части.

С внедрением в практику орошаемого земледелия автоматизированных систем поверхностного полива появилась возможность в период доувлажнения вести полив с плавно изменяющимся расходом воды, соответствующим скорости ее впитывания в почву.

Поиск дальнейших путей совершенствования поверхностного полива привел к идее импульсной (дискретной) подачи воды в борозды. При таком поливе возможно увеличить коэффициент равномерности увлажнения до 1, а КПД – до 0,96-0,98. Производственная проверка импульсного полива по бороздам в Сокулукском районе Киргизии показала, что в результате улучшения равномерности увлажнения обеспечивается прибавка урожая сахарной свеклы на 35%, экономия воды за счет ликвидации сбросов на 20-30%.

Дождевание в странах СНГ применяют на все больших площадях. Если в 1962 г. дождеванием орошали около 2% общей поливной площади, то к 1970 г. доля этого



Problems Associated with Irrigation and Drainage

B.B. Shumakov, V.E. Rainin, V.A. Dukhovnyi, V.A. Kalantaev, and I.P. Kruzhilin*

Abstract

By transforming minimally productive landscapes through irrigation and drainage into more highly productive ones, we create a lot of problems since cultural landscapes are not as adaptable as natural ones, and they need constant supervision and adjustment. This paper deals with problems associated with the improvement of irrigation and with drainage systems of a new type that assure their ecological adaptation under various natural conditions.

Introduction

Most agricultural lands in the Commonwealth of Independent States (CIS) are located within the arid zone. It is this geographic factor that primarily determines the size, quality, and stability of the yield.

While developing and carrying out irrigation procedures, it is important to remember that irrigation can be associated with the processes of soil secondary salinity and waterlogging. Irrigation and drainage frequently lead to the outwashing of plant nutrients, pesticide residues and their metabolites, and other materials into waterways and water reservoirs—resulting in water pollution. If protective measures are not carried out, then irrigation will result in flooding and underflooding, shallow water, increased evaporation, diminished water self-purification, slower water exchange, profuse algae growth, decreased sediment runoff, altered flood basin borders, and other adverse environmental impacts. Ecosystems of some rivers, lakes, and inland seas underwent considerable changes as a result of irrigation and drainage widely practiced in our country.

In the present studies, conducted in tandem with studies looking for ways to increase the yield per irrigated hectare, the problems associated with the processes of irrigation and drainage, as they affect the ecology, are of a special urgency.

Surface Irrigation Methods

Surface irrigation methods are used on 60 percent of the country's total irrigated acreage. Drawbacks of such irrigation include operators' high labor intensiveness and low labor productivity, soil texture destruction, and uneven moistening along irrigation furrows and strips.

Furrowing

Improved methods of surface irrigation involve longer irrigation furrows and longer and wider strips, permitting increased labor productivity, reduced labor-consuming operations, increased land use, and improved irrigation system efficiency. However, the lengthening of irrigation furrows leads to an uneven moistening and excessive water discharge at the head parts of irrigation units. To avoid this, a specific technology of furrowing is employed. The first third of the furrow is packed, while the middle third is left intact. The lower third is loosened and fissures up to 10-15 cm deep are made at its bottom, permitting an even spread of moisture with coefficient of moisture evenness 0.8-0.9 against 0.5-0.6 of the control (without this technique). A special furrower has been developed that ensures packing of the head part of the furrow and the loosening and fissuring of the rear part.

With the introduction of automated surface irrigation systems in arable farming, it became possible to irrigate with a smooth regulation of water discharge prior to moistening; smooth water discharge corresponds to its percolating into the soil.

The search for other ways to improve surface irrigation led to the idea of a pulsed (discretive) water conveyance to furrows. As a result of such irrigation, it is possible to raise the coefficient of the even moisture distribution up to 1 and the coefficient of efficiency up to 0.96-0.98. The field assessment of pulsed irrigation along furrows in the Soluluk District, Kirgizia, showed that improved evenness of moistening resulted in a 35 percent increase in sugar beet yield and a 20 to 30 percent savings in water use due to liquidation of water discharge.

Sprinkling

The use of sprinkling is increasing in our country and is covering greater acreage. While in 1962 about 2 percent of the total irrigated acreage was irrigated by the sprinkling method, by 1970 this method's share increased to 16.5 percent; by 1980 to 37 percent and at present to more than 40 percent.

Sprinkler irrigation allows us to regulate irrigation in the range of 50 to 900 cubic m/ha; to prevent deep infiltration; to use irrigation water more effectively; and to rule out rises in the water table, boggy, salinity of irrigated lands, and so forth. Drawbacks of sprinkler irrigation include superficial moistening that impedes water accumulative and washing irrigation and also vegetative irrigation on heavy soils. When



способа орошения возросла до 16,5%, в 1980 г. – до 37% и в настоящее время составляет более 40%.

Дождевание позволяет маневрировать поливными нормами от 50 до 900 м³/га, предотвратить глубинную фильтрацию, эффективно использовать поливную воду, исключить подъем уровня грунтовых вод, заболачивание и засоление орошаемых земель и др. К недостаткам дождевания относят небольшую глубину промачивания, которая затрудняет проведение влагозарядковых и промывных поливов, а также вегетационных поливов на тяжелых почвах. При несоответствии скорости поглощения воды почвой и интенсивности дождя на возвышенных местах образуются недоувлажненные участки, а в западинах - переувлажненные.

Расширяется применение широкозахватных дождевальных машин. Модификация существующих и разработка новых (высокопроизводительных, с высокой степенью автоматизации управления) широкозахватных низконапорных машин фронтального перемещения с забором воды из открытых и закрытых оросителей позволяют отказаться от применения дефицитных стальных труб при строительстве оросительных систем, снизить энергоемкость. Такими машинами проводят полив морозящим ветроустойчивым дождем высокой агробиологической ценности, равномерно распределяемым по всей орошаемой площади. Может быть обеспечено более полное рассредоточение поливного тока за счет снижения интенсивности дождя и увеличения числа одновременно работающих дождевателей.

Перспективно синхронно-импульсное дождевание (интенсивность дождя 0,01-0,02 мм/мин), с помощью которого можно орошать любые по водопроницаемости почвы при значительных уклонах поверхности практически без образования стока. Снабжение растений водой происходит непрерывно в соответствии с их потребностями на протяжении всего вегетационного периода, влажность активного слоя почвы и приземного слоя воздуха поддерживается без резких колебаний, неизбежных при обычных периодических поливах. Экономия воды составляет около 20% по сравнению с обычным дождеванием.

Производственные исследования синхронно-импульсного дождевания, проведенные в различных странах СНГ (Россия, Казахстан, Азербайджан, Таджикистан) показали высокую эффективность этого способа полива. Урожай сахарной свеклы, люцерны, капусты, чая и других культур были на 50% выше в сравнении с обычным дождеванием.

Другой перспективный способ орошения - мелкодисперсное (аэрозольное) дождевание, при котором мельчайшие капли воды (100-300 мкм, что соответствует размеру капель водяного тумана) равномерно распределяются на поверхности листьев. Мелкодисперсное дождевание может успешно использоваться для снятия депрессии фотосинтеза растений из-за перегрева листовой поверхности, что существенно увеличивает урожай сельскохозяйственных культур. Этот способ применяют для защиты культур от заморозков и вымерзания озимых, для борьбы с суховеями, вредителями, болезнями и сорняками посевов, для некорневого питания растений.

Производственная проверка мелкодисперсного дождевания в различных районах показала, что оно в сравнении с обычным орошением обеспечивает повышение урожайности сельскохозяйственных культур и экономию оросительной воды в 2-10 раз и более.

К разновидности мелкодисперсного дождевания относится подкрановое дождевание плодовых и ягодных культур. Система подкранового дождевания состоит из оснащенных микрораспылителями полиэтиленовых труб малого диаметра, укладываемых вдоль рядов плодовых и ягодных насаждений. При таком поливе влажность воздуха повышается на 4-6%, а его температура снижается на 0,5-1^oC. Подкрановое орошение проводят импульсами, продолжительность поливов и промежутков между ними зависит от метеорологических условий и интенсивности водопотребления. Подкрановое дождевание обеспечивает экономию оросительной воды в 2-2,5 раза в сравнении с орошением среднеструйными дождевальными насадками.

Широкое применение в перспективе может получить подпочвенное орошение многолетних плодовых и ягодных насаждений, овощных и некоторых других культур. При подпочвенном орошении удельный расход воды на единицу сельскохозяйственной продукции в 1,5-2 раза меньше, чем при традиционных способах полива. Опытные-производственные исследования подпочвенного орошения в различных районах страны показывают его высокую эффективность (табл.1).

Эффективным было подпочвенное орошение и на опытно-производственных участках в Таджикистане и Узбекистане при поливах хлопчатника. Прибавка урожая хлопчатника составила 8-10% при экономии воды 60%. На Гиссарском опытном участке за ряд лет при подпочвенном орошении получена прибавка



water absorption and sprinkling rates do not match, a soil moisture deficit occurs in elevated areas and overmoistening occurs in the depressions.

Long-range sprinklers are widely used. Modification of available machines and development of new, wide-coverage, low-pressure, forward-running sprinkling machines with water intake from open and close feeders (high-capacity and highly automated) permit decreased use of deficit steel pipes used to construct irrigation systems, and thus to decreased power consumption. Such machines carry out irrigation with wind-resistant drizzles of a high agrobiological value, evenly distributed over the entire irrigated area. A full dispersal of the irrigation flow can be ensured as a result of decreased sprinkling intensity and an increase in the number of simultaneously operating sprinklers.

In perspective, simultaneously pulsed sprinkling (an intensive rate of droplets within a range of 0.01 to 0.02 mm/min) can help irrigate soils that differ in water permeability with considerable surface gradients, practically without flow formation. Plants are given water continuously, in accordance with their demands during the entire vegetation period, while moisture of the active soil layer and humidity of the air adjacent to the earth surface are maintained without the sharp fluctuations that are unavoidable in common, conventional irrigation. Compared to habitual sprinkling, about 20 percent more water is saved.

Assessments of simultaneously pulsed sprinklings, conducted in the field in various locations throughout the CIS (Russia, Kazakhstan, Azerbaijan, Moldova, Tajikistan), showed this method of irrigation to be highly efficient. Yields of sugar beet, alfalfa, cabbage, tea, and other crops were 50 percent higher than those resulting from common sprinkling.

Another promising irrigation method is fine droplet dispersal (aerosol) sprinkling in which the finest water droplets (100 to 300 μ m, which corresponds to the size of mist droplets) are evenly spread over the surface of leaves. Fine droplet dispersal sprinkling can be successfully employed to remedy diminished plant photosynthesis caused by leaf surface overheating; this leads to an increase in crop yields. This method is applied to protect crops from frosts and winter crop freezing; to control for dry winds, pests, diseases, and weeds; and to perform plant top-dressing.

Field assessment of fine droplet dispersal sprinkling conducted in various CIS locations showed that, compared to conventional irrigation, this method ensures increased crop yield and a 2- to 10-fold savings of irrigation water.

Undertree sprinkling of fruits and berries is a variant of fine droplet dispersal (mist) sprinkling. The undertree sprinkling

system consists of small-diameter polyethylene pipes fit with microsprayers and laid along the rows of fruit and berry plantings. With such irrigation, air humidity rises by 4 to 6 percent, and its temperature drops by 0.5 to 1°C. Undertree waterings are an intermittent irrigation, with timing of irrigations and intervals between them dependent on weather conditions and an intensive level of water consumption. Undertree sprinkling ensures a 2- to 5-fold savings in irrigation water compared with irrigation carried out with sprinkler nozzles.

Subsurface irrigation

Subsurface irrigation of perennial fruit and berry plantings, vegetables, and other crops can be widely applied in the future. In subsurface irrigation specific allowances for water consumption per agricultural produce unit are 1.5 to 2 times less than with conventional irrigation methods. Assessments of subsurface irrigation conducted under laboratory and field conditions in various regions reveal its high efficiency (Table 1).

Subsurface irrigation was effective on cotton fields in Tajikistan and Uzbekistan. Cotton yield increased 8 to 10 percent, with a concurrent 60 percent savings in water. Yield increases of 24 to 44 percent resulted on the Guissar experimental fields, which had been irrigated for several years using the subsurface method. On the same fields, but with the daily subsurface irrigation method, the greatest cotton yield was 8.07 tons/ha (cotton variety: Tashkent 3). The average cotton yield on the experimental fields was 6.5 tons/ha, or two times higher than with superficial irrigation. Water consumption was 2 to 3 times less than with furrow irrigation. A high efficiency resulting from subsurface irrigation was attained on the experimental fields of the Ukraine and in the Non-Chernozem zone of the Russian Federation.

Good results are usually obtained in drip irrigation, which permits local moistening of the root zone and also enables producers to carry out irrigation corresponding to daily water consumption by plants. Theoretically, by using this method of irrigation, water savings could reach 60 percent, but in practice, it is 30 to 40 percent, with yield increases of 20 percent. Drip irrigation is used in the northern Caucasus, Moldova, Crimea, and Transcaucasus to irrigate orchards and vineyards under rugged topographic conditions.

The reserves for a more intensive use of water resources, the reduction in irrigation rates are found. For instance, in paddy rice growing with flooding—which is the principal technology—theoretically, the irrigation rate is from 15,000 to 25,000 cubic m/ha; however, for the entire country it actually reaches an average level of 30,000 cubic m/ha, with crop yields at around 4 tons/ha. Adopting modern



урожая 24-44%. На этом же участке при подпочвенном ежесуточном орошении максимальная урожайность хлопчатника сорта Ташкент 3 составила 8,07 т/га. Средняя урожайность на опытных участках была 6,5 т/га или в 2 раза больше, чем при поверхностных поливах, расход воды уменьшен в 2-3 раза по сравнению с бороздковым поливом. Высокий эффект подпочвенного орошения получен также на опытных участках Украины, в Нечерноземной зоне РФ.

Хорошие результаты обеспечивает капельное орошение, позволяющее локально увлажнять зону корневой системы, а также проводить поливы, соответствующие суточному водопотреблению растений. Теоретически при этом способе полива экономия воды может достигать 60%, практически она составляет 30-40%, прибавка урожая – 20%. Капельное орошение применяют на Северном Кавказе, в Молдове, Крыму и Закавказье для полива садов и виноградников в условиях сложного рельефа.

Выявлены резервы для более интенсивного использования водных ресурсов, сокращения оросительных норм. Так, при возделывании риса с затоплением (это основная технология) оросительная норма теоретически составляет 15 000-25 000 м³/га, фактически она в среднем по стране достигает 30 000 м³ при урожайности культуры около 4 т/га. Переход на новые технологии возделывания риса при периодических поливах с использованием новых сортов суходольного типа позволит в 5-8 раз сократить потребление водных ресурсов.

В последние годы возникла необходимость в пересмотре классической концепции нормирования орошения, которая, как известно, основана на



Фото 10-1. Оросительная установка на поле люцерны недалеко от Волгограда – около 40% сельскохозяйственных культур в России орошается этим методом. (Фото Тима МакКейба)

Photo 10-1. Like this sprinkler set on alfalfa near Volgograd, nearly 40% of Russian crops are irrigated by this method. (Tim McCabe photo)

принципе ликвидации дефицита водного баланса. Главные недостатки такого нормирования – ориентирование на год заданной расчетной обеспеченности и невозможность оптимизации норм с учетом ограничений на водные ресурсы.

Результаты исследований, положенные в основу новой концепции нормирования орошения, позволили выявить значительные резервы экономии оросительной воды. Задача состоит в создании соответствующих оросительных систем. Путем селекционной работы имеется возможность одновременно повышать потенциальный уровень продуктивности сортов. Например, если отечественные сорта хлопчатника имеют максимум урожайности в пределах 7,5-8 т/га, то израильские и американские – до 9 т/га. Доказано, что орошаемое земледелие может увеличить продуктивность вдвое, при этом 70% прибавки получают за счет мелиоративных мероприятий в процессе реконструкции оросительных систем.

Значительные колебания урожайности на одном и том же поле обусловлены неоднородностью фона: недостатками агротехники (например, неравномерностью посева), но главное – плохой планировкой (солевые пятна, недоувлажненность).

Равномерность мелиоративного фона может быть достигнута только при очень высоком техническом уровне орошения и дренирования. Например, капельное орошение хлопчатника обеспечивает отклонение от заданной нормы полива на поле с неровным рельефом лишь $\pm 5\%$. В результате – совершенно однородное и полноценное развитие хлопчатника.

Сложнее обстоит дело с наиболее распространенным способом полива – бороздковым. При таком поливе чем более изрезан рельеф, тем мельче должны быть участки: при уклонах более 0,01 – от 0,1 до 0,7 га, 0,005-0,01 – от 0,5 до 1,5 га; при уклонах 0,003-0,005 – от 1 до 4 га. Планировку под плоскость с нулевым уклоном поперек поля и с одинаковым уклоном вдоль направления полива нужно проводить с точностью $\pm 2-3$ см (табл. 2).

Сочетание высокоточной планировки с равномерным распределением воды может обеспечить однородность мелиоративного фона для возделываемых культур. Это требование заставляет пересмотреть схему размещения распределительных трубопроводов и порядок их работы. От схемы с довольно широко расставленными (от 400 до 1000 м) участковыми



Таблица 1. Эффективность подпочвенного орошения (Ростовская область)

Table 1. Efficiency of subsurface irrigation (Rostov region)

Культура Crop	Оросительная норма, м ³ /га Irrigation rate, m ³ /ha		Урожайность, т/га Yield, t/ha		Удельный расход воды, м ³ /т Specific water consumption, m ³ /ta	
	регулярное орошение Intermittent irrigation	подпочвенное орошение Subsurface irrigation	регулярное орошение Intermittent irrigation	подпочвенное орошение Subsurface irrigation	регулярное орошение Intermittent irrigation	подпочвенное орошение Subsurface irrigation
Озимая пшеница Winter wheat	2800	2000	3,2	6,1	8,8	3,3
Рис Paddy Rice	6500	4200	2,2	5,7	30,0	7,4
Картофель Potatoes	2100	1500	13,2	28,4	1,6	0,7

technologies to grow paddy rice, intermittently irrigated and using new upland type varieties, will permit a 5- to 8-fold reduction in water consumption.

Recent years have witnessed the need to review the classical concepts of irrigation rates, which were based on the principle of eliminating the water balance deficit. The main drawbacks of such rationing are the tendencies to orient to the year of set sufficiency and impossibility to optimize the rates with regard to restrictions for water resources.

These studies provide a basis for the concept of irrigation rationing. As a result of these studies, considerable reserves for irrigation water to be saved were found. The task is to create appropriate irrigation systems.

Plant breeding technology makes it possible to raise the level of varieties' potential yield capacity. For example, if domestic cotton varieties yield at their maximum, that is 7.5 to 8 tons/ha, then Israeli and American ones yield up to 9 tons/ha.

It is proved that arable farming under irrigation can result in a two-fold increase in the plant yield capacity, with 70 percent of the increase owing to reclamation measures taken in the process of reconstructing irrigation systems.

Considerable fluctuations in crop yield from the same area result from the lack of the background evenness and from drawbacks in agricultural practice (for instance, non-uniform germination), but mainly from poor land leveling (salt patches, insufficient moistening). Evenness of the reclamation

background can be achieved only where a very high level of irrigation and drainage engineering is available. For example, drip irrigation of cotton plants ensures a ± 5 percent deviation from the set irrigation rate in areas with broken relief. As a result, cotton production is absolutely uniform and fully valuable.

The situation is more complicated with the most common method, that is, furrow irrigation. With furrow irrigation, the more rugged the relief, the smaller the plots should be: with slopes over 0.01, the acreage of plots has to be from 0.1 to 0.7 ha; at 0.005-0.01, 0.5 to 1.5 ha; and with slopes of 0.003-0.005, from 1 to 4 ha. Land leveling, making lands flat with the zero slope across the field and with a similar slope along the irrigation direction, should be conducted with a precision of $\pm 2-3$ cm. (Table 2).

Highly precise land leveling combined with even water distribution can ensure a uniformity of the reclamation background useful for growing crops. This requires a review of the layout of distributive pipelines and of their operation. From an irrigation layout with sectional distributors spaced widely apart (from 400 to 1,000 m), it is necessary to switch over to an irrigation layout with more frequent (from 100 to 200 m) flumes, pipes, and channels but with less water consumption.

Analysis of the use of different drainage systems in areas of irrigated arable farming in the CIS showed that the open collector-drainage network did not meet the ecological requirements for controlling the water-salt regime of soils of



Таблица 2. Влияние качества поверхности поля на мелиоративное состояние земель и урожаи хлопчатника (по данным В.В. Хегаля)

Table 2. Effect of field surface quality on the reclamative state of lands and yields of cotton (according to V.V. Khegal).

Номер участка Plot Number	Отклонение фактической поверхности поля от плоскости, ± см Deviation in actual field surface from the plane, ± cm	Средняя глубина грунтовых вод за вегетацию, м Average groundwater table for a vegetation period, m	Изменение запасов солей в корнеобитаемом слое за вегетацию, т/га Changes in the amount of salts within plow layer during vegetation period, ±t/ha	Оросительная норма нетто, м³/га Irrigation rate, net volume, cubic m/ha	Густота растений, тыс/га Plant standing, thousands /ha	Урожайность, т/га Yield tons/ha
1	до 3 см	2,3	-22,8	3116	98,8	3,56
1	up to 3 cm	2.3	-22.8	3,116	98.8	3.56
2	до 5 см	2,2	-3,2	3797	85,7	2,57
2	up to 5 cm	2.2	-3.2	3,797	85.7	2.57
3	до 10 см	1,9	+4,5	4114	41,2	1,98
3	up to 10 cm	1.9	+4.5	4,114	41.2	1.98

распределителями необходимо перейти к схеме с более частыми (от 100 до 200 м) лотками, трубами, каналами, но с меньшими расходами воды.

Анализ применения различных дренажных систем в районах орошаемого земледелия страны показал, что открытая коллекторно-дренажная сеть не отвечает требованиям экологизации регулирования водно-солевого режима почв на больших площадях и должна быть заменена более совершенными дренажными системами. Однако наиболее крупные коллекторы открытого типа еще долго будут служить в качестве водоприемников. Поэтому необходимо совершенствовать комплекс мер по обеспечению надежности их работы (устойчивость откосов, чистота русла и т.д.).

Закрытый горизонтальный дренаж стали широко применять в конце 60-х годов с использованием гончарных и полиэтиленовых труб, укладываемых с помощью дреноукладчиков траншейного и бестраншейного типов. При этом использовали фильтры из различных материалов. В результате повысились темпы строительства дренажа, улучшилось его качество.

Накоплен положительный опыт применения комбинированного дренажа – горизонтальный дренаж в сочетании с вертикальными самоизливающимися

скважинами. Такой дренаж в определенных условиях может конкурировать с другими видами дренажных систем.

Вертикальный дренаж эффективен при наличии напорных вод, мощных покровных отложений, подстилаемых легкими грунтами. Он обладает большим преимуществом в сравнении с горизонтальным на орошаемых землях, массивы которых имеют пресные подземные воды, используемые для полива. Выявлены и недостатки вертикального дренажа, что ограничивает его применение. Так, в аридной зоне верхние слои подземных вод иногда имеют относительно небольшую минерализацию, а нижние – значительную (до 30-50 г/л). В этих условиях вертикальный дренаж будет отводить большие объемы соленых подземных вод, утилизация которых затруднительна.

Разработаны новые конструкции вакуумного дренажа, обладающие рядом преимуществ. Такие конструкции были апробированы в Туркмении и показали высокую эффективность. В Чарджоуском оазисе понадобилось 20 лет, чтобы с помощью открытых коллекторов и дренажей улучшить мелиоративную обстановку и повысить урожайность хлопчатника с 1,8 до 3 т/га. Использование вакуумного дренажа ускорило этот процесс в 2,5 раза. Опыты на Хаузханском массиве показали, что вакуумная система может отводить в 3-4



large areas and that it should be replaced by better drainage systems. However, the largest open-type collectors will continue to serve as water receivers for a long time. It is therefore necessary to improve a number of measures to ensure their reliability (slope resistance, cleanness of river beds, etc.).

Drainage

Closed horizontal drainage was widely employed at the end of the 1960's, with the use of tile and polyethylene pipes laid by drain-laying machines of both trench and trenchless types. Alongside it, filters of various materials were applied. As a result, drainage construction rates rose, and construction quality improved.

Positive results have been obtained from the use of combined drainage—that is, horizontal drainage combined with vertically flowing wells. Under certain conditions, such drainage can compete well with other types of drainage systems.

Vertical drainage is effective when there is pressurized water, heavy cover deposits underlaid with permeable deposits. This technique is better than horizontal drainage applied to irrigated lands, which largely have fresh groundwater used for irrigation. The drawbacks of vertical drainage, and how they limit its applications, are disclosed. For example, upper layers of subsoil water in the arid zone sometimes are slightly mineralized, while the lower layers are highly mineralized (up to 30-50 g/l). Under these conditions, vertical drainage will divert large volumes of salty subsoil waters that are difficult to use.

Vacuum drainage

New versions of vacuum drainage have been designed that have a number of advantages. Such versions were tested in Turkmenia and showed their high efficiency. In the Charion oasis it took 20 years to improve the reclamation situation and to raise cotton yields from 1.8 to 3 tons/ha with the help of open collectors and drains. The use of vacuum drainage accelerated this process 2.5-fold. Experiments conducted in the Houzkhan land area showed that the vacuum system can divert 3-4 times more drainage water than conventional closed horizontal drainage.

Horizontal drainage

The use of sand filters for horizontal drainage, as practiced abroad, was unjustifiably rejected in the CIS; these filters are remarkable for self-formation and freeing of dust-like and silt particles and for forming the prefilter zone. It has been established that synthetic materials should not be used for filters when the coefficient of land infiltration is less than 0.5 m/day and there are dustlike and silt particles in the soil. These materials decrease water-absorbing capacity by

10-20 percent, increase infiltration resistance 2-fold, and create a screening effect.

It is also shown that the definition of “deep” or “shallow” drainage is subjective. The depth of drainage should be defined according to the height of capillary rise of moisture, the reclamation regime, mineralization of soil waters, the possibility of establishing a washing regime, etc. For instance, in Khorezm, closed drainage only 1.3 m deep, at the height of capillary rise under 0.5 to 0.7 m, is constructed in soil horizons, and this drainage performs well.

The need to artificially drain vast land areas leads unavoidably to the occurrence of collector-drainage waters polluting water ecosystems. A lot of problems that arise in connection with artificial drainage require special attention; as both domestic and foreign experience shows, a complex approach to their solution is needed. First of all, it is necessary to reduce the volume of collector and drainage effluents at the expense of decreased irrigation rates and refuse resulting from the use of deep drainage. Research into ways to utilize polluted drainage effluents and to recycle treated waters to grow halophytes is important in this regard.

Transitioning to an optimum reclamative regime; improved drainage systems; a new irrigation technique, particularly drip and subsurface irrigation; and tiled channels will permit us to increase the irrigation effect and to reduce water intake and diversion. It has been shown that the best irrigation systems in the arid zone—with an efficiency of 0.78 to 0.82 gross volume of water discharge—is now under 9,000 to 10,000 cubic m/ha, the average for the arid zone. A gross volume of only 6,000 to 8,000 cubic m/ha is discharged to carry out drip irrigation on experimental plots.

Conclusion

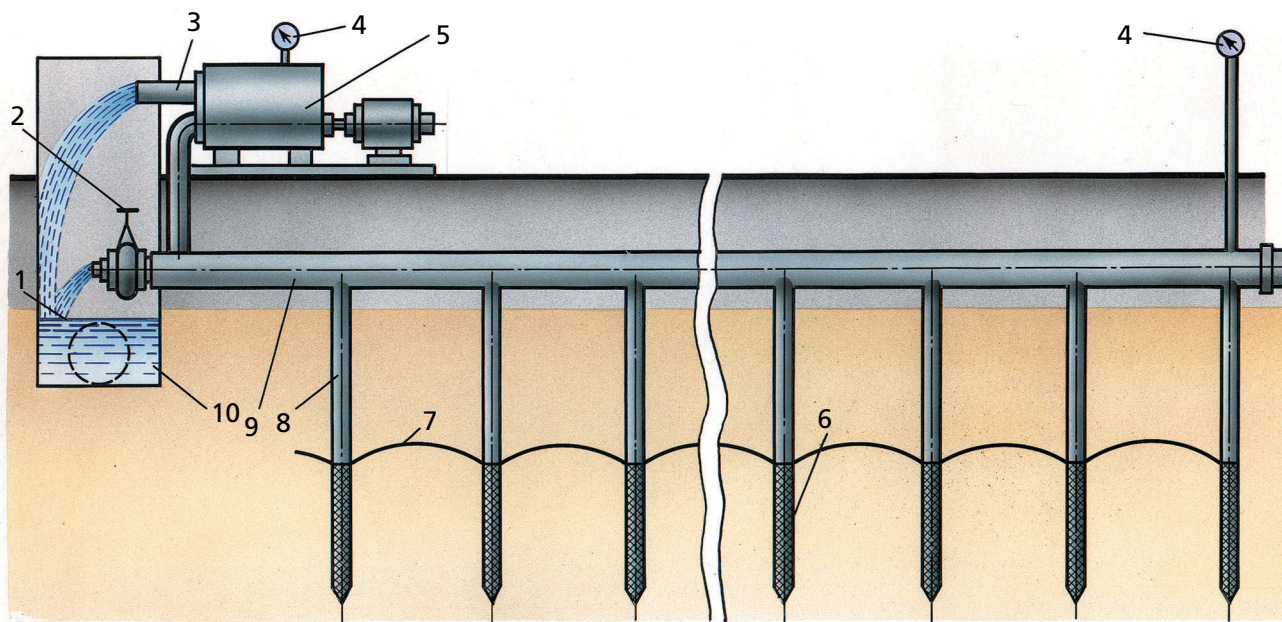
Experience in the field of irrigation and drainage gained domestically has shown that interfering with natural processes has brought about a great deal of unforeseen consequences and conflicts. Only through general planning and control of the use of the basin of natural resources (above all, of water and soils) is it possible to prevent an unfavorable situation in the future.

In the steppe and forest-steppe zone (northern Caucasus, the southern part of the Ukraine, the Volga region, Kazakhstan, the southern area of Siberia, etc.), reclamation operations should be directed at controlling droughts, dry winds, wind and water erosion, soil salinity, and alkalization. There should be optimum combination of irrigation and measures to prevent water and wind erosion, including planting field-protective shelterbelts, afforestation of gullies and ravines, etc. Irrigation should be carried out with the use of sprinkler machines.



Рис. 1 Вакуумная система вертикальных дрен:

Figure 1. Vacuum system of vertical drains:



1 уровень воды в коллекторах
water level in collectors

2 вентиль
valve

3 затвор
penstock

4 вакуум метер
vacuum meter

5 насос
pump

6 фильтр вертикальной дрены
vertical drain filter

7 уровень грунтовых вод
ground water table

8 вертикальные дрены
vertical drains

9 головная часть
header

10 коллектор воды
water collector

раза больше дренажных вод, чем обычный закрытый горизонтальный дренаж.

Вслед за зарубежной практикой в СНГ необоснованно стали отказываться от применения песчаных фильтров для горизонтального дренажа, которым свойственно самоформирование – освобождение от пылеватых и илистых частиц, образование прифилтровой зоны. Установлено, что синтетические фильтрующие материалы не следует применять при коэффициенте фильтрации грунта менее 0,5 м в сутки и при наличии в грунтах пылеватых и илистых частиц, а также в тех случаях, когда эти материалы уменьшают водоприемную способность на 10-20%, увеличивают фильтрационное сопротивление в 2 раза, создают

экранирующий эффект.

Показано также, что понятия “глубокий” и “мелкий” дренаж условны. Глубину дренажа нужно определять дифференцированно в зависимости от высоты капиллярного поднятия влаги, мелиоративного режима, минерализации грунтовых вод, возможности установления промывного режима и т.д. В Хорезме, например, построен в слоистых грунтах закрытый дренаж глубиной лишь 1,3 м при высоте капиллярного поднятия, не превышающей 0,5-0,7 м, и этот дренаж хорошо работает.

Необходимость искусственного дренирования больших массивов земель неизбежно ведет к



In the zone of deserts and semi-deserts (Central Asia, southern Kazakhstan, Transcaucasus, etc.), where irrigated arable farming is the basis for agricultural production, the main task remains to economize water resources. To fulfill it, the following measures become necessary: reconstruction of irrigation systems; the secondary use of water; optimization of water distribution; the application of nonconventional (for this zone) systems of irrigation—including pulsed and aerosol, subsurface, and drip irrigation; prevention of soil salinity; and reduction in volume of polluted drainage effluents discharged into rivers. Irrigated lands should be expanded only at the expense of saved water resources and the intra-basin redistribution of river flow, the use of subsurface water of artesian basins and, to a certain extent, of softened drainage and discharge waters.

The establishment of new-generation reclamation systems that could serve as the basis for highly productive and ecologically clean agricultural production is a promising direction in research studies and developments. This direction presupposes the development of theory and principles of ecological adaptation and the steady functioning of reclamative systems in the environment of various regions of the CIS. It also presupposed the establishment of a methodology for comprehensively managing the development of agricultural landscapes, including simulation and optimized disposition of sown areas on reclaimed lands (the establishment of specialized belts and agricultural production zones).

References

1. Aidarov, I.P. Control of water-salt and nutrient regimes of irrigated lands. Moscow. Agropromizdat. 1985. 304 p.
2. Altunin, V.S. and T.M. Belavtsev. Instruments and installations in hydrological land improvement. Moscow. Agropromizdat. 1989. 304 p.
3. Borodychev, V.V. Aerosol irrigation of farm crops. Moscow. Rosagropromizdat. 1989. 72 p.
4. Kazakov, V.S. Trenchless drainage. Moscow. Rosselkhozizdat. 1986, 67 p.
5. Oleinik, A.Ya. Drainage systems in the irrigation zone. Kiev. Urozhai. 1987. 192 p.
6. Ostapchik, V.P. and V.A. Kostromin. Information-consultation systems to manage irrigation. Kiev. Urozhai. 1989. 248 p.
7. Shtepa, B.G. Mechanization of irrigation. Moscow. Agropromizdat. 1990. 336 p.



образованию коллекторно-дренажных вод, загрязняющих водные экосистемы. Множество проблем, которые при этом возникают, требуют особого внимания и, как показывает отечественный и мировой опыт, комплексного подхода к их решению. Прежде всего нужно сокращать объемы коллекторно-дренажного стока за счет снижения оросительных норм и отказа от применения глубокого дренажа. Важное направление здесь – поиск путей утилизации загрязненного дренажного стока и повторного использования очищенных вод, в том числе для возделывания галофитов.

Переход на оптимальные мелиоративные режимы, совершенные типы дренажа, новую технику полива, особенно капельную и внутрипочвенную, а также облицовка каналов позволяют повысить эффективность орошения, уменьшить забор и отвод воды. Показательно, что лучшие оросительные системы в аридной зоне при КПД 0,78-0,82 уже сейчас расходуют менее 9-10 тыс. м³/га брутто по сравнению с 13,8-14 тыс. м³/га в среднем по аридной зоне. На экспериментальных участках с применением капельного орошения расходуется лишь 6-8 тыс. м³/га брутто.

Анализ опыта развития орошения и дренажа в нашей стране показал, что вмешательство в природные процессы вызывает множество непредвиденных последствий и конфликтов. Только при едином планировании и управлении использованием природных ресурсов бассейна (прежде всего воды и земли) можно предотвратить негативные ситуации в будущем.

В зоне степи и лесостепи (Северный Кавказ, Юг Украины, Поволжье, Казахстан, Юг Сибири и др.) мелиоративные работы должны быть направлены на борьбу с засухой, суховеями, ветровой и водной эрозией, засолением и осолонцеванием почв. Необходимо оптимальное сочетание орошения с мероприятиями по предотвращению водной и ветровой эрозии, включая посадку полезачитных лесных полос, облесение овражно-балочных земель и т.п. Орошение нужно проводить с использованием современной дождевальной техники.

В зоне пустынь и полупустынь (Средняя Азия, Южный Казахстан, Закавказье и др.), где орошаемое земледелие – основа сельскохозяйственного производства, главной задачей остается всемерная экономия водных ресурсов. Для ее решения необходимы: реконструкция оросительных систем, повторное использование вод, оптимизация водораспределения, применение нетрадиционных для зоны видов орошения (в том числе импульсного и аэрозольного, подпочвенного, капельного), предотвращение засоления почв,

сокращение сбросов загрязненного дренажного стока в реки. Расширение орошаемых земель должно вестись только за счет экономии водных ресурсов и внутрибассейновых перераспределений речного стока; использования подземных вод артезианских бассейнов и ограниченно – опресненных дренажных и сбросных вод.

Перспективное направление научных исследований и разработок – создание мелиоративных систем нового поколения, на основе которых можно будет поддерживать высокопродуктивное и экологически чистое сельскохозяйственное производство. Это направление предполагает разработку теории и принципов экологической адаптации и устойчивого функционирования мелиоративных систем в природной среде различных регионов страны; создание методологии комплексного управления развитием агроландшафтов, включая моделирование и оптимизацию структуры посевов на мелиорируемых землях (создание специализированных поясов и зон производства сельскохозяйственной продукции).

Литература

1. Айдаров И.П. Регулирование водно-солевого и питательного режимов орошаемых земель. М.: Агропромиздат, 1985. 304 с.
2. Алтуниин В.С., Белавцева Т.М. Приборы и устройства в гидромелиорации. М.: Агропромиздат, 1989, 304 с.
3. Бородычев В.В. Аэрозольное орошение сельскохозяйственных культур. М.: Росагропромиздат, 1989. 72 с.
4. Казаков В.С. Бестраншейный дренаж. М.: Россельхозиздат, 1986. 67 с.
5. Олейник А.Я. Дренажные системы в зоне орошения. Киев: Урожай, 1987. 192 с.
6. Остапчик В.П., Костромин В.А. Информационно-советующая система управления орошением. Киев: Урожай, 1989. 248 с.
7. Штепа Б. Г. Механизация полива. М.: Агропромиздат, 1990, 336 с.



The U.S. Department of Agriculture (USDA) prohibits discrimination in all its programs and activities on the basis of race, color, national origin, sex, religion, age, disability, political beliefs, sexual orientation, or marital or family status. (Not all prohibited bases apply to all programs.) Persons with disabilities who require alternative means for communication of program information (Braille, large print, audiotape, etc.) should contact USDA's TARGET Center at (202) 720-2600 (voice and TDD).

To file a complaint of discrimination, write USDA, Director, Office of Civil Rights, Room 326-W, Whitten Building, 1400 Independence Avenue, SW, Washington, D.C. 20250-9410 or call (202) 720-5964 (voice and TDD). USDA is an equal opportunity provider and employer.

Mention of commercial enterprises or brand names does not constitute endorsement or imply preference by the U.S. Department of Agriculture.