

**2019**

**Т. 11, № 3**

**МЕЖДИСЦИПЛИНАРНЫЙ НАУЧНЫЙ  
И ПРИКЛАДНОЙ ЖУРНАЛ**

---

//

# БИОСФЕРА

ISSN 2077-1371 / [www.21bs.ru](http://www.21bs.ru)



**ЗЕМЛЕДЕЛИЕ – ПРОШЛОЕ,  
НАСТОЯЩЕЕ, БУДУЩЕЕ**

**Б.Ф. Апарин, Е.Ю. Сухачева**  
*HUSBANDRY: ITS PAST, PRESENT  
AND FUTURE*

*B.F. Aparin, Ye.Yu. Sukhacheva*

---

**ТОРФЯНЫЕ БОЛОТА  
И ИХ БИОСФЕРНАЯ РОЛЬ**

**Л.И. Инишева, Е.В. Порохина,  
М.А. Сергеева, К.И. Кобак**  
*PEATLANDS AND THEIR ROLE  
IN THE BIOSPHERE*

*L.I. Inisheva, Ye.V. Porokhina,  
M.A. Sergeeva, K.I. Kobak*

---

**ОСОБЕННОСТИ ЕСТЕСТВЕННОГО  
ВОССТАНОВЛЕНИЯ ЛЕСНЫХ  
ЭКОСИСТЕМ НА БЫВШИХ  
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ  
ЗЕМЛЯХ**

**Е.В. Мошкина, М.В. Медведева,  
А.В. Туюнен, А.Ю. Карпечко,  
Н.В. Геникова, И.А. Дубровина,  
А.В. Мамай, В.А. Сидорова,  
О.В. Толстогузов, Л.М. Кулакова**  
*PATTERNS OF NATURAL FOREST  
ECOSYSTEM REGENERATION  
IN ABANDONED FARMLAND*

*Ye.V. Moshkina, M.V. Medvedeva,  
A.V. Tuyunen, A.Yu. Karpechko,  
N.V. Genikova, I.A. Dubrovina,  
A.V. Mamai, V.A. Sidorova,  
O.V. Tolstoguzov, L.M. Kulakova*

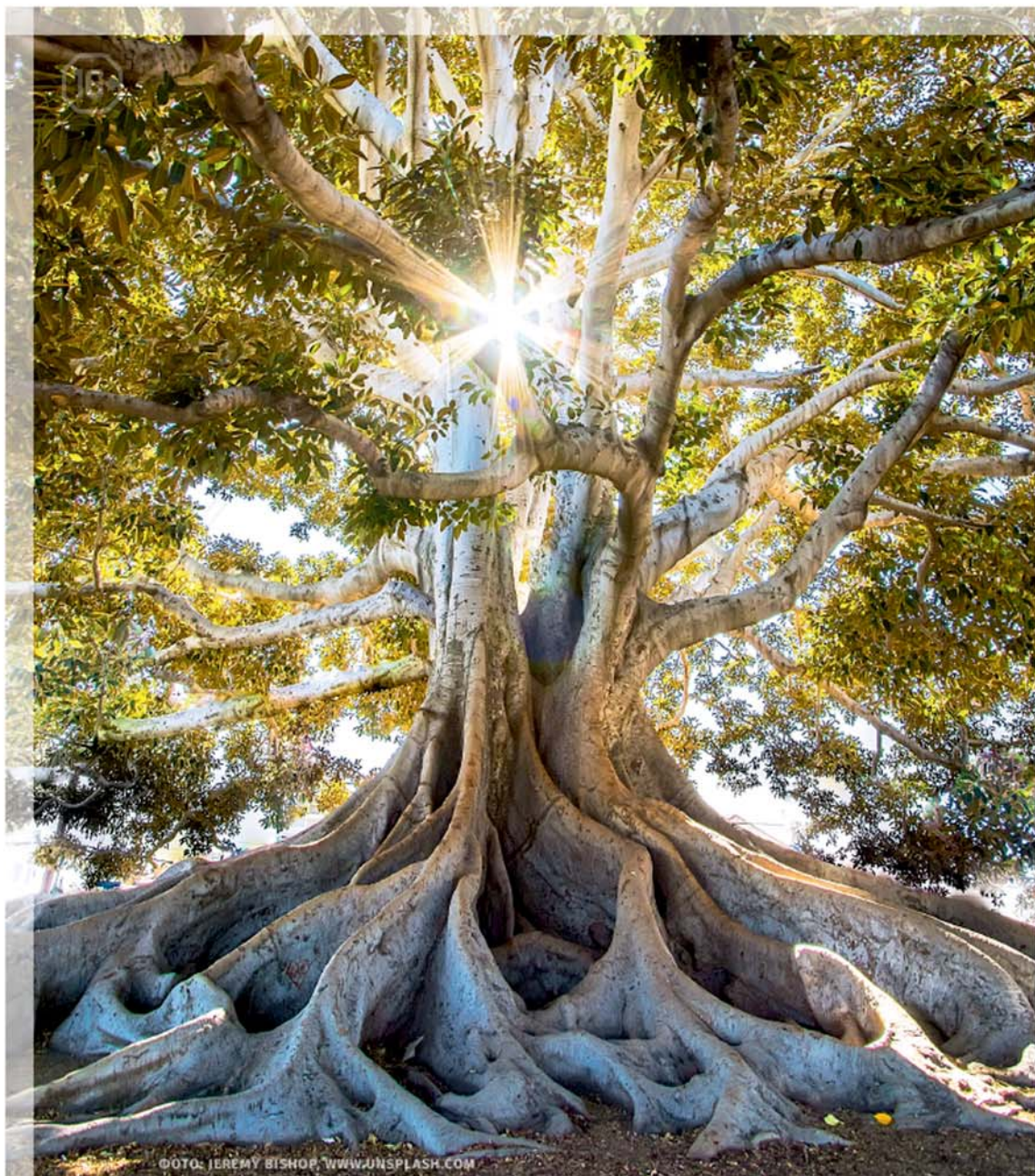


PHOTO: JEREMY BISHOP, WWW.UNSPLASH.COM



© ФОНД НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ «XXI ВЕК»  
РОССИЙСКАЯ ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ АКАДЕМИЯ

# БИОСФЕРА

МЕЖДИСЦИПЛИНАРНЫЙ НАУЧНЫЙ И ПРИКЛАДНОЙ ЖУРНАЛ  
ПО ПРОБЛЕМАМ ПОЗНАНИЯ И СОХРАНЕНИЯ БИОСФЕРЫ И ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЕЕ РЕСУРСОВ

**Том 11, № 3**

Санкт-Петербург  
2019



# BIOSPHERE

INTERDISCIPLINARY JOURNAL OF BASIC AND APPLIED SCIENCES DEDICATED  
TO COMPREHENSION AND PROTECTION OF THE BIOSPHERE AND TO USAGE OF RESOURCES THEREOF

**Vol. 11, No. 3**

Saint Petersburg  
2019

© «XXI CENTURY» RESEARCH FOUNDATION  
RUSSIAN ECOLOGICAL ACADEMY

## **РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ**

EDITORIAL BOARD

## **РОССИЙСКОЕ ПРЕДСТАВИТЕЛЬСТВО В РЕДАКЦИОННОЙ КОЛЛЕГИИ**

DOMESTIC EDITORIAL BOARD

## **МЕЖДУНАРОДНЫЙ РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ**

INTERNATIONAL  
ADVISORY BOARD



### **ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР:**

**Э.И. Слепян (С.-Петербург)**

EDITOR-IN-CHIEF

*E.I. Slepyan (Saint Petersburg)*

### **ЗАМЕСТИТЕЛЬ**

**ГЛАВНОГО РЕДАКТОРА:**

**А.Г. Голубев (С.-Петербург)**

DEPUTY EDITOR-IN-CHIEF

*A.G. Golubev (Saint Petersburg)*

### **СЕКРЕТАРЬ РЕДАКЦИИ:**

**И.М. Татарникова**

EDITORIAL SECRETARY:

*I.M. Tatarnikova*

### **ДИЗАЙН: Ю.С. Братишко**

DESIGN: *Y.S. Bratishko*

### **ВЕРСТКА: Т.А. Слащева**

LAYOUT: *T.A. Slascheva*

### **КОРРЕКТОР: Н.А. Натарова**

PROOFREADING: *N.A. Natarova*

### **АДМИН САЙТА:**

**И.В. Перескоков**

SITE ADMIN: *I.V. Pereskokov*

**В.Н. Большаков (Екатеринбург) V.N. Bolshakov (Ekaterinburg)**

**Л.Я. Боркин (С.-Петербург) L.Ja. Borkin (Saint Petersburg)**

**А.К. Бродский (С.-Петербург) A.K. Brodsky (Saint Petersburg)**

**Ю.С. Васильев (С.-Петербург) Yu.S. Vasilyev (Saint Petersburg)**

**Р.М. Вильфанд (Москва) R.M. Vilfand (Moscow)**

**Б.В. Гайдар (С.-Петербург) B.V. Gaidar (Saint Petersburg)**

**Э.М. Галимов (Москва) E.M. Galimov (Moscow)**

**В.А. Драгавцев (С.-Петербург) V.A. Dragavtsev (Saint Petersburg)**

**Г.В. Жижин (С.-Петербург) G.V. Zhizhin (Saint Petersburg)**

**Г.А. Ивахненко (С.-Петербург) G.A. Ivakhnenko (Saint Petersburg)**

**Г.А. Исаченко (С.-Петербург) G.A. Isachenko (Saint Petersburg)**

**Н.Н. Марфенин (Москва) N.N. Marfenin (Moscow)**

**Ю.К. Новожилов (С.-Петербург) Yu.K. Novozhilov (Saint Petersburg)**

**Г.В. Осипов (Москва) G.V. Osipov (Moscow)**

**В.А. Павлюшин (С.-Петербург) V.A. Pavliushin (Saint Petersburg)**

**К.М. Петров (С.-Петербург) K.M. Petrov (Saint Petersburg)**

**О.Н. Пугачев (С.-Петербург) O.N. Pugachev (Saint Petersburg)**

**Ю.А. Рахманин (Москва) Yu.A. Rakhmanin (Moscow)**

**А.А. Редько (С.-Петербург) A.A. Redko (Saint Petersburg)**

**Г.С. Розенберг (Тольятти) G.S. Rozenberg (Togliatti Russia)**

**А.В. Селиховкин (С.-Петербург) A.V. Selikhovkin (Saint Petersburg)**

**Г.А. Софронов (С.-Петербург) G.A. Sofronov (Saint Petersburg)**

**В.М. Тарбаева (С.-Петербург) V.M. Tarbayeva (Saint Petersburg)**

**И.А. Тихонович (С.-Петербург) I.A. Tikhonovich (Saint Petersburg)**

**М.Д. Уфимцева (С.-Петербург) M.D. Ufimtseva (Saint Petersburg)**

**Г.Н. Фельдштейн (С.-Петербург) G.N. Feldstein (Saint Petersburg)**

**Л.П. Чурилов (С.-Петербург) L.P. Churilov (Saint Petersburg)**

**М.Д. Голубовский (Окленд, США)**

*M.D. Golubovsky (Oakland, CA, USA)*

**М. Клявинш (Рига, Латвия)**

*M. Klavins (Riga, Latvia)*

**К. Оболевский**

**(Быгдоць, Польша)**

*K. Obolevsky (Bydgoszcz, Poland)*

**Я. Олексин (Курник, Польша)**

*J. Oleksyn (Kornik, Poland)*

**А.А. Протасов (Киев, Украина)**

*A.A. Protasov (Kiev, Ukraine)*

**В. Реген (Берлин, Германия)**

*W. Regen (Berlin, Germany)*

**Ю.Г. Тютюнник (Киев, Украина)**

*Yu.G. Tyutyunnik (Kiev, Ukraine)*

**О. Чертов**

**(Бинген-на-Рейне, Германия)**

*O. Chertov*

*(Bingen am Rhein, Germany)*

Журнал зарегистрирован  
Федеральной службой  
по надзору в сфере связи  
и массовых коммуникаций:  
ПИ № ФС77-32791

от 08 августа 2008 г.

Registered by RF Federal Service  
for Communication and Mass  
Media Surveillance on 08 August  
2008 as PI No FS77-32791

### **АДРЕС РЕДАКЦИИ:**

**197110, Санкт-Петербург,  
Большая Разночинная ул., д. 28;  
Тел./факс: (812) 415-41-61  
Эл. почта: biosphaera@21mm.ru  
Электронная версия:  
<http://21bs.ru> (ISSN 2077-1460)**

### **POSTAL ADDRESS:**

**28 Bolshaya Raznochinnaya, 197110,  
Saint Petersburg, Russia;  
Phone/fax: +7 (812) 415-41-61;  
E-mail: biosphaera@21mm.ru  
Online version:  
<http://21bs.ru> (ISSN 2077-1460)**

# СОДЕРЖАНИЕ

A3

**СОДЕРЖАНИЕ**  
CONTENTS

A4

ОТ РЕДАКЦИИ:  
**ПАРАДИГМА ПОЧВОВЕДЕНИЯ 21 ВЕКА**  
EDITORIAL NOTE:  
**PARADIGM OF SOIL SCIENCE IN THE 21ST CENTURY**

109

**ТЕОРИЯ / THEORY**  
**ЗЕМЛЕДЕЛИЕ – ПРОШЛОЕ, НАСТОЯЩЕЕ, БУДУЩЕЕ**  
**Б.Ф. Апарин, Е.Ю. Сухачева**  
*HUSBANDRY: ITS PAST, PRESENT AND FUTURE*  
*B.F. Aparin, Ye.Yu. Sukhacheva*

**ПРАКТИКА / PRACTICE**

120

**СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ДЕГРАДАЦИИ СУХОСТЕПНЫХ ПОЧВ ДОЛИНЫ МАНЫЧ**  
**Л.П. Ильина, К.С. Сушко**  
*CURRENT PROBLEMS OF DRY-STEPPE SOIL DEGRADATION IN MANYCH VALLEY*  
*L.P. Ilyina, K.S. Sushko*

**ПРИРОДА / NATURE**

128

**ТОРФЯНЫЕ БОЛОТА И ИХ БИОСФЕРНАЯ РОЛЬ**  
**Л.И. Инишева, Е.В. Порохина, М.А. Сергеева, К.И. Кобак**  
*PEATLANDS AND THEIR ROLE IN THE BIOSPHERE*  
*L.I. Inisheva, Ye.V. Porokhina, M.A. Sergeeva, K.I. Kobak*

134

**ОСОБЕННОСТИ ЕСТЕСТВЕННОГО ВОССТАНОВЛЕНИЯ ЛЕСНЫХ ЭКОСИСТЕМ НА БЫВШИХ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ЗЕМЛЯХ (НА ПРИМЕРЕ ЮЖНОГО АГРОКЛИМАТИЧЕСКОГО РАЙОНА КАРЕЛИИ)**  
**Е.В. Мошкина, М.В. Медведева, А.В. Туунен, А.Ю. Карпечко, Н.В. Геникова, И.А. Дубровина, А.В. Мамай, В.А. Сидорова, О.В. Толстогузов, Л.М. Кулакова**

*PATTERNS OF NATURAL FOREST ECOSYSTEM REGENERATION IN ABANDONED FARMLAND (THE CASE OF THE SOUTHERN AGRO-CLIMATIC DISTRICT OF KARELIA)*  
*Ye.V. Moshkina, M.V. Medvedeva, A.V. Tuunnen, A.Yu. Karpechko, N.V. Genikova, I.A. Dubrovina, A.V. Mamai, V.A. Sidorova, O.V. Tolstoguzov, L.M. Kulakova*

**ОБЩЕСТВО / SOCIETY**

146

**ПОПУЛЯРИЗАЦИЯ ПОЧВОВЕДЕНИЯ**  
**Е.Ю. Сухачева, Б.Ф. Апарин**  
*POPULARIZATION OF SOIL SCIENCE*  
*Ye.Yu. Sukhacheva, B.F. Aparin*

**КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ / SHORT COMMUNICATIONS**

156

**ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ АГРОЛАНДШАФТОВ РЯЗАНСКОЙ ОБЛАСТИ**  
**Ю.А. Мажайский, Т.М. Гусева**  
*ECOLOGICAL PROBLEMS OF AGRICULTURAL LANDSCAPES OF RYAZAN REGION*  
*Yu.A. Mazhaysky, T.M. Guseva*

**ПРИЛОЖЕНИЯ / APPENDICES**

A5

**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ**  
AUTHOR REFERENCES

Этот номер журнала «Биосфера» (№ 3, Т. 11, 2019 г.) составлен из статей, подготовленных участниками симпозиума, резолюция которого приведена ниже, по материалам их докладов.

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение  
«Центральный музей почвоведения им. В.В. Докучаева»  
Автономная некоммерческая организация  
«Фонд сохранения и развития научного наследия В.В. Докучаева»  
Общество почвоведов им. В.В. Докучаева

## РЕЗОЛЮЦИЯ МЕЖДУНАРОДНОГО СИМПОЗИУМА «ПАРАДИГМА ПОЧВОВЕДЕНИЯ 21 ВЕКА», посвященного 115-летию Центрального музея почвоведения им. В.В. Докучаева

Мероприятия, проводимые в юбилейные для научных учреждений даты, являются важными научными площадками для обсуждения и подведения итогов по наиболее злободневным вопросам науки. На международном симпозиуме «Парадигма почвоведения 21 века», прошедшем 18–20 ноября 2019 г. в Федеральном государственном бюджетном научном учреждении «Центральный музей почвоведения им. В.В. Докучаева», участвовало более 60 человек из различных регионов России (Москва, Санкт-Петербург, Петрозаводск, Томск, Якутск, Волгоград, Сыктывкар, Астрахань, Калининград, Рязань, Махачкала, Воронеж), а также Молдовы, Казахстана, Азербайджана. Научная программа состояла из 15 пленарных и 24 устных докладов.

Пленарное заседание 19 ноября открыл президент Общества почвоведов им. В.В. Докучаева, чл.-корр. РАН, декан факультета Почвоведения МГУ Сергей Алексеевич Шоба. С докладами выступили академик РАН В.И. Кирюшин, Москва; чл.-корр. РАН Л.И. Инишева, Томск; докт. геогр. наук С.В. Горячкин, Москва; докт. биол. наук Р.В. Десяткин, Якутск; и др. В рамках симпозиума были представлены сообщения по нескольким направлениям: успехи (и не только) почвоведения (листая страницы истории); пять современных проблем почвоведения; научные школы почвоведения на постсоветском пространстве.

За круглым столом «К парадигме почвоведения 21 века» были обсуждены вопросы дискуссионной сессии: состояние науки о почве; пять актуальных фундаментальных проблем почвоведения. В дискуссии приняли участие более сорока ученых, которые затронули наиболее остро стоящие вопросы для почвоведов России и всего мира.

На закрытии симпозиума по предложению участников и оргкомитета постановили:

1. Отметить, что Центральный музей почвоведения успешно выполняет заветы В.В. Докучаева, сохраняет научные традиции школы генетического почвоведения и является научным и культурно-просветительским центром. Выразить благодарность коллективу Музея за организацию и проведение Международного симпозиума.

2. Президенту Общества почвоведов обратиться в Министерство сельского хозяйства РФ с предложением об организации Службы охраны почв РФ и восстановлении в аграрных вузах страны кафедры почвоведения. Реорганизовать агрохимическую службу РФ в почвенно-агрохимическую.

3. Продолжить традицию проведения научных мероприятий, посвященных юбилейным датам Центрального музея почвоведения им. В.В. Докучаева, используя опыт проведения научных дискуссий по актуальным проблемам почвоведения между почвоведными, агрохимическими, земледельческими и специалистами смежных дисциплин.

4. Подвести итоги симпозиума и разместить информацию на сайтах: «почвовед.рф» и <http://soil-museum.ru/>

### Председатель оргкомитета:

Д. с-х. н., научный руководитель ФГБНУ ЦМП им. В.В. Докучаева, профессор кафедры почвоведения и экологии почв СПбГУ, вице-президент Общества почвоведов им. В.В. Докучаева

 Апарин Б.Ф.

### Секретарь оргкомитета:

Канд. биол. наук, ученый секретарь ФГБНУ ЦМП им. В.В. Докучаева

 Пятина Е.В.

# ЗЕМЛЕДЕЛИЕ — ПРОШЛОЕ, НАСТОЯЩЕЕ, БУДУЩЕЕ

**Б.Ф. Апарин<sup>\*1, 2</sup>, Е.Ю. Сухачева<sup>1, 2</sup>**

<sup>1</sup>Центральный музей почвоведения им. В.В. Докучаева и <sup>2</sup>Институт наук о Земле Санкт-Петербургского государственного университета, Санкт-Петербург, Россия

\* Эл. почта: [soilmuseum@bk.ru](mailto:soilmuseum@bk.ru)

Статья поступила в редакцию 06.12.2019; принята к печати 15.01.2020

История земледелия — это история кризисов, обусловленных обострением продовольственной проблемы. Все кризисы земледелия в значительной мере связаны с деградацией почв. На протяжении тысячелетий кризисы носили региональный характер и решались благодаря изобретению новых систем земледелия. В XX в. появились симптомы глобального кризиса интенсивных методов земледелия, обусловленных системной деградацией почв. Ее следствием стали замедление роста урожайности и ухудшение качества продукции растениеводства, несмотря на усиление «давления» на почвы. В статье рассмотрены виды и факторы агрогенной деградации почв, характерные для экстенсивных и интенсивных систем земледелия. Предложена почвосберегающая парадигма земледелия. Дана характеристика почвосберегающих систем земледелия и их элементов.

*Ключевые слова:* парадигма, деградация почв, почвосберегающая система земледелия.

## HUSBANDRY: ITS PAST, PRESENT AND FUTURE

**B.F. Aparin<sup>\*1, 2</sup>, Ye.Yu. Sukhacheva<sup>1, 2</sup>**

<sup>1</sup>V.V. Dokucheyev Central Museum of Soil Science and <sup>2</sup>Institute of Earth Sciences of Saint-Petersburg State University, Saint Petersburg, Russia

\* E-mail: [soilmuseum@bk.ru](mailto:soilmuseum@bk.ru)

The history of husbandry is the history of crises caused by aggravations of food problems. All such crises are largely associated with soil degradation. For thousands of years those crises were regional and were resolved due to inventing of newer husbandry systems. In the 20<sup>th</sup> century, there emerged symptoms of a global crisis of intensive husbandry caused by systemic soil degradation. This resulted in slowing down of crop yield increases and worsening of the quality of agricultural produce, which were apparent despite increasing inputs in soils. The present paper addresses the types and factors of soil degradation associated with agriculture as they relate to the extensive and intensive modes of husbandry. A soil-preserving paradigm of husbandry is proposed. Soil-sustaining husbandry and its constituents are characterized.

*Keywords:* paradigm, soil degradation, soil-sustaining husbandry.

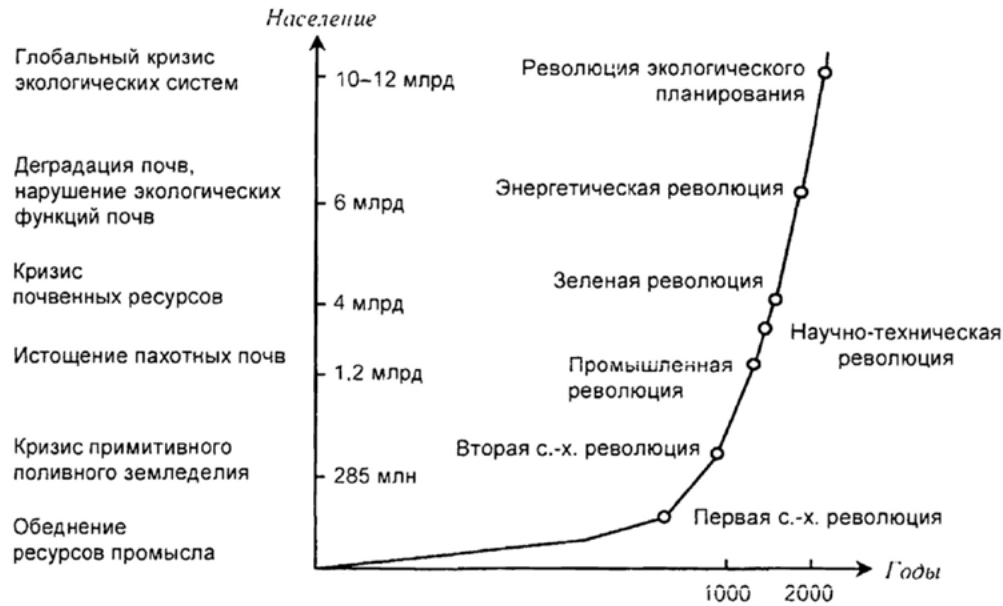
*«Почвы играют основополагающую роль для жизни на земле, однако антропогенные нагрузки на почвенные ресурсы подходят к критическому уровню. Рациональное использование почв является одним из неотъемлемых элементов устойчивого сельского хозяйства, а также представляет собой ценный инструмент регулирования климата и путь сохранения экосистемных услуг и биоразнообразия».*

Всемирная хартия почв, 2015 г. [1]

### Введение

Проблема устойчивого обеспечения продовольствием всегда была главной у человечества. При этом незаменимым источником получения продуктов пи-

тания было и остается земледелие. Вся история земледелия — это история кризисов, связанных с решением продовольственной проблемы, и выходов из них (революций) (рис. 1).



**Рис. 1.** История человечества: история продовольственных кризисов и революций (по Н.Ф. Реймерсу, адаптировано из [2])

На протяжении многих тысяч лет кризисы носили региональный характер. К наиболее крупным из них можно отнести кризисы земледелия античного времени (Междуречье, Центральная Америка), средневековья (Западная Европа), новейшей истории (Россия – XIX в., США – 30-е гг. XX в., Азия, Африка – 70–80-е гг. XX в.) [2, 3].

Первый продовольственный кризис возник уже в начале цивилизации и был вызван обеднением ресурсов промысла в местах концентрации населения. За ним последовала (VII в. до н. э.) первая сельскохозяйственная революция, связанная с развитием орошения и скотоводства. Но к началу новой эры засоление почв привело к кризису примитивного поливного земледелия. Приблизительно в X в. начался переход к неполивному земледелию. Это была вторая сельскохозяйственная революция.

На протяжении тысячелетий урожайность сельскохозяйственных культур определялась уровнем естественного производительного потенциала почв и характером агротехнических приемов по его активации и поддержанию. Однако прирост сельскохозяйственной продукции на обрабатываемых землях не поспевал за ростом в ее потребности у населения.

Поэтому проблема увеличения продовольствия решалась за счет освоения новых земель и создания новых систем земледелия. Однако исчерпание резерва продуктивных земель и истощение почв положило конец экстенсивному земледелию. «Великая распашка» земель в Западной Европе закончилась социально-экономическим кризисом и демографическим спадом. Промышленная революция, возникновение

новой науки о питании растений – агрохимии, применение минеральных удобрений, мелиорации, усовершенствование орудий обработки дали мощный импульс к развитию интенсивных методов в земледелии.

В разных странах переход от экстенсивного к интенсивному земледелию растянулся на многие десятилетия. В России кризис экстенсивного земледелия принял исключительно острую форму в последней четверти XIX в. Господство трехпольной системы земледелия, сплошная распашка земель в степной зоне и сопутствующая им деградации почв привели к катастрофическим последствиям. В.В. Докучаев впервые в истории мировой науки связал деградацию почв и неправильное землепользование с экологическим кризисом целой природной зоны (степной). Как отклик ученых на стихийные бедствия населения родилась новая наука – почвоведение. Докучаев разработал программу выхода из кризиса земледелия всей европейской территории России. В основу были положены зональный принцип земледелия, законы почвоведения, системный подход (в современном понимании) в организации землепользования, университетского и сельскохозяйственного образования и популяризации знаний.

Хотя советское правительство с начала 1920-х гг. взяло курс на реализацию в стране докучаевской программы, экстенсивный характер земледелия сохранился вплоть до 1950-х гг. Освоение целинных и залежных земель стало его последним аккордом.

Осуществление докучаевского («сталинского») плана преобразования природы явилось прологом интенсификации земледелия. В степной зоне были посаже-



ны тысячи километров почвозащитных лесных полос для борьбы с суховеями, построены сотни плотин на малых реках для регулирования стока поверхностных вод. Началось облесение оврагов. В 1960–1970-е гг. правительством была принята государственная программа интенсификации земледелия на основе мелиорации, химизации и специализации. В каждом регионе были разработаны и внедрены зональные системы земледелия. Принципиально важной составляющей программы стала государственная система повышения почвенного плодородия (водная, химическая мелиорация, химические и органические удобрения). Благодаря реализации программы в России были заложены основы устойчивого развития сельского хозяйства.

В 1990-е гг. жесткая централизованная система управления экономикой сменилась рыночным механизмом. Изменению социально-экономических условий в стране сопутствовали коренные перемены в землепользовании. В страну вернулись «дедовские» способы возделывания земли, которые наряду с интенсивными системами земледелия образовали пеструю, мозаичную палитру современного земледелия в России.

Несмотря на общие корни, причины кризисов в земледелии и способы их решения всегда имеют региональные особенности, обусловленные природными условиями, уровнем социально-экономического развития, традициями рыночной конъюнктуры и пр.

Так кризис земледелия 30-х гг. прошлого столетия в США был порожден катастрофической ветровой эрозией пахотных почв на огромных площадях в ре-

зультате возделывания монокультуры из-за большого спроса на пшеницу. Для выхода из кризиса государством был предложен комплекс мер, в том числе законодательные и нормативные акты, предупреждающие деградацию почв. Они включали методы регулирования, стимулирования, принуждения и контроля. Была создана государственная служба «Охрана почв».

В XX в. в результате увеличения численности населения проблема обеспечения продовольственной безопасности перерастает региональные рамки и становится глобальной. Объясняется это двумя причинами. Первой причиной является неуклонное сокращение пахотной площади на душу населения (рис. 2).

На земле пахотно-пригодные почвы занимают только 22% суши. На сельскохозяйственные непродуктивные земли приходится 33% суши (рис. 3). Доля природно-непригодных для земледелия территорий составляет 19%. В настоящее время на земле обрабатывается около 1,4 млрд га (11% суши).

Доля антропогенно-нарушенных земель составляет 15% суши, то есть больше, чем используется в земледелии. Темпы потерь продуктивных земель неуклонно возрастают (рис. 4).

За последние 50 лет скорость потерь увеличилась в 30 раз по сравнению со средней скоростью потерь за весь период цивилизации.

Ежегодно теряется около 6 млн га пахотных земель. Резерв продуктивных земель для восполнения потерь в большинстве стран практически исчерпан. Освоение непродуктивных земель, с одной стороны, требует колоссальных затрат, а с другой – может привести к обострению экологических кризисов.

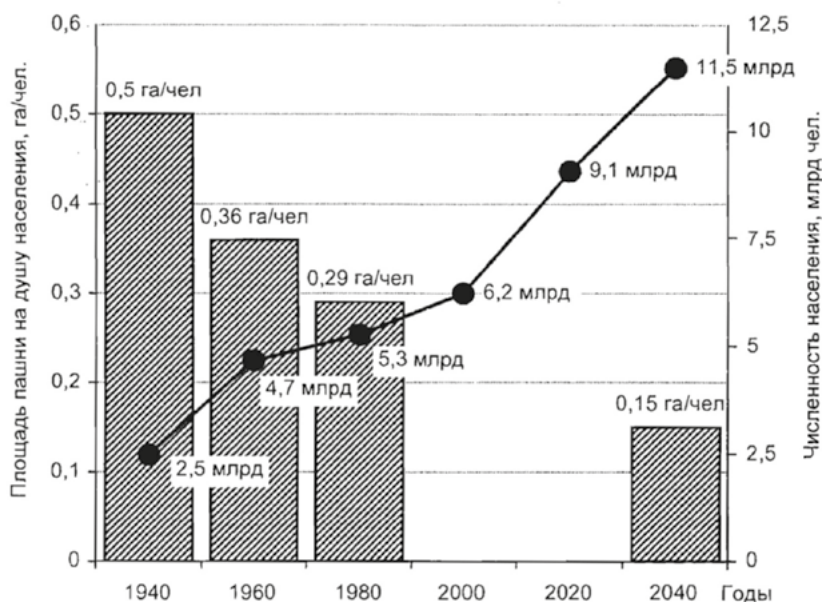


Рис. 2. Снижение площади пахотных земель на душу населения (по [2])



Рис. 3. Земельный фонд планеты (по [2])



Рис. 4. Потеря продуктивных почв мира за период существования цивилизации (по [2])

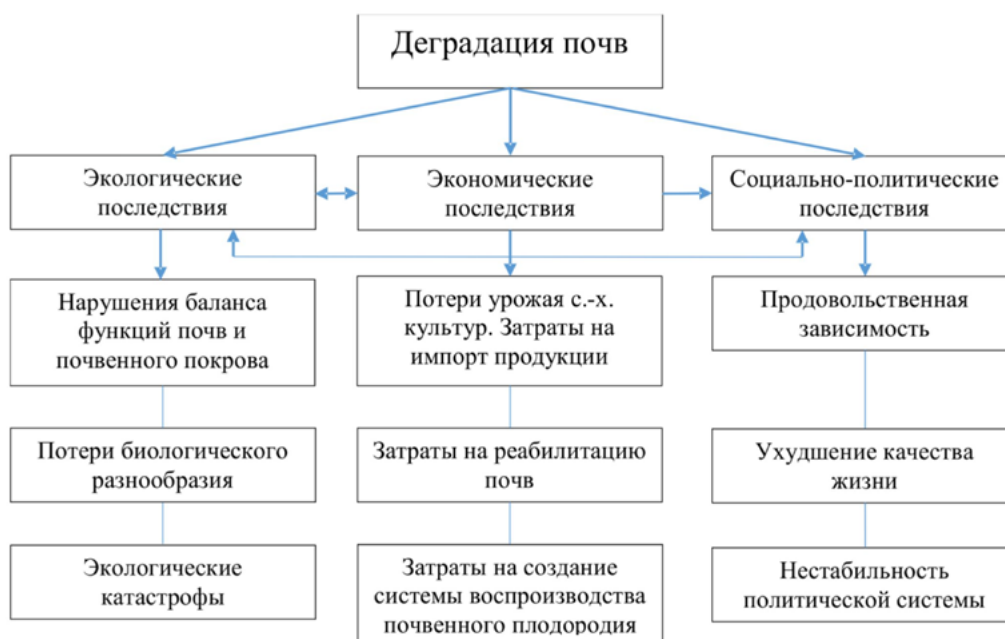


Рис. 5. Последствия деградации почв (по [2])

Помимо отчуждения пахотных угодий под растущие города и их инфраструктуру (дороги, продуктопроводы, промышленное строительство и пр.) значительная часть их ежегодно безвозвратно теряется в результате деградации почв (эрозия, загрязнение и др.).

Темпы и масштабы деградации почв мира вызвали обеспокоенность неправительственных международных организаций и привлекли внимание правительств многих стран мира. Деградация почв стала вторым препятствием на пути решения продовольственной проблемы. Деградация почв имеет разнообразные экологические, экономические и социально-экономические последствия (рис. 5) [2, 6].

Проблемы деградации почв мира впервые обсуждались в Риме (1974 г.) на 6-й Всемирной конференции по проблемам продовольствия, и было принято обращение к ФАО (Продовольственная и сельскохозяйственная организация Объединенных Наций) разработать Всемирную хартию почв как основу для международного сотрудничества в целях обеспечения наиболее рационального использования почвенных ресурсов мира. Декларация ФАО «Всемирная хартия почв» была принята в 1982 г. В 2015 г. была принята ее новая редакция [1].

Целью настоящей работы является анализ видов и факторов деградации почв разных систем земледелия и путей выхода из кризиса.

## ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Объектами исследования являются исторически сложившиеся СЗ и присущие им формы деградации почв. Для решения поставленной задачи применены сравнительно-исторический и сравнительно-географический методы и системный подход.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЯ

Выращивание культурных растений всегда сопровождается той или иной формой деградации почв. Корни проблемы деградации почв уходят в глубокую древность. Это объясняется, прежде всего, внутренней противоречивой природой земледелия. С тех пор как сельское хозяйство стало, по определению В.И. Вернадского, геологической силой, менялись только виды, масштабы и темпы агрогенной деградации почв. Дефицит продовольствия всегда был движущей силой развития систем земледелия. Стремление получить больше продукции сопровождалось усилением воздействия на почвы и ее деградации. Деградация почв «съедала» эффект от внедрения новых агротехнологий или ее элементов.

Агрогенная деградация почв – это такое изменение строения, состава, свойств, режимов почв сельскохозяйственных угодий в результате хозяйственной

деятельности, которое значительно нарушает естественные механизмы воспроизводства почвенного плодородия, снижает или приводит к полной потере агресурсного потенциала.

Виды деградации – это конкретные формы (физические, химические, физико-химические и биологические ее проявления), оказывающие существенное влияние на свойства и режимы почв, их природную и хозяйственную ценность. Выделяют следующие основные виды деградации: водная (плоскостной смыв почв, образование оврагов) и ветровая (дефляция) эрозия; потеря органического вещества (дегумификация); переуплотнение и утрата агрономически ценной структуры; вторичное засоление, осолонцевание, подкисление; истощение (обеднение элементами питания растений); загрязнение почв тяжелыми металлами, органическими соединениями, радионуклидами и другими поллютантами; опустынивание [4].

Обычно деградация почв происходит при комбинированном воздействии природных и антропогенных факторов. На многих территориях проявляются одновременно два и более видов деградации.

Формы, виды и степень деградации почв зависят от климатических условий, типа почв (ее свойств), рельефа, применяемой СЗ (табл. 1).

Табл. 1

Виды и факторы деградации почв

Системы земледелия	Виды деградации	Причины (факторы)
<b>Экстенсивные СЗ</b>		
Подсечно-огневая и переложная (рис. 6А, Б)	Потеря ОВ; истощение; уничтожение зооценоза	Сжигание; вынос химических элементов с урожаем
Паровая (рис. 6В)	Истощение; изменение педобиоценоза; дегумификация; разрушение структуры; все виды эрозии; переуплотнение подпахотного горизонта	Вынос химических элементов с урожаем зерновых; интенсивная обработка парового поля; незащищенная растительностью поверхность почвы; вспашка плугом с оборотом пласта; ускоренная минерализация ОВ; пересеченный рельеф
Плодосменная (рис. 6Г)	Истощение; дегумификация; потеря агрономически ценной структуры; вторичное засоление; переуплотнение срединных горизонтов; все виды эрозии	Вынос химических элементов культурами севооборота; интенсивная механическая обработка почвы; вспашка плугом с оборотом пласта; пропашные культуры; распашка склонов; избыточное орошение
<b>Интенсивные СЗ</b>		
Плодосменные модифицированные, монокультура	Нарушение баланса (соотношения) химических элементов в почве; переуплотнение; разрушение агрегатов; потеря биоразнообразия; загрязнение; все виды эрозии; разрушение минералов, содержащих биофильные химические элементы; разрушение органо-минеральной матрицы; стресс, репрессия и резистентность педомикробиоценоза	Высокие дозы минеральных удобрений; химические средства защиты растений; интенсивная обработка почв; тяжелая техника; использование трансгенных сортов; выращивание растений на биотопливе; нарушение севооборотов; вторичное подкисление; загрязнение



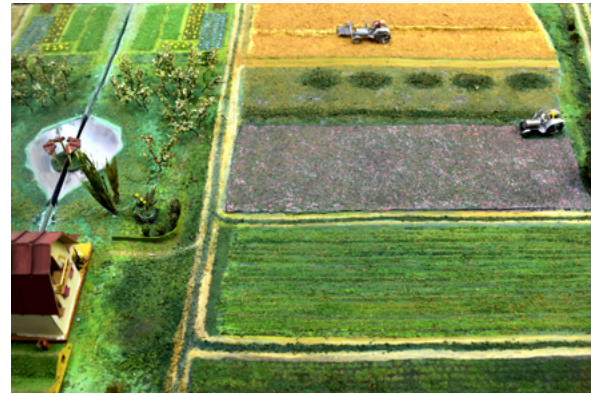
А. Подсечно-огневая



Б. Переложная



В. Паровая



Г. Плодосменная



Д. Контурная



Е. Противоэрозионная (Докучаевское земледелие)



Ж. Ландшафтно-адаптивная («Докучаевские бастионы»)



З. «No till» (Беспашотная)

**Рис. 6.** Макеты систем земледелия из экспозиции Центрального музея почвоведения им. В.В. Докучаева

На рис. 6 представлены макеты СЗ, выставленные на экспозиции Центрального музея почвоведения им. В.В. Докучаева.

С ростом технических возможностей механической обработки почв и применения высоких доз минеральных удобрений и средств защиты растений зависимость эффективности земледелия от почвы как воспроизводящей плодородие природной системы уменьшалось. Главным звеном в производственном процессе стало растение. На смену адаптации агротехнологий к природным условиям и почвам (приспосабливаем то, что мы делаем, к тому, где мы делаем) в интенсивных системах земледелия пришел новый подход – максимально адаптировать землю к потребностям культурных растений.

Почвам все больше стала отводиться роль субстрата – среды обитания культурных растений. Степень агрогенного давления на почвы неизмеримо возросла. Такой гипертрофировано-субстратный подход к почве привел к широкомасштабной деградации почв и ее разбалансированности как самоуправляемой природной системы. Признаком нового кризиса земледелия стало замедление роста урожайности и ухудшение качества продукции. Надежды, возлагаемые на «Зеленые революции» как решение продовольственной проблемы, стали таять. Появились признаки

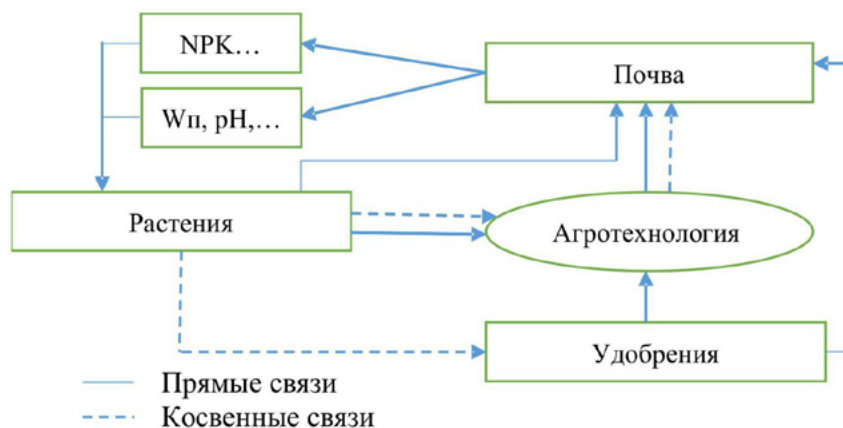
необратимой системной деградации почв. К ним относятся: вторичное засоление, подкисление, эрозия почв, резистенция почвенного микробиома, разрушение органо-минеральной матрицы и минералов, содержащих биогенные химические элементы.

Фаза кризиса интенсивного земледелия проявляется в замедлении роста урожайности, ухудшении качества продукции, возрастании разрыва между потребностью в продукции растениеводства и ее производством, снижении устойчивости земледелия и увеличении зависимости от внесения химических удобрений, пестицидов, колебания погодных условий.

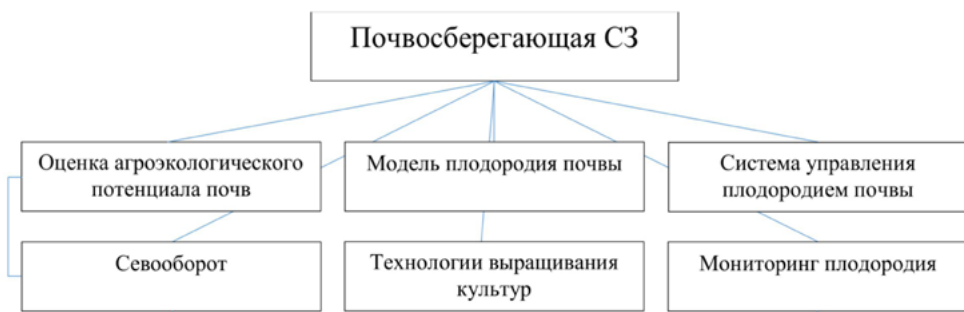
Пришло понимание тупиковой ситуации в земледелии, ориентированном на максимальное удовлетворение потребностей культурных растений и получение максимального урожая в ущерб почвам. Стали развиваться альтернативные системы земледелия: органическое, контурное (рис. 6Д), противозерозионное (рис. 6Е), почвозащитное (рис. 6Ж), no-till (рис. 6З).

Назрела необходимость смены парадигмы земледелия, смещения акцента в агропроизводственном процессе с культурного растения на почву (рис. 7) к переходу на почвосберегающую систему земледелия (ПС СЗ).

На рис. 8 показаны основные элементы почвосберегающих систем земледелия.



**Рис. 7.** Взаимодействие в системе почва-растение-удобрение в ПС СЗ.  
 NPK – элементы питания растений; Wп – продуктивная влага; pH – показатель кислотности среды



**Рис. 8.** Элементы почвосберегающих систем земледелия

Переход на почвосберегающую систему земледелия предусматривает обязательное ограничение степени воздействия на почву. Система строится на основе достижения баланса емкости параметров потенциального и культурного плодородия и величины планируемого урожая. Для этого разрабатывается модель высокоплодородной почвы и системы управляющих воздействий для достижения ее параметров [5]. В основе модели положены теоретические представления о связи потенциального и эффективного плодородия.

Потенциальное плодородие почвы – величина переменная. Она характеризуется запасами элементов питания и типоморфными характеристиками почвы (кислотность-щелочность, емкость поглощения, содержание и состав гумуса и др.). Между уровнем потенциального плодородия и генетическим типом почв существует тесная функциональная связь [5].

Постоянно находясь в состоянии изменения и развития, оно последовательно проходит различные стадии, или фазы (1).

$$S_n = [(S_n)_1 \cdot (S_n)_2, \dots, \cdot (S_n)_k]. \quad (1)$$

Если принять  $(S_n)_i$  за отдельные фазы (или стадии) плодородия, то под  $S_n$  можно понимать все последовательные изменения потенциального плодородия почвы на конкретном поле, например, от начала освоения севооборота (или начала мониторинга) до окончания ротации. Каждая последующая фаза плодородия  $(S_n)_i$  наследует основные признаки предшествующей фазы, но уже претерпевшей некоторые изменения за счет применения агротехнологий (механическая обработка, удобрения).

Потенциальное плодородие связано с наличием в почве необходимых растений, запасов вещества и энергии и механизмов их воспроизводства. Степень реализации потенциального плодородия почв, определяющая тот или иной уровень продуктивности фитоценоза, характеризует эффективное плодородие почвы.

Эффективное плодородие – это многопараметрический показатель, включающий как количественные, так и качественные характеристики. Они отражают особенности почвообразовательного процесса, его внутреннюю структуру и внешние связи.

Эффективное плодородие почвы в любой отдельной фазе  $(S_n)_i$  можно представить в виде следующего выражения (2):

$$(S_n)_i = \{P, F\}, \quad (2)$$

где  $P$  – множество количественных показателей свойств почвы, определенных взаимными функциональными соотношениями, а  $F$  – множество функциональных соотношений и зависимостей между различными показателями, а также между этими показателями и окружающей средой, с которой почва находится во взаимодействии.

Для понимания процессов формирования эффективного (культурного) плодородия почв необходимо изучение зависимостей между входными и выходными параметрами системы (рис. 9).

Входными параметрами системы  $(S_n)_i$  являются следующие параметрические характеристики: влага (осадков, приходящая с капиллярным подтоком из грунтовых вод), тепло, химические элементы, поступающие с водой, удобрениями, средствами защиты растений, корневыми выделениями растений, органическое вещество растительных остатков, трансформируемые агротехнологии.

Основными выходными параметрами системы  $(S_n)_i$  являются такие параметрические характеристики, которые определяют условия роста, развития и продуктивность культурных растений: пищевой, водный, тепловой, окислительно-восстановительный, кислотно-щелочной режимы (изменение содержания подвижных макро- и микроэлементов, продуктивных запасов и др.).

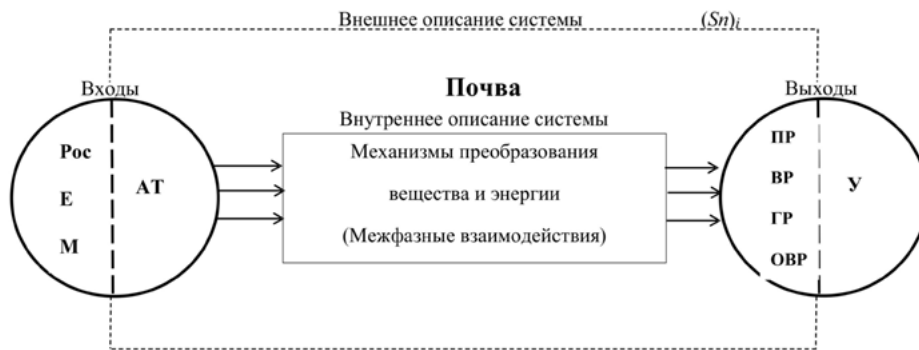
Внутреннее описание системы  $(S_n)_i$ . Поступающие на вход системы вещество и энергия являются дискретными величинами (осадки выпадают не ежедневно и т. д.). Между тем, потребность в факторах роста (продуктивная влага, доступные элементы питания) у растений сохраняется постоянно в течение всего цикла развития. Механизм преобразования входных сигналов в выходные в почве связан с межфазными взаимодействиями (вода, минералы, органическое вещество, микроорганизмы). Он включает процессы, непрерывно протекающие в корнеобитаемой зоне почв агроценоза: сорбция, десорбция, растворение, осаждение, миграция, поглощение, выделение и испарение в определенных кислотно-щелочных и окислительно-восстановительных условиях.

Предел допустимой нагрузки на почвы (механическая обработка, химические удобрения и средства защиты растений, орошение, насыщенность севооборота культурами и др.), обеспечивающей оптимальные условия роста и развития растений, закладывается в модели высокоплодородной почвы.

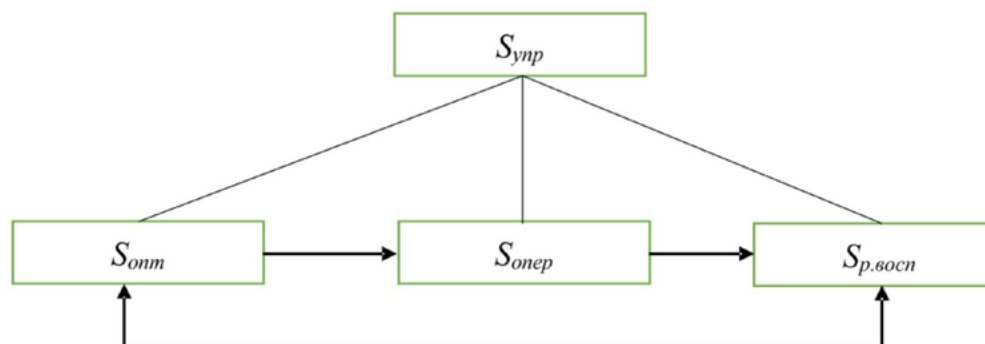
На основе параметров модели и данных по их мониторингу разрабатывается система управления эффективным плодородием (рис. 10).

На рис. 11. приведены основные типы почвосберегающих СЗ.

*Зонально-адаптированные СЗ.* Это системы производства сельскохозяйственной продукции, адаптированные к агроклиматическим условиям и структуре почвенного покрова. Элементы СЗ разрабатываются с учетом контрастности и сложности почвенного покрова (гранулометрический состав, водный, тепловой и пищевой режимы) и агрономической совместимости компонентов. При среднеконтрастной СПП полей севооборота целесообразно использование технологий точного земледелия.



**Рис. 9.** Формирование системы культурного плодородия почв в агроценозе: Рос – осадки; Е – энергия; М – вещество; АТ – агротехнологии; ПР – пищевой режим; ВР – водный режим; ГР – газовый режим; ОВР – окислительно-восстановительный режим; У – урожай



**Рис. 10.** Система управления почвенным плодородием:  $S_{опт}$  – система оптимизации плодородия;  $S_{опер}$  – система оперативного управления плодородием;  $S_{р.восп}$  – система расширенного воспроизводства плодородия



**Рис. 11.** Типы почвосберегающих систем земледелия

*Органические СЗ.* Это системы производства сельскохозяйственной продукции, основанные на использовании естественного потенциала почв, органических удобрений (растительные остатки, навоз, зеленое удобрение, органические отходы), природных руд в качестве минеральных удобрений и средства биологической защиты растений. Не допускается применение синтетически произведенных удобрений, пестицидов, регуляторов роста, синтетических добавок (антибиотики, гормоны роста для скота), методов

генной инженерии, сточных вод для удобрений. По существу, органическая СЗ – это та же система земледелия XIX в., реализуемая на новой технологической основе. Руководящим принципом органического земледелия является использование материалов и технологий, которые способствуют экологическому балансу природных систем.

*Мелиоративные СЗ.* Это системы производства сельхозпродукции на мелиорированных землях. К ним относятся осушенные почвы с органомогенными

(торфяными) и органо-минеральными горизонтами, а также регулярно орошаемые земли, польдеры и рисовые плантации.

**Реабилитационные СЗ.** Это системы производства сельхозпродукции на деградированных почвах. Элементы СЗ разрабатываются с учетом вида деградации почв и оценки их агроэкологического потенциала. Для использования почв, загрязненных тяжелыми металлами, радионуклидами, пестицидами, важное значение имеет оценка опасности потенциального загрязнения сельхозпродукции.

**Рекультивационные СЗ.** Это системы производства сельхозпродукции на рекультивированных землях. Элементы СЗ разрабатываются с учетом строения и свойств рекультивированных земель, оценки их агроэкологического потенциала и возможных ограничений для сельскохозяйственного использования.

**Противоэрозионные СЗ.** Это системы производства сельскохозяйственной продукции на почвах склоновых позиций с высокой потенциальной опасностью развития водной эрозии. Для них характерна контурная обработка почв полей, севооборотов.

**No-till (нулевая обработка почвы).** Это тип системы земледелия, базирующийся на нулевой обработке почв и сохранении максимального количества растительных остатков на поверхности почвы. На стадии внедрения No-till – это реабилитационная система восстановления естественного механизма плодородия почвы. Вмешательство в почвенные процессы, структуру биоценоза и его естественную среду обитания минимально. Борьба с сорняками осуществляется с использованием гербицидов, функция которых со временем переходит на севооборот с покровными (промежуточными) культурами.

Переход на ПС СЗ, как показывает опыт выхода из кризисных ситуаций земледелия, возможен при тесном сотрудничестве партнеров, выполняющих определенные функции (рис. 12).

*«Действия правительств...: включение принципов и практики устойчивого использования почв в политические директивы и законодательство на всех уровнях государственного управления, что в идеале приведет к разработке национальной политики сохранения почв».*

Всемирная хартия почв, 2015 г. [1]

Функции науки состоят в обеспечении разработки всех элементов системы земледелия (рис. 12); в обосновании законов и нормативов ПС СЗ; в оценке состояния и прогноза изменений агресурсного потенциала почв; разработке стратегии и тактики, обеспечении продовольственной безопасности как основы устойчивого развития государства; в разработке нормативов качества сельскохозяйственной продукции, рационального питания; формировании экологического научного мировоззрения; информировании общества о проблемах обеспечения продовольственной безопасности и путях их решения.

Функции государства заключаются в заказе на научное обеспечение ПС СЗ; моделирование, ограничение и принуждение производителей продукции земледелия с использованием научно-обоснованных механизмов регулирования, контроля состояния ресурсного потенциала почв сельскохозяйственных угодий; сельскохозяйственном экологическом образовании.

*«Все люди, использующие почву или организующие работу с ней, должны действовать в качестве хранителей почв для обеспечения устойчивого использования этого важнейшего природного ресурса ради его сохранения для будущих поколений»*

Всемирная хартия почв, 2015 г. [1]

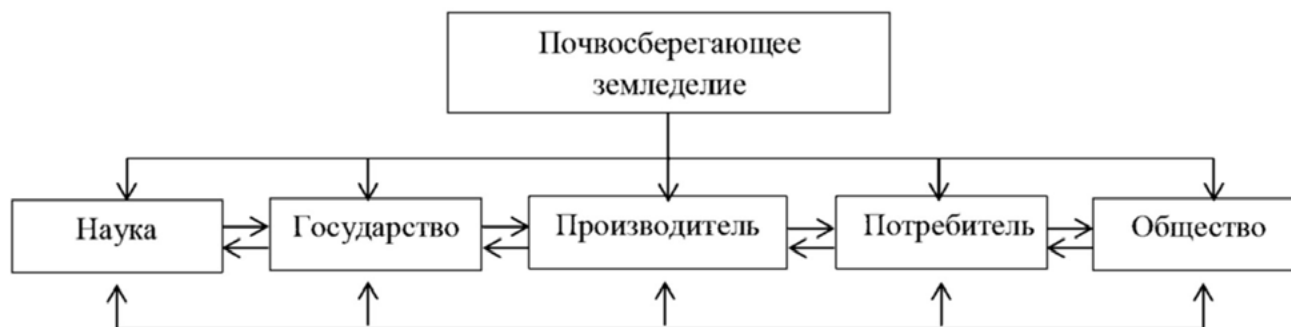


Рис. 12. Партнеры и взаимодействие в почвосберегающем земледелии



Производитель сельскохозяйственной продукции является главным звеном в системе земледелия. Его функция состоит в производстве общественно значимого продукта земледелия. Его ответственность состоит в соблюдении всех научно-обоснованных нормативов в выращивании сельскохозяйственных растений в количестве и с качеством в соответствии с запросами потребителей.

Общество в целом является регулятором партнерских взаимоотношений на основе стратегической концепции устойчивого развития страны, обеспечения продовольственной и экологической безопасности.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Прогрессирующая деградация почв сельхозугодий в мире может привести не только к дальнейшему обострению проблемы дефицита продовольствия, ухудшению качества продукции растениеводства, но и подорвать саму возможность их решения. Выходом из этого является смена парадигмы земледелия и переход на почвосберегающие агротехнологии.

В почвосберегающей системе земледелия предусматривается сохранение естественного механизма воспроизводства плодородия почвы – ее главной системной характеристики.

## Литература

### Список русскоязычной литературы

1. Пересмотренная Всемирная хартия почв. Продовольственная и сельскохозяйственная организация Объединенных Наций. Italy, 2015.
2. Апарин БФ. Проблемы оценки деградации почв мира. Вестник СПбГУ Сер. 3. 2006;(1):70-80.
3. Монтгомери ДР. Почва. Эрозия цивилизаций. Анкара: Субрегиональное отделение ФАО по Центральной Азии; 2015.
4. Научные основы предотвращения деградации почв (земель) сельскохозяйственных угодий России и формирование систем воспроизводства плодородия в адаптивно-ландшафтном земледелии. Ред. А.Л. Иванов. Почвенный ин-т им. В.В. Докучаева. Т. 1. 2013;756.
5. Апарин БФ. Эволюционные модели плодородия почв. Санкт-Петербург: Изд-во СПбГУ; 1997.

### Общий список литературы/Reference List

1. Revised World Soil Charter. Food and Agriculture Organization of the United Nations; 2015.

2. Aparin BF. [Problems in assessing the degradation of the world's soils]. Vestnik SPbGU Ser 3. 2006;(1):70-80. (In Russ.)
3. Montgomery DR. The Soil. Erosion of Civilizations. Ankara: FAO Subregional Office for Central Asia; 2015. (In Russ.)
4. Ivanov AL. (Ed.). Nauchnye Osnovy Predotvrascheniya Degradatsii Pochv (Zemel') Selskokhoziaystvennykh Ugodiy Rossii i Formirovaniye Sistem Vosproizvodstva Plodorodiya v Adaptivno-Landshaftnom Zemledelii Tom 1. [The Scientific Basis for Preventing the Degradation of Soils (Lands) of Agricultural Areas in Russia and the Formation of Fertility Reproduction Systems in Adaptive Landscape Farming Vol. 1]. Saint Petersburg: Muzei Pochvovedeniya im. V.V. Dokuchaeva; 2013. (In Russ.)
5. Aparin BF. Evolutionary soil fertility models. Saint Petersburg; SPbGU; 1997. (In Russ.)
6. Lal R, Horn R, Kosaki T. (eds.). Soil and Sustainable Development Goals. Stuttgart: Catena-Schweizerbart; 2018.

# СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ДЕГРАДАЦИИ СУХОСТЕПНЫХ ПОЧВ ДОЛИНЫ МАНЫЧ

**Л.П. Ильина<sup>1</sup>, К.С. Сушко<sup>1, 2</sup>**

<sup>1</sup> Южный научный центр РАН, Ростов-на-Дону, Россия;

<sup>2</sup> Южный федеральный университет, Ростов-на-Дону, Россия

Эл. почта: [iljina@ssc-ras.ru](mailto:iljina@ssc-ras.ru), [kirrkka@yandex.ru](mailto:kirrkka@yandex.ru)

Статья поступила в редакцию 10.12.2019; принята к печати 21.01.2020

На базе Научно-экспедиционного стационара «Маньч», ЮНЦ РАН в 2009–2018 гг. проведены исследования по проблеме деградации почв сухой степи в долине Маньч на территории Орловского района Ростовской области (охранная и заповедная зоны Государственного природного заповедника «Ростовский»). Выявлено, что усиление аридизации климата и антропогенной нагрузки в сухой степи приводят к засолению, опустыниванию, пастбищной дигрессии. Для почвенного покрова характерна комплексность, обусловленная микрорельефом, высоким уровнем минерализации грунтовых вод (2–6 г/л) и их близким залеганием к поверхности, составом засоленных почвообразующих пород, а также антропогенным воздействием – распашкой целинных почв, высокой пастбищной нагрузкой, развитием эрозионных процессов в результате уничтожения естественного растительного покрова степи. Почвенные комплексы с высокой долей участия солонцеватых и солончаковатых почв (до 20–50%) составляют 25% исследуемой территории. Выпас в первую очередь влияет на показатели почвы, характеризующие плодородие. При возрастании пастбищной нагрузки почвы подвергаются интенсивному иссушению в связи с изреженностью растительного покрова, а также уплотнением верхних горизонтов (1,37 г/см<sup>3</sup>) и изменениями в структуре на агрегатном уровне. В почвах пастбищ с сильной нагрузкой снижены содержание гумуса (не более 1,5%) и его запасы (53–68 т/га). На исследованной территории площадь средне деградированных почв составляет 40%, сильно и очень сильно деградированных – 32, слабо деградированных – 18, целинных (ненарушенных) – 10%. Необходимы срочные меры по рациональному использованию почв и повышению их плодородия, предотвращению развития деградационных процессов в них, а также по строгому контролю за соблюдением условий оптимальной пастбищной нагрузки.

*Ключевые слова:* сухостепные почвы, долина реки Маньч, деградационные процессы, антропогенная нагрузка, интегральная оценка степени деградации.

## CURRENT PROBLEMS OF DRY-STEPPE SOIL DEGRADATION IN MANYCH VALLEY

**L.P. Ilyina<sup>1</sup>, K.S. Sushko<sup>1, 2</sup>**

<sup>1</sup> Southern Scientific Center of Russian Academy of Sciences, Rostov-on-Don and <sup>2</sup> Southern Federal University, Rostov-on-Don, Russia

Email: [iljina@ssc-ras.ru](mailto:iljina@ssc-ras.ru), [kirrkka@yandex.ru](mailto:kirrkka@yandex.ru)

The article presents the results of investigations, which were carried out in 2009–2018 at Manych Field Station (Orlov State Natural Reserve, Rostov Region), into dry steppe soil degradation in Manych Valley. Increasing climate aridization and anthropogenic load were associated with soil salinization and desertification and pasture digression. The structure of soil cover is found to be is complex because of its micro-relief, high mineralization of groundwater (2–6 g/l), close bedding of groundwater to soil surface, the saline composition of parent rocks, and anthropogenic impacts including virgin soils plowing, high grazing pressure, erosion processes, the destruction of the natural steppe vegetation, etc. Soil systems with high shares of solonchic and saline soils (up to 20–50%) make 25% of the area under study. The impact of grazing on soils is primarily reflected in the indicators that characterize soil fertility. Increasing grazing pressure is associated with soil desiccation caused by thinning of vegetation cover and by degradation manifested in upper horizons compaction (up to 1,37 g/cm<sup>3</sup>). Soils of heavily loaded pastures have low humus content (no more than 1,5%) and reserves (53–68 ton/ha). The share of moderately degraded soils is estimated to account for 40% of the territory under study, of highly and severely degraded, for 32%, of poorly degraded, for 18%, and of virgin (undisturbed) soils, for only 10%. Urgent measures are warranted to rationalize the use of soils, to increase their fertility, to prevent the development of degradation processes in soils, as well as to monitor compliance with the regulations concerning optimal grazing pressure.

*Keywords:* dry steppes soils, Manych Valley, degradation processes, anthropogenic impact, integral assessment of soil degradation.

Аридные и субаридные территории юга России характеризуются длительной историей хозяйственного использования и их высокой экологической уязвимостью, что в совокупности с климатическими особенностями обусловило снижение продуктивности биогеоценозов, деградацию почв, а также ряд других экологических проблем. Колебания климата и гидрологического режима, нерациональное природопользование приводят к нарушению устойчивости экосистем и, как следствие, к снижению продуктивности почв и водных бассейнов, видового разнообразия, потере биологических ресурсов. На юге России естественные ландшафты сухостепной зоны оказались практически полностью уничтожены вследствие распашки земель. Сохранившиеся ландшафты с растительным покровом, который характеризуется большим видовым разнообразием, высокой продуктивностью и богатым травостоем, интенсивно эксплуатируются человеком как пастбища, реже – как сенокосные угодья. Высокая антропогенная нагрузка на почвенный покров долины Маныч приводит к развитию различных деградационных процессов – опустыниванию, дегумификации (потеря гумуса и уменьшение мощности гумусового горизонта), эрозии, дефляции, слитизации, вторичному засолению и осолонцеванию (при орошении водами повышенной минерализации) и др. [6, 8, 17].

В связи с этим актуальной является оценка степени деградации сухостепных почв исследуемой территории в современных условиях землепользования.

### Объект и методы исследования

Исследования проводили в 2009–2018 гг. в долине Маныч (Кумо-Манычская депрессия, 46°28' с.ш. и 42°40' в.д.) на территории Орловского района Ростовской области (охранная и заповедная зоны Государственного природного заповедника «Ростовский») на базе Научно-экспедиционного стационара «Маныч» Южного научного центра РАН. Для определения степени деградации сухостепных почв были заложены ключевые участки, охватывающие всю территорию исследования (рис. 1), на них выполнены стандартными методами анализы интегральных почвенных показателей, отражающих плодородие почв (содержание и запасы гумуса, мощность гумусовых горизонтов и др.). В работе использовались многолетние данные по различным почвенным показателям, полученные авторами в экспедициях ЮНЦ РАН, а также почвенная карта М 1:25 000 «Госплемзавода» Орловского района Ростовской области. При картировании и определении площадей деградированных сухостепных почв района исследования использованы ГИС-технологии (программный продукт ArcGis 10.0). Общая площадь исследуемой территории – 63770 га.

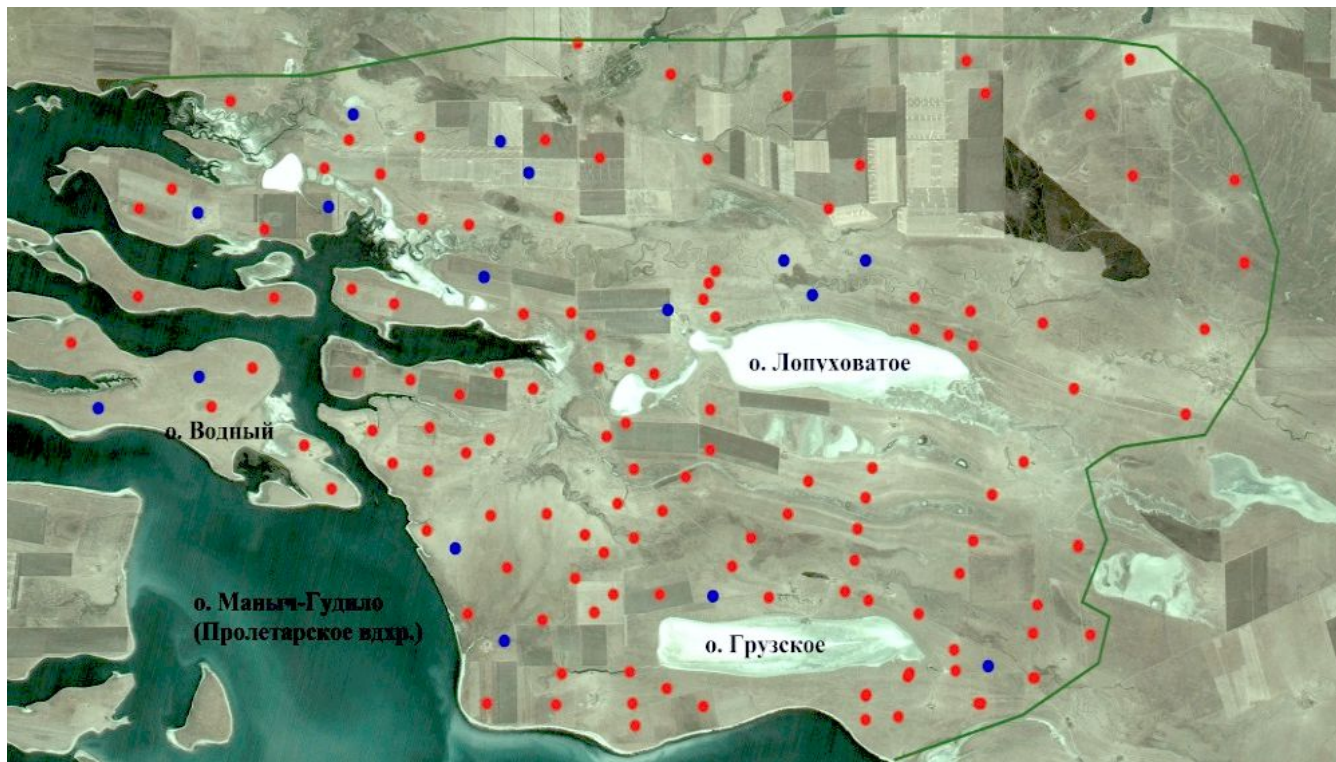


Рис. 1. Район исследований с сетью станций отбора почвенных проб

Для ранжирования территории по степени деградации почв использовалась шкала Харрингтона [5], на основе которой было выделено пять зон деградации почв под влиянием хозяйственной деятельности с различным весом показателя: очень высокий, высокий, средний, ниже среднего, низкий. Ранжирование показателей выполнялось методом линейной интерполяции по формуле (1).

$$P = (A_{\max} - A_{\min}) / n, \quad (1)$$

где  $P$  – ранг;  $A_{\max}$  – максимальное значение показателя;  $A_{\min}$  – минимальное значение показателя,  $n$  – количество рангов.

### Результаты и обсуждение

Территория долины Маныч представляет собой широкое понижение, расчлененное многочисленными мелкими водотоками, озеровидными впадинами и лиманами. Следует отметить, что прогрессирующее засоление почв долины определяется природными и антропогенными факторами. Высокая минерализация водоемов и тенденция ее роста (главным образом оз. Маныч-Гудило) обусловлена следующими основными причинами: дефицит речного стока, особенно донского, слабая проточность; литологический состав пород, слагающих водосбор, берега и дно водоемов; возвратные коллекторно-дренажные воды с оросительных систем и напорные подземные воды с минерализацией 2,5–4,0 г/л [14]. Лессовидные породы засолены. В них, как правило, повышено содержание хлоридов и сульфатов кальция, магния и натрия. Преобладающие в первом метровом слое легкорастворимые соли нередко находятся выше карбонатов, поэтому в засоленных почвах получают развитие процессы периодического поднятия этих солей до солонцовых горизонтов [9, 15].

Почвенный покров долины Маныч характеризуется ярко выраженной комплексностью, при этом ведущую роль играют микрорельеф, различный характер увлажнения, уровень минерализации грунтовых вод, состав засоленных почвообразующих пород, а также антропогенное воздействие (распашка целинных почв, выбивание почв в результате высокой пастбищной нагрузки, использование при орошении вод повышенной минерализации и др.). В настоящее время на этой территории формируются значительные пространства трансформированных природных и антропогенно преобразованных комплексов (засоленных, эродированных, пастбищных и др.) [8].

Наибольший ущерб нанесен экосистемам засушливых зон юга России: там процессам опустынивания подвержены 70% массивов Черных земель в Калмыкии, в то же время в Астраханской, Волгоградской и Ростовской областях они повлияли на 50% всей территории [13]. В Ростовской области процессы опусты-

нивания земель получили широкое распространение в Орловском, Зимовниковском, Дубовском, Ремонтненском районах, где ими охвачено более 50% территории. Из общей площади сельхозугодий процессам эрозии подвержены более 3 млн га, дефляции – около 1 млн га и засолено порядка 0,5 млн га. Главные причины опустынивания: на фоне аридизации климата нерациональное использование природных ресурсов, превышающее порог экологической устойчивости природных экосистем, за которым следует их разрушение, часто необратимое, и потребление природных ресурсов без заботы об их воспроизводстве [3].

В результате проведенных многолетних исследований выявлено, что комплексность почвенного покрова долины Маныч со значительным распространением ареалов засоленных почв (солонцеватых и солончаковатых) обусловлена взаимосвязью природных и антропогенных факторов. С использованием результатов полевых, лабораторных работ и ГИС-технологий были определены площади засоленных почвенных комплексов района исследования. Установлено, что почвы с локальным засолением составляют всего лишь 10% (6373,9 га). Почвенные комплексы, в которых доля участия солонцеватых и солончаковатых почв составляет 5–20%, занимают 44% изученной территории (28045,3 га). Почвенные комплексы с высокой долей участия солонцеватых и солончаковатых почв (до 20–50%) составляют 25% (15934,8 га). Почвенные комплексы с преобладанием солонцеватых и солончаковатых почв более 50% распространены на площади 11473 га, что соответствует 18% всей территории [8, 17].

Основные причины формирования засоленных почвенных комплексов в сухой степи – это:

- засушливый климат (гидротермический коэффициент увлажнения ГТК < 0,7, сумма осадков – 358–400 мм в год);
- микрорельеф (неравномерное распределение атмосферных осадков приводит к формированию различного режима поверхностного увлажнения, и ареалы засоленных почв имеют резко выраженные очертания);
- высокий уровень минерализации грунтовых вод (2–6 г/л), в солончаковых почвах близкое залегание грунтовых вод к поверхности;
- состав засоленных почвообразующих пород (карбонатные лессовидные суглинки и глины; карбонатно-сульфатные лессовидные суглинки и глины, в некоторых местах глиногипсы (сульфатные породы); глинистые и тяжелосуглинистые породы аллювиального происхождения);
- антропогенное воздействие (распашка целинных почв, выбивание почв в результате высокой пастбищной нагрузки, использование при орошении вод по-

вышенной минерализации, развитие эрозийных процессов, особенно дефляции и др.) [7, 8].

Одним из ведущих процессов деградации сухостепных почв является пастбищная дигрессия вследствие нерегулируемой чрезмерной пастбищной нагрузки. Только соблюдение условий оптимальной пастбищной нагрузки позволяет сохранить плодородие, разнообразие, продуктивность сообществ используемых земель. При умеренном выпасе пастбищные экосистемы длительное время функционируют устойчиво: в них накапливается растительная биомасса, поддерживается баланс между ее синтезом и деструкцией, в верхних почвенных горизонтах образуется гумус, почва обогащается питательными веществами, активизируется биологический круговорот [1, 4]. Проблема нерегулируемого выпаса, приводящая к пастбищной дигрессии, в последние годы приобрела масштабный характер, что позволяет отнести решение задач по восстановлению деградированных пастбищ и регулированию выпаса к важнейшим для современного земледелия [2, 11, 16]. В условиях сухих степей долины Маныч пастбищное животноводство является одним из ведущих направлений сельскохозяйственного производства.

Для исследования состояния почв под воздействием пастбищной нагрузки с 2009 г. проводятся комплексные экспедиции в разные периоды года (весна-лето-осень) на территории охранной зоны заповедника «Ростовский». В его окрестностях были заложены 6 модельных участков по 1 га с преимущественно равнинным (0–1°) или слабопологим (1–2°) рельефом. Участки 1–4 были заложены на берегах вдоль озера Маныч-Гудило, участки 5–6 – на территории, прилегающей к озеру Грузскому. Участки 1 и 3 расположены на заповедной территории – «Островном» участке, остальные (2, 4, 5 и 6) – в охранной зоне заповедника «Ростовский», где разрешен выпас скота (в основном, коровы и овцы). Для данной территории характерна комплексность почвенного и растительного покрова. На фоне степных ценозов, приуроченных к каштановым почвам, выделяются, с одной стороны, пятна влаголюбивой растительности микро- и мезопонижений на лугово-каштановых почвах, а с другой стороны – пятна полупустынной растительности на каштановых солонцеватых почвах и солонцах. Каштановые солонцеватые почвы занимают от 30 до 50% общей площади почвенного комплекса. Участок 1 – контрольный, без выпаса. Участок 2 с минимальной пастбищной нагрузкой характеризуется редким и нерегулярным выпасом. На участках 3–4 (слабая и умеренная степень) выпасают крупный рогатый скот – в среднем 300–400 голов. На участках 5–6 (сильная и очень сильная степень) количество выпасаемых коров составляло 350–500, а овец – около 1000–1500. На всех модельных участ-

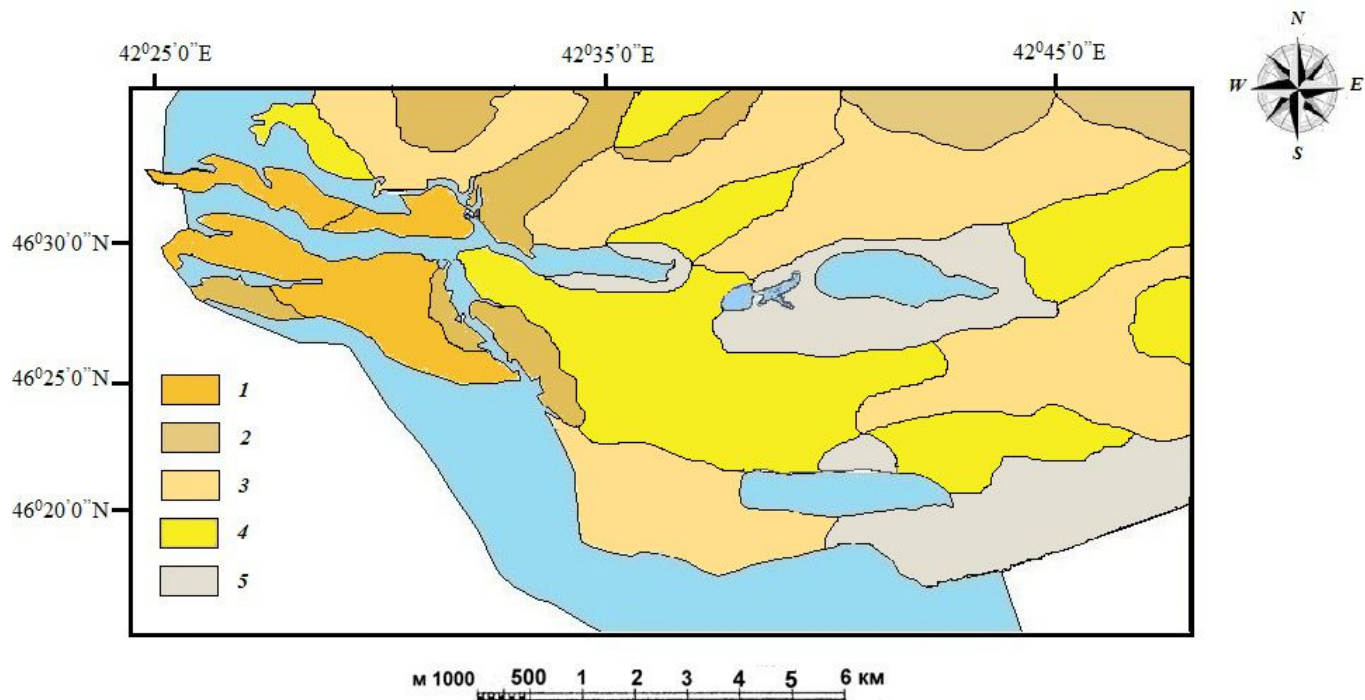
ках было проведено морфологическое описание почв, определены плотность, влажность, агрегатный состав (количество агрономически ценных агрегатов, а также коэффициент структурности), содержание карбонатов, гумуса и его запасов в почве [6, 10].

Установлено, что влияние выпаса на почвы в первую очередь отражается на показателях, характеризующих плодородие. По мере возрастания пастбищной нагрузки почвы подвергаются интенсивному иссушению в связи с изреженностью растительного покрова, а также деградиационным изменениям: уплотняются верхние горизонты, при этом значение плотности практически может соответствовать этому показателю в солонцеватом горизонте (1,37 г/см<sup>3</sup>), существенные изменения в структуре происходят на агрегатном уровне. Содержание агрономически ценных агрегатов уменьшается в верхних горизонтах. В профиле пастбищных почв происходит формирование столбовидных, призмовидных и плитчатых образований. Полученные данные свидетельствуют о физической деградации почвенной структуры при интенсивном выпасе, что подтверждается динамикой коэффициента структурности, который снижается в пастбищных почвах до 0,6–0,8. Почвы пастбищ с сильной степенью нагрузки характеризуются низким содержанием гумуса (не более 1,5%) и его запасами (53–68 т/га). Анализ полученных результатов выявил, что сухостепные почвы пастбищ имеют низкий уровень плодородия и необходимы меры по восстановлению деградированных почв [6, 10, 12].

На основании многолетних экспедиционных исследований и результатов лабораторных, камеральных работ выполнен анализ оценки степени деградации сухостепных почв района исследования (рис. 2).

Установлено, что не деградированные почвы распространены на заповедных участках Стариковский и Краснопартизанский, именно там еще сохранились целинные каштановые почвы и сухостепные почвенные комплексы с ними. Также не деградированные почвы встречаются на островах Водный и Горелый, где полностью отсутствует антропогенная нагрузка. Остров Водный входит в состав заповедного участка Островной и расположен в северо-западной части озера Маныч-Гудило. Уникальность этой территории состоит в том, что здесь сохранились природные ландшафты, которые представляют собой эталоны сухих степей. На острове более полувека обитает табун диких лошадей. На основании проведенных работ можно сделать вывод, что на острове в местах водопоя и интенсивного выпаса свободноживущего табуна диких лошадей почвы сильно сбиты и подвержены дефляции. В целом, на удаленных от выпаса участках сохранились не деградированные сухостепные почвы.

Характеристика почвенных зон охранной и заповедной территории ГПЗ «Ростовский» с разной степенью деградации представлена в таблице 1.



**Рис. 2.** Картограмма степени деградации почв района исследований. Деградация: 1 – отсутствует; 2 – слабая; 3 – умеренная; 4 – сильная; 5 – очень сильная

Слабо деградированные почвы характеризуются незначительным проявлением процессов дегумификации, дефляции и водной эрозии. На участках с такими почвами введено ограничение сельскохозяйственной деятельности вплоть до временного изъятия этих земель из землепользования. Массивы средне деградированных почв сосредоточены в охранный зоне заповедника и характеризуются различными типами ведения сельскохозяйственной деятельности; в почвах проявляются процессы дефляции, осолонцевания, а также дегумификации. Несмотря на то что степень их проявления не является интенсивной, развитие этих процессов способно существенно снизить их плодородие. Сильно деградированные почвы приурочены к местам интенсивной антропогенной нагрузки, склоновым агроландшафтам, подверженным процессам ветровой и водной эрозии, а также к почвам, потерявшим значительную часть гумусового горизонта вследствие сильной пастбищной нагрузки. Очень сильно деградированные почвы занимают значительные площади на юго-востоке исследуемой территории, где они интенсивно используются для выпаса овец и КРС (пастбищная нагрузка значительно превышает допустимые нормы выпаса). К ним относятся участки вблизи кошар, сильноосмытые склоновые почвы, засоленные участки с преобладанием солонцов и солончаков. При

данной степени деградации интегральные показатели плодородия почв (содержание гумуса, мощность гумусового горизонта, запасы гумуса) по сравнению с эталонными (целинными) почвами снижены в 2,4 раза [17].

Таким образом, в результате выполненных исследований выявлено, что на долю средне деградированных почв приходится 40% исследуемой территории, что составляет 25495,6 га. Сильно деградированные и очень сильно деградированные почвы занимают 32%, что в сумме соответствует 20393,0 га. Слабо деградированные почвы занимают площадь, равную 18% территории, что составляет 11471,4 га. Участки с целинными (ненарушенными) почвами составляют 10%, всего лишь 6373 га.

В сложившейся ситуации необходимо принятие срочных мер по рациональному использованию почв и повышению их плодородия, предотвращению развития деградационных процессов в них, а также по строгому контролю за соблюдением условий оптимальной пастбищной нагрузки при выпасе сельскохозяйственных животных.

Публикация подготовлена в рамках реализации ПФИ Президиума РАН № 20 «Новые вызовы климатической системы Земли» (№ гр. Проекта АААА-А18-118011990300-9) и Внутреннего гранта Южно-

**Характеристика почвенных зон охранной и заповедной территории ГПЗ «Ростовский»  
с разной степенью деградации**

Состояние растительного покрова	Современное хозяйственное использование
<i>Не деградированные (S = 9560,0 га)</i>	
Типичные разнотравно-злаковые сухие степи с высоким видовым разнообразием, проективным покрытием до 80%	Земли, выведенные из сельскохозяйственного оборота, которым присвоен статус особо охраняемых природных территорий; развитие туризма
<i>Слабо деградированные (S = 14660,0 га)</i>	
Естественная растительность представлена слабо нарушенной умеренно-сухой дерновинно-злаковой степью. Распространены луга остепненные житняково-типчаковые с примесью разнотравья	Склоновые ландшафты заповедных участков, земли, выведенные из сельскохозяйственного оборота; выпас табуна диких лошадей на о. Водном, залежные земли охранной зоны заповедника
<i>Средне деградированные (S = 25495,6 га)</i>	
Естественная степная растительность представлена сухой дерновинно-злаковой степью. Преобладают растительные сообщества: житняково-типчаковые с примесью разнотравья в комплексе с полынью солончаковой и ромашником на солонцах	Склоновые ландшафты с сельскохозяйственными угодьями, земли сельскохозяйственного использования; выпас крупного рогатого скота и овец; развитие орошаемого земледелия
<i>Сильно деградированные (S = 11473,0 га)</i>	
Естественная растительность представлена небольшими ареалами сухой полынно-дерновинно-злаковой степи. Отмечается преобладание растительных сообществ с рудеральными видами, мало поедаемыми животными, при этом участки сбитые, с изреженным травостоем (проективное покрытие 40%)	Используются для выпаса овец, крупного рогатого скота (пастбищная нагрузка превышает допустимые нормы выпаса); возделывание яровых и озимых зерновых культур на склоновых агроландшафтах (3,2–6,3°), сильнозасоленные и заболоченные участки
<i>Очень сильно деградированные (S = 8923,46 га)</i>	
Естественная растительность отсутствует. В растительных сообществах преобладают рудеральные и инвазионные виды, видовое разнообразие низкое, встречаются сильно сбитые участки без растительности или с изреженным растительным покровом, проективное покрытие менее 30%	Используются для выпаса овец, крупного рогатого скота (пастбищная нагрузка значительно превышает допустимые нормы выпаса); участки вблизи кошар, сильноосмытые склоновые почвы, сильнозасоленные участки с преобладанием солончаков

го федерального университета № ВнГр-07/2017-14  
«Разработка методических основ и рекомендаций  
для комплексного управления прибрежной зоной

Азовского моря в условиях роста опасных экзогенных процессов, рекреационной нагрузки, климатической изменчивости».

### Литература

#### Список русскоязычной литературы

1. Абатуров БД. Пастбищный тип функционирования степных и полупустынных экосистем. Усп совр биол. 2006;(5):435-47.
2. Абатуров БД, Кулакова НЮ. Роль выпаса животных и степных палов в круговороте азота и зольных элементов в степных пастбищных экосистемах. Аридные экосистемы. 2010;(2):54-64.

3. Безуглова ОС. Региональные особенности процессов опустынивания в Ростовской области. Аридные экосистемы. 2015;(1):17-21.
  4. Джапова РР, Санкуева ЗМ, Трофимов ИА. Сезонная и погодичная динамика видового состава, урожайности и запасов корма белополевых пастбищ Северо-Западного Прикаспия (Калмыцкая АССР). Растительные ресурсы. 1991;(4):1-10.
  5. Закруткин ВЕ, Шишкина ДЮ. Принципы и критерии комплексного экологического районирования сельскохозяйственных территорий. Известия ВУЗов. Северо-Кавказский регион. Естественные науки. 1993;(3):18-34.
  6. Ильина ЛП, Калиниченко ВП. Проблема сохранения плодородия аридных земель долины Маныч. В кн.: Современные достижения науки в рациональном природопользовании. Москва: Вестник РАСХН; 2014. с. 116-20.
  7. Ильина ЛП, Ковда ИВ, Невидомская ДГ, Сушко КС, Моргунов ЕГ. Особенности формирования, состав и свойства сухостепных солончато-слитых почвенных комплексов долины Маныч. Вестник Южного научного центра. 2014;(4):61-72.
  8. Ильина ЛП, Сушко КС. Особенности формирования, состав и свойства сухостепных засоленных почвенных комплексов долины Маныч. В кн.: Природные и Антропогенные трансформации экосистем Западного Маныча. Ростов-на-Дону; 2018. с. 138-51.
  9. Калиниченко ВП. Природные и антропогенные факторы происхождения и эволюции структуры почвенного покрова. М.: МСХА; 2003.
  10. Лебедева НВ, Ильина ЛП, Пономарев АВ, Савицкий РМ. Влияние пастбищной нагрузки на трансформацию сухостепных экосистем в долине Маныч. Аридные экосистемы. 2011;(4):251-9.
  11. Лебедева НВ, Пономарев АВ, Савицкий РМ, Арзанов ЮГ, Ильина ЛП. Наземная фауна как показатель пастбищной нагрузки. Вестник Южного научного центра РАН. 2010;(4):84-95.
  12. Лебедева НВ, Ильина ЛП, Пономарев АВ, Савицкий РМ. Пастбищная дигрессия сухостепных экосистем долины Маныч. В кн.: Проблемы социально-экономического и этнополитического развития южнороссийского макрорегиона. Ростов-на-Дону: ЮНЦ РАН; 2012. с. 251-69.
  13. Матишов ГГ, Голубева НИ. Значение аридных и семиаридных зон в системе современного природопользования России. В кн.: Современное состояние и технологии мониторинга аридных и семиаридных экосистем юга России. Ростов-на-Дону: ЮНЦ РАН; 2010. с. 11-8.
  14. Матишов ГГ, Матишов ДГ, Гаргопа ЮМ. Современные особенности солевого режима водоемов бассейна р. Маныч. ДАН. 2006;(3):1-3.
  15. Минкин МБ, Бабушкин ВМ, Садименко ПА. Солонцы юга-востока Ростовской области. Ростов-на-Дону: РГУ; 1980.
  16. Петров КМ, Бананова ВА, Лазарева ВГ, Унагаева АС. Региональные особенности глобального процесса опустынивания в Северо-Западном Прикаспии. Биосфера. 2016;(1):49-62.
  17. Сушко КС, Беспалова ЛА, Беспалова ЕВ. Исследование трансформаций природно-антропогенных ландшафтов сухих степей долины Маныч. Естественные и технические науки. 2015;(6):66-9.
- Общий список литературы/Reference List**
1. Abaturov BD. [Pasture type of functioning of steppe and semi-desert ecosystems]. Uspekhi Sovremennoy Biologii. 2006;(5):435-47. (In Russ.)
  2. Abaturov BD, Kulackova NYu. [The role of grazing animals and steppe bollards in the circulation of nitrogen and ash elements in steppe pasture ecosystems]. Aridnye Ekosistemy. 2010;(2):54-64. (In Russ.)
  3. Bezuglova OS. [Regional features of desertification processes in Rostov Region]. Aridnye Ekosistemy. 2015;(1):17-21. (In Russ.)
  4. Dzapova RR, Sankuyeva ZM, Trofimov IA. [Seasonal and annual dynamics of species composition, yield and feed stocks of white-field pastures of the North-Western Caspian region (Kalmyk ASSR)]. Rastitelnye Resursy. 1991;(4):1-10. (In Russ.)
  5. Zakrutkin VYe, Shishkina DYu. [Principles and criteria of complex ecological zoning of agricultural territories]. Izvestiya VUZov. Severo-Kavkazskiy Region Yestestvennye Nayki. 1993;(3):18-34. (In Russ.)
  6. Ilyina LP, Kalinitchenko VP. [The problem of preserving the fertility of arid lands of Manych Valley]. In: Sovremennye Dostizheniya Nayki v Ratsionalnom Prirodopolzovanii. Moscow: Vestnik RASKhN; 2014. p. 116-20. (In Russ.)
  7. Ilyina LP, Kovda IV, Nevidomskaya DG, Sushko KS, Morgun EG. [Characteristics of the formation, composition and properties of dry steppe solonchic-drained soil complex of Manych Valley]. Vestnik Yuzhnogo Nauchnogo Tsentra. 2014;(4):61-72. (In Russ.)
  8. Ilyina LP, Sushko KS. [Characteristics of formation, composition and properties of dry-steppe saline soil complexes of Manych Valley]. In: Prirodnye i Antropogennye Transformatsii



- Ekosystem Zapadnogo Manycha. Rostov-on-Don; 2018. p. 138-51. (In Russ.)
9. Sushko KS, Bepalova LA, Bepaliva EV. [A study of transformations of natural-anthropogenic landscapes of dry steppes of Manych Valley]. *Yestestvennye i Tekhnicheskiye Nayki*. 2015;(6):66-9. (In Russ.)
  10. Kalinitchenko VP. [Natural and anthropogenic factors of the origin and evolution of soil cover structure]. Moscow: MSKhA; 2003. (In Russ.)
  11. Lebedeva NV, Ilyina LP, Ponomarev AV, Savitskiy RM. [Influence of pasture load on transformation of dry steppe ecosystems in Manych Valley]. *Aridnye Ekosistemy*. 2011;(4):251-9. (In Russ.)
  12. Lebedeva NV, Ponomarev AV, Savitsiy RM, Arzanov YuG, Ilyina LP. [Terrestrial fauna as an indicator of pasture load]. *Vestnik Yuzhnogo Naychnogo Tsentra*. 2010;(4):84-95. (In Russ.)
  13. Lebedeva NV, Iljina LP, Ponomarev AV, Savitskii RM. [Pasture digression of steppe ecosystems in the Manych valley]. In.: *Problemy sotsialno ekonomicheskogo i etnopoliticheskogo rasvitiya yuzhnorossiskogo macroregiona*. Rostov-on-Don; 2012. p. 251–69. (In Russ.)
  14. Matishov GG, Golubeva NI. [The importance of arid and semiarid zones in the system of modern nature management in Russia]. In: *Sovremennoye Sostoyaniye i Tekhnologii Monitoringa Aridnykh i Semi-Aridnykh Ekosystem Yuga Rossii*. Rostov-on-Don; 2010. p. 11-8. (In Russ.)
  15. Matishov GG, Matishov DG, Gargopa YuM. [Current features of the salt regimen of reservoirs of Manych river basin]. *DAN*. 2006;(3):1-3. (In Russ.)
  16. Minkin MB, Babushkin VM, Sadimenko PA. [Solonetzic soils of the Southeast of Rostov region]. Rostov; RGU; 1980. (In Russ.)
  17. Petrov KM, Bananova VA, Lazareva VG, Unagayeva AS. [Regional features of the global desertification process in the North-Western Caspian region]. *Biosfera*. 2016;(1):49-62. (In Russ.)



**ТОРФЯНЫЕ БОЛОТА И ИХ БИОСФЕРНАЯ РОЛЬ****Л.И. Инишева<sup>1\*</sup>, Е.В. Порохина<sup>1</sup>, М.А. Сергеева<sup>1</sup>,  
К.И. Кобак<sup>2</sup>**<sup>1</sup>Томский государственный педагогический университет, Томск, Россия;<sup>2</sup>Государственный гидрологический институт, Санкт-Петербург, Россия\* Эл. почта: [inisheva@mail.ru](mailto:inisheva@mail.ru)

Статья поступила в редакцию 15.12.2019; принята к печати 15.01.2020

Болота занимают в России значительные территории. В статье рассмотрены основные факторы процесса образования торфяных болот и их биосферные функции. На примере сосново-кустарничково-сфагновых биогеоценозов Западной Сибири проанализирован баланс углерода в различные по погодным условиям годы. Результаты полевых наблюдений и проведенные расчеты прироста торфа в некоторых типах болот на основе математической модели свидетельствуют о положительном балансе (нетто-накоплении углерода) в разные годы. Можно сделать предположение, что в предстоящие десятилетия в современных климатических условиях (при увеличении количества осадков и повышении температуры) в северных регионах России, в том числе и на территории Западной Сибири, процесс болотообразования и торфонакопления активизируется.

*Ключевые слова:* Западная Сибирь, торфяные болота, торф, торфонакопление, функции болот.

**PEATLANDS AND THEIR ROLE IN THE BIOSPHERE****L.I. Inisheva<sup>1\*</sup>, Ye.V. Porokhina<sup>1</sup>, M.A. Sergeeva<sup>1</sup>, K.I. Kobak<sup>2</sup>**<sup>1</sup>Tomsk State Pedagogical University, Tomsk, Russia; <sup>2</sup>State Hydrological Institute, Saint Petersburg, Russia\* Email: [inisheva@mail.ru](mailto:inisheva@mail.ru)

Bogs occupy a significant part of territory in Russia. In the present article, the main factors of formation of peat bogs and their functions in the biosphere are discussed as exemplified with pineal-bushy-mossy biocenoses in Western Siberia. Carbon balance during periods differing in climatic conditions are analyzed. Field observations and mathematical models of peat accretion suggest that net carbon accumulation takes place in bogs of several types. In may be expected that in the forthcoming decades the current climatic conditions will, upon increasing temperature and atmospheric precipitates, result in the activation of bog formation and peat accumulation in the north of Russia, including West Siberia.

*Keywords:* West Siberia, peatland, peat, peat accumulation, bog functions.

Болота – это уникальные образования биосферы, которые занимают 4,4% территории суши на земле. Первое место по их площадям и запасам принадлежит России. Это предполагает важную роль болот как на планете, так и на территории России.

Рассмотрим, какова роль болот. Но прежде всего обратим внимание на определение слова «болото». Болото – это участок земной поверхности, для которого характерны следующие признаки: постоянное застойное увлажнение, дефицит кислорода (гипоксия), формирование специфической растительности гигрофитов с приспособлениями к гипоксии, накопление частично разложившегося органического вещества. Это вещество в дальнейшем превращается в торф слоем не менее 30 см. При глубине торфа менее 30 см участок относят к заболоченным землям. В настоящее время болота, наряду с озерами и реками, справедливо относят к водным объектам. Почти вся вода, в том числе и входящая в состав останков растений, прочно

удерживается в порах молекулярными и капиллярными силами, и только 2–10% в верховом и 8–14% в низинном торфе составляет свободная вода, которая, подчиняясь закону силы тяжести, может вытекать из торфа. То есть водоотдача торфа очень низкая. Торф легко впитывает воду и плохо отдает ее рекам и на испарение.

Надо заметить, что болотная форма почвообразования – одна из древнейших, ее абсолютный возраст составляет около 400 млн лет. Проследим, какое участие болота приняли в формировании кислородсодержащего состава газовой оболочки планеты и выхода организмов из водной среды на сушу. Это происходило на протяжении трех периодов эволюции биосферы. Гидроземный период – это время господства океана, длительность его составила 3 млрд лет. В атмосферный период (продолжительность – 175 млн лет) происходила адаптация организмов к условиям воздушного окружения. Это период древних лесов и болот,

образования каменного угля из древних болот. В этот период болота сыграли роль переходного моста, по которому растения вышли из воды на сушу. Начался литоземный период (продолжительность – 160 млн лет), в течение которого растения и животные осваивали литосферную оболочку суши и отмечалось затухание болотного почвообразования (рис. 1).

Становление современных растительных формаций природных зон завершилось, преимущественно, примерно 70 млн лет назад. Образно говоря, современный мир вышел из древнего океана и древних болот.

Что касается современных болот, наиболее интересным является отрезок четвертичного периода кайнозойской эры – голоцен, продолжительность которого составила 10–12 тыс. лет. В образовании болот основное значение имеет климат. А климат в голоцене менялся неоднократно от оледенений и до потепления. Геологический период голоцена по показателям климата подразделяется на четыре периода: древний голоцен (9800–12000 BP (Before Present = до настоящего времени)), ранний (7700–9800 BP), средний (2500–7700 BP), поздний (0–2500 BP). В древнем голоцене климат на Земле стал теплым, ледник отступил, началось формирование условий для последующего процесса торфообразования. В ранний голоцен климат оценивается как умеренно теплый, а к концу – как холодный и сухой. В средний голоцен образовалась преобладающая часть современных болот с мощным торфяным профилем. Некоторое похолодание и увеличение влажности климата в поздний голоцен благоприятствовали дальнейшему росту сфагновых болот и «расползанию» их в разные стороны. Таким образом, например, образовалась болотная страна – Западносибирская равнина [11].

Функции, выполняемые болотными экосистемами, занимающими огромные территории в России, Канаде, в скандинавских и других странах, иллюстрирует рис. 2.

Например, болота играют важную роль в поддержании состава атмосферного воздуха: их растительность обогащает атмосферу кислородом, поглощает диоксид углерода, изымая из планетарного цикла углерод и консервируя его в торфяниках на тысячи лет. Но в результате разложения растительных остатков в анаэробных условиях в атмосферу поступает метан. Соотношение между потоками диоксида углерода и метана определяет «вклад» болот в возможное потепление глобального климата. Важна роль болот и в водном балансе территорий. Известно, например, что за летние месяцы с болот Западносибирской равнины выносится в среднем более 300 км<sup>3</sup> испарившейся влаги на территорию Восточной Сибири и Казахстана. А запасы пресной воды в болотах этого региона достигают 1000 км<sup>3</sup>!

Болота обеспечивают сохранение генофонда редких, в том числе нигде не встречающихся видов животных, птиц и растений. На торфяных болотах произрастают лекарственные растения (багульник болотный, вахта трехлистная, сабельник болотный, таволга), растения, используемые в пищу (клюква болотная, морозника, брусника обыкновенная и др.). Например, при учете адаптации «болотных» бактерий к условиям кислой среды, низким температурам, частичному анаэробизису и т. д. можно прогнозировать длительное сохранение специфических форм бактерий в болотах, поддерживающих разнообразие бактерий на планете Земля.

Эра	Геологический период	Начало периодов, млн. лет	Периоды эволюции биосферы	Отложения твердых каустобиолитов
Кайнозойская	Антропоген	2		Бурый торф уголь
	Неоген	25		
	Палеоген	67		
Мезозойская	Мел	137	Литоземный	Каменный уголь
	Юра	195		
	Триас	230		
Палеозойская	Перм	285	Атмосемный	Антрацит
	Карбон	350		
	Девон	406	Гидроземный	
	Силур	440		
	Ордовик	500		
Докембрий	570			

Рис. 1. Геохронология эволюции биосферы и отложений твердых углеводородов-каустобиолитов (по [2])



Рис. 2. Функции болот в биосфере

Торфяные болота служат гигантскими естественными фильтрами, которые поглощают токсичные элементы. В местах особо сильного техногенного загрязнения накопление токсичных веществ на болотах на порядок выше, чем на окружающих суходольных территориях. По мнению М.А. Глазовской [4], болота являются восстановительными ландшафтно-геохимическими барьерами. Они – своеобразные «ловушки», где могут аккумулироваться токсичные техногенные органические вещества и некоторые металлы.

Болота аккумулируют тепло и являются источниками местных тепловых потоков. В связи с этим на заболоченной территории в меньшей степени проявляются кратковременные засухи, весенние и осенние заморозки. Известны случаи, когда на осушенных торфяниках длительные (до нескольких ночей) заморозки вызывали гибель сельскохозяйственных культур, в то время как на территории, которая прилегает к болотам, заморозки не отмечались. В холодные и жаркие периоды года естественные болота противостоят перегревам и переохлаждениям воздуха, а также засухам, смягчая микроклимат не только над площадью болота, но и на прилегающих территориях.

Болота выполняют культурно-рекреационную функцию. Так, болота с давних пор являлись местами активного отдыха людей – сбора ягод, грибов, лекарственных растений, охоты, а также объектами туризма, экологического образования и науки. В последние десятилетия активно развивается болотный туризм, как на естественных, так и на восстановленных болотах. Для экологического туризма болота не менее

интересны, чем океаны, горы, леса, реки и другие объекты природы. Болота являются и объектами науки. Усилиями многих поколений ученых создана наука о болотах – болотоведение, с которой тесно связана смежная область – торфоведение. Информационно-историческая функция болот заключается в том, что торфяные залежи являются хранилищами информации об истории развития растительного покрова, динамике климата в прошлые эпохи голоцена, об особенностях генезиса болот, а также о жизни людей.

Остановимся на роли болот в климате биосферы и рассмотрим результаты определения современной скорости аккумуляции углерода на примере северо-запада европейской территории России и Западной Сибири как наиболее заболоченных территориях. Вместе с тем, анализ скорости торфонакопления Северной Евразии в зональном аспекте за голоцен свидетельствует о том, что, несмотря на различия, в историях болотообразовательного процесса северо-запада европейской части России и Западной Сибири прослеживается ряд общих черт. Прежде всего, для северных болот Европы и Западной Сибири начало голоцена (предбореальное и бореальное время) характеризуется высокой скоростью торфонакопления (до 1,4–1,6 мм/год в Западной Сибири и 0,8 мм/год – на европейском севере). В Западной Сибири процессом заболачивания в этот период была охвачена в основном северная часть, в то время как на юге существовали лишь немногочисленные торфяники [11]. Однако Новосанчуговское похолодание и последовавший ряд новых похолоданий привели к тому, что в период

7000–6000 лет BP на севере наблюдался локальный минимум торфонакопления. В это же время в южных районах (южно-таежной подзоне и лесостепи) отмечены локальные максимумы торфообразования как в Европе, так и в Западной Сибири. Накопленные данные позволяют сделать вывод, что в течение голоцена скорость торфообразования в южных районах Сибири и Европы возросла.

На примере сосново-кустарничково-сфагновых биогеоценозов (Западносибирская равнина) проследим баланс углерода в разные годы, представительные для многолетнего ряда. Результаты исследований ранее были опубликованы в ряде работ [7, 17]. В верховых болотах чистая первичная продукция (далее по тексту – NPP, Net Primary Production) изменялась в пределах от 206 до 337 гС/(м<sup>2</sup>·год) (табл. 1). Средние значения потоков углерода в виде CO<sub>2</sub> и CH<sub>4</sub> за годы исследования составили 69, 72, 47,7 гС/(м<sup>2</sup>·год). Большая часть потерь углерода была обусловлена эмиссией CO<sub>2</sub> (в среднем 61,3 г С/(м<sup>2</sup>·год), или 23,5% NPP). Доля CH<sub>4</sub> значительно меньше (1,6 гС/(м<sup>2</sup>·год) или 0,6% NPP). В сумме доля выноса была равна 24,1% NPP. Вынос углерода с болотными водами с водосборной площади болотного массива был определен величиной 7,9 гС/(м<sup>2</sup>·год) или 3,0% NPP. На основании полученных результатов исследований можно сделать вывод о преобладании, в современный период, аккумуляции углерода в торфяном профиле (189,8 гС/(м<sup>2</sup>·год)) и, соответственно, о прогрессирующем торфообразовательном процессе на территории таежной зоны Западносибирской равнины.

По мнению некоторых авторов [10, 13], на севере европейской части России возникновение новых очагов устойчивого заболачивания в настоящее время в естественных условиях маловероятно. Но в лесах могут появляться новые очаги заболачивания при строительстве дорог (в отсутствие водосливных соору-

жений), в зонах создания новых водохранилищ, при запруживании и захлавлении небольших речек, ручьев и т. д. Так, аэровизуальные наблюдения в Карелии в Калевальском и Кемском районах свидетельствуют об активном наступлении болот на леса. В результате не заболоченной лесной площади осталось в этих районах не более 20–30%.

За последние 30 лет увеличение заболоченности отмечается во всех административных районах России (кроме некоторых южных). Очевидно, что современное заболачивание в большой степени определено разрушением созданных ранее лесосушительных систем. Как известно, с 1991 г. гидролесомелиоративные работы резко сократились. К настоящему времени вторичному заболачиванию подверглось не менее 1 млн га [9]. Активизация процесса торфонакопления в последние годы может быть объяснена и климатическими причинами, и, прежде всего, увеличением количества осадков [10]. Действительно, анализ метеорологических данных северо-западного региона России свидетельствует об увеличении среднегодовой (и зимне-весенней) температуры и росте осадков за последние десятилетия [6, 8].

На основании моделей процессов аккумуляции торфа и углерода, которые базируются на исторических сведениях о функционировании болотной экосистемы (вместе с данными о плотности торфяного профиля, его возрасте и т. д.) [16], были проведены расчеты прироста торфа в некоторых типах болот рассматриваемых территорий. В расчетах частично использованы значения нетто-продуктивности, толщины поверхностного слоя, плотности абсолютно сухого вещества в поверхностных слоях торфяных профилей по литературным данным [1, 3, 5, 10, 14, 15] (табл. 2).

Согласно проведенным расчетам по модели, современная скорость линейного прироста торфа колеблется от 0,10 до 1,10 мм/год. Максимальный вклад (46,8%)

Табл. 1

Элементы углеродного баланса в сосново-кустарничково-сфагновых биогеоценозах, гС/(м<sup>2</sup>·год)

Годы по гидротермическому коэффициенту	Поступление	Выделение CO <sub>2</sub> и CH <sub>4</sub>	Депонирование
0,8	<u>206–337</u> 264,6 ± 38,43	<u>61–80</u> 69,0 ± 6,96	<u>140–276</u> 195,6 ± 50,40
1,3	<u>277–301</u> 290,3 ± 7,06	<u>45–111</u> 72,0 ± 24,46	<u>166–248</u> 218,3 ± 32,14
1,8	<u>214–245</u> 227,0 ± 11,37	<u>31–79</u> 47,7 ± 19,20	<u>166–189</u> 179,3 ± 8,44
Среднее	260,6 ± 15,69	62,9 ± 8,94	197,7 ± 16,24

Примечание. В числителе – экстремальные, в знаменателе – средние значения, «±» – доверительный интервал.

**Поток органического вещества из поверхностных слоев в нижнюю часть торфяного профиля и максимально возможный линейный прирост торфа в некоторых типах болот России в современную эпоху**

Тип болот	Продуктивность фитомассы, кгАСВ/м <sup>2</sup> ·год	Плотность торфа в акротелме, кгАСВ/м <sup>3</sup>	Толщина акротелма, м	Константа разложения, A <sub>a</sub> ***	Поток органического вещества в катотелме, кгАСВ/м <sup>2</sup> ·год	Линейный прирост торфа, мм/год
Аааа	0,14–0,54	65–90	0,1–0,3	0,02–0,06	0,058	0,46–0,53
Грядово-мочажинные верховые	0,43–0,52	30–50	0,38–0,44* 0,42–0,49**	0,01–0,05	0,070	0,88–0,93
Верховые облесенные: европейская часть России, Западная Сибирь	0,30–0,63 0,21–0,63	30–50	0,49–0,54* 0,47–0,58**	0,01–0,04	0,063–0,079	0,79–0,84 1,00–1,10
Низинные (лесные)	0,78	140	0,85	0,06	0,02	0,10–0,20
Низинные травяно-лесные	0,72	100–110	0,49	0,01	0,10	0,70–0,90

Примечания. АСВ – абсолютно сухое органическое вещество; \* – данные полевых наблюдений, \*\* – расчетные данные, \*\*\* – параметр модели вертикального роста болот [16].

в эту аккумуляцию вносят грядово-мочажинные болота, занимающие более 40% площади современных болот [15].

Если сравнить линейный прирост верховых облесенных болот Западной Сибири и Европейской части России, то процесс заболачивания на первой территории в экстремальных значениях выше в 1,2–1,3 раза.

Суммарная аккумуляция углерода болотами России в настоящее время по нашим исследованиям составляет 37,6 млн т/год. Для расчетов использованы результаты определения площадей болот России С.М. Новикова и Л.И. Усовой [12] и данные по распределению площадей этих болот по их типам [15, 18]. Полученные результаты свидетельствуют о положительном балансе – о нетто-накоплении углерода, однако их явно недостаточно для окончательных выводов.

Таким образом, на основании вышесказанного можно предположить, что процесс болотообразования в

современных климатических условиях интенсифицируется в предстоящие десятилетия в северных регионах России, а интенсивность торфонакопления достигнет бореально-позднеатлантического уровня. Возможно, современная северная граница между полигональными и бугристыми болотами в Западной Сибири сместится к северу примерно на 100 км при глобальном потеплении на 1,4 °С и более чем на 400 км при увеличении температуры на 2,2 °С. Граница между бугристыми и олиготрофными болотами также передвинется к северу на 400 км (при потеплении на 1,4 °С) и более чем на 500 км (или примерно на 5 градусов широты) при повышении средней глобальной температуры на 2,2 °С.

**Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ (Госзадание ТГПУ 5.7004.2017/БЧ).**

## Литература

### Список русскоязычной литературы

1. Базилевич НИ. Биологическая продуктивность экосистем Северной Евразии. М.: Наука; 1993.
2. Бахнов ВК. Почвообразование: взгляд в прошлое и настоящее (биосферные аспекты). Новосибирск: Изд-во СО РАН; 2002.

3. Болота Западной Сибири. Иванова КЕ, Новикова СМ (ред.). Л.: Гидрометеиздат; 1976.
4. Глазовская МА. Способность окружающей среды к самоочищению. Природа. 1973;(3):71-9.
5. Елина ГА, Кузнецов ОЛ, Максимов АИ. Структурно-функциональная организация и динамика болотных экосистем Карелии. Л.: Наука; 1984.
6. Ефимова НА, Жильцова ЕЛ, Лемешко НА, Строкина ЛА. О сопоставлении изменений климата в 1981–2000 гг. с палеоаналогами глобального потепления. Метеорология и гидрология. 2004;(8):18-23.
7. Инишева ЛИ, Березина НА. Возникновение и развитие процесса заболачивания на Западно-Сибирской равнине. Вестник Томского государственного университета. 2013;(366):172-9.
8. Кобак КИ, Кондрасева НЮ, Лугина КМ, Торопова АА, Турчинovich ИЕ. Анализ многолетних метеорологических наблюдений в Северо-Западном регионе России. Метеорология и гидрология. 1999;(1):20-38.
9. Константинов ВК. Гидролесомелиоративная энциклопедия. СПб.: Гидрометеиздат; 2000.
10. Кузьмин ГФ. Болота и их использование. СПб.: НИИ торфяной промышленности; 1993.
11. Лисс ОЛ, Абрамова ЛИ, Аветов НА, Березина НА, Инишева ЛИ, Курнишкова ТВ, Слука ЗА, Толпышева ТЮ, Шведчикова НК. Болотные системы Западной Сибири и их природоохранное значение. Тула: Гриф и К°; 2001.
12. Новиков СМ, Усова ЛИ. Новые данные о площади болот и запасах торфа на территории России. В кн.: Динамика болотных экосистем Северной Евразии в голоцене. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2000. с. 49-52.
13. Пьявченко НИ. Торфяные болота, их природа и хозяйственное значение. М.: Наука; 1985.
14. Титлянова АА, Базилевич НИ, Снытков ВА. Биологическая продуктивность травянистых экосистем. Новосибирск: Наука; 1988.
15. Bolotnykh Ekosistem Karelii. Leningrad: Nauka; 1984. (In Russ.)
16. Yefimova NA, Zhiltsova EL, Lemeshko NA, Strokina LA. [A comparison of climatic changes in 1981–2000 with the paleontological analogues of global warming]. Meteorologiya i Gidrologiya. 2004;(8):18-23. (In Russ.)
17. Inisheva LI, Berezina NA. [The emergence and development of swamping on the West Siberian Plane]. Vestnik Tomskogo Gosudarstvennogo Universiteta. 2013;(366):172-9. (In Russ.)
18. Kobak KI, Kondrasheva NYu, Lugina KM, Tоропова AA, Turchinovich IE. [An analysis of long-term meteorological monitoring of the Northwest of Russia]. Meteorologiya i Gidrologiya. 1999;(1):20-38. (In Russ.)
19. Konstantinov VK. Gidrolesomeliorativnaya Entsiklopediya. Saint Petersburg: Gidrometeoizdat; 2000. (In Russ.)
20. Kuzmin GF. Bolota i Ikh Ispolzovaniye. Saint Petersburg: NII Torfyanoy Promyshlennosti; 1993. (In Russ.)
21. Liss OL, Abramova LI, Avetov NA, Berezina NA, Inisheva LI, Kurnishkova TV, Sluka ZA, Tolpysheva TYu, Shvedchikova NK. Bolotnye Sistemy Zapadnoy Sibiri i Ikh Prirodookhrannoye Znacheneye. Tula: Grif i K°; 2001. (In Russ.)
22. Novikov SM, Usova LI. [Novel data about bog area and peat reserves in Russia]. In: Dinamika Bolotnykh Ekosistem Severnoy Yevrazii v Golotsene. Petrozavodsk: Karelskiy Nauchnyi Tsentр RAN; 2000. p. 49-52.
23. Pyavchenko NI. Torfyaneye Bolota, Ikh Priroda i Khozyaystvennoye Znacheneye. Moscow: Nauka; 1985.
24. Titlyanova AA, Bazilevich NI, Snytkov VA. Biologicheskaya Produktivnost Travianistykh Ekosistem. Novosibirsk: Nauka; 1988.
25. Botch MS, Kobak KI, Vinson TS, Kolchugina TP. Carbon pools and accumulation in peatlands of the former Soviet Union. Global Biogeochem Cycles. 1995;9(1):37-46.
26. Clymo RS. Assessing the Accumulation of Carbon in Peatlands. Northern Peatlands in Global Climate Change. Helsinki: Publ. Academy of Finland; 1996:207-12.
27. Inisheva LI, Kobak KI, Turchinovich IE. Evolution of the paludification process, and carbon accumulation rate in bog ecosystems of Russia. Geography Nat Resources. 2013;34(3):246-53. DOI:10.1134/S1875372813030086.
28. Kobak KI, Kondrasheva NYu, Turchinovich IYe. Changes in carbon pools of peatland and forests in northwestern Russia during the Holocene. Glob Planet Change. 1998;(16-17):75-84.

#### Общий список литературы/Reference List

1. Bazilevich NI. Biologicheskaya Produktivnost Ekosistem Severnoy Yevrazii. Moscow: Nauka; 1993. (In Russ.)
2. Bahnov VK. Pochvoobrazovaniye: Vzgl'yad v Proshloye i Nastoyashcheye (Biosfernnyye Aspekty). Novosibirsk: SO RAN; 2002. (In Russ.)
3. Bolota Zapadnoy Sibiri. Ivanova KE, Novikova SM (Eds.). Leningrad: Gidrometeoizdat; 1976. (In Russ.)
4. Glazovskaya MA. [The ability of the environment to clean itself]. Priroda. 1973;(3):71-9. (In Russ.)
5. Yelina GA, Kuznetsov OL, Maksimov AI. Strukturno-funktsionalnaya Organizatsiya i Dinamika

# ОСОБЕННОСТИ ЕСТЕСТВЕННОГО ВОССТАНОВЛЕНИЯ ЛЕСНЫХ ЭКОСИСТЕМ НА БЫВШИХ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ЗЕМЛЯХ (НА ПРИМЕРЕ ЮЖНОГО АГРОКЛИМАТИЧЕСКОГО РАЙОНА КАРЕЛИИ)

**Е.В. Мошкина<sup>1</sup>, М.В. Медведева<sup>1</sup>, А.В. Туюнен<sup>1</sup>,  
А.Ю. Карпечко<sup>1</sup>, Н.В. Геникова<sup>1</sup>, И.А. Дубровина<sup>2</sup>,  
А.В. Мамай<sup>1</sup>, В.А. Сидорова<sup>2</sup>, О.В. Толстогузов<sup>3</sup>,  
Л.М. Кулакова<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> Институт леса, <sup>2</sup> Институт биологии и <sup>3</sup> Институт экономики, Карельский научный центр РАН, Петрозаводск, Россия

*Эл. почта: lena\_moshkina@mail.ru*

*Статья поступила в редакцию 18.12.2019; принята к печати 29.01.2020*

На примере южного агроклиматического района среднетаежной подзоны Карелии показан хронологический сукцессионный ряд восстановления лесных сообществ. Изучен период в 110 лет после забрасывания сенокосов и пашен, представленный 20–65–110-летними реперными древостоями. Процесс постагрогенной трансформации нарушенных участков идет в направлении формирования зональных типов экосистем. Для изучаемых условий характерно восстановление хвойных древостоев с постепенным снижением доли лиственных по мере приближения их к предельному возрасту. Показано, что внутри сукцессионного ряда происходит изменение свойств почв. Изменения экофизиологических показателей состояния микробиоценоза наиболее выражены в верхнем (0–20 см) слое почв. Переход пахотных почв в залежные земли приводит к накоплению органического углерода в слое 0–10 см, что вызывает усиление дыхательной активности почв и существенное увеличение пула микробного углерода в них. В слое 10–20 см, напротив, содержание углерода микробной биомассы самым высоким было в пахотной почве хронорядя. В целом, отмечено увеличение численности микроорганизмов важнейших эколого-трофических групп в ряду: ельник 110-летний, ельник 65-летний, березняк 20-летний, сенокос-пашня. Функциональная активность микробного сообщества была максимальной в почвах сенокоса и пашни. Показано, что через сто лет со времени выведения земель из сельскохозяйственного использования сформированные на них растительные сообщества становятся физиономически мало отличимыми от лесов, существовавших до освоения территории. Эти изменения могут быть идентифицированы по косвенным признакам. Одним из них является более высокая продуктивность древостоя по сравнению с участками, незатронутыми сельскохозяйственной деятельностью. Полученные данные комплексных исследований можно использовать при диагностике почв, находящихся на разных стадиях постагрогенной трансформации, также они могут быть основой при мониторинге природной среды.

*Ключевые слова: сукцессия, хронологический ряд, сообщества, почвы.*

## PATTERNS OF NATURAL FOREST ECOSYSTEM REGENERATION IN ABANDONED FARMLAND (THE CASE OF THE SOUTHERN AGRO-CLIMATIC DISTRICT OF KARELIA)

**Ye.V. Moshkina<sup>1</sup>, M.V. Medvedeva<sup>1</sup>, A.V. Tuyunen<sup>1</sup>, A.Yu. Karpechko<sup>1</sup>, N.V. Genikova<sup>1</sup>,  
I.A. Dubrovina<sup>2</sup>, A.V. Mamai<sup>1</sup>, V.A. Sidorova<sup>2</sup>, O.V. Tolstoguzov<sup>3</sup>, L.M. Kulakova<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> Forest Research Institute, <sup>2</sup> Institute of Biology, and <sup>3</sup> Institute of Economics, Karelian Research Centre, Russian Academy of Sciences, Petrozavodsk, Russia

*E-mail: lena\_moshkina@mail.ru*



The chronological succession series of forest communities regenerating in abandoned farmland is described. A period of 110 years since abandonment was studied based on reference stands aged 20–65–110 years. The typical process in the settings studied is the regeneration of coniferous stands with a gradual reduction in the share of deciduous stands as they are approaching their limit. These changes are accompanied by shifts in soil characteristics. Changes in microbial biocenoses are more apparent in the upper soil levels (0–20 cm). Transition from arable to fallow soil conditions results in organic matter accumulation at the level from 0 to 10 cm, which is associated with increasing respiratory activity and microbial carbon content. At the level of 10 to 20 cm, microbial carbon content is highest in the arable soil. The soil contents of microorganisms generally increases in the series from 110-years to 65-years old spruce forests and further on to 20-years old birch forest, grassland and arable land. A century after a land has been abandoned plant communities developed there are hardly discernible from native ones. Only indirect signs are indicative of the former. One of the signs is that the tree stands developing in abandoned farmland are far more productive than the stands that grow prior to cultivation. The results of the present study may be useful for diagnostics of soils at different stages of restoration after anthropogenic transformation and for environmental monitoring.

*Keywords:* succession, chronological series, communities, soils.

## ВВЕДЕНИЕ

Лесные экосистемы, восстанавливающиеся на землях, выбывших из сельскохозяйственного использования, являются эффективным поглотителем углерода [23, 26, 35, 37]. Спонтанное и управляемое облесение бывших сельскохозяйственных угодий рассматривается, наряду с другими мероприятиями, как реалистичный с экономических и экологических позиций способ снижения концентрации парниковых газов в атмосфере [34]. Леса на бывших сельскохозяйственных землях учитываются как поглотитель углекислого газа в рамках Киотского протокола при соответствии ими ряду критериев.

В странах Европы и Северной Америки перевод бывших пашен, сенокосов и пастбищ в лесные насаждения охватывает значительные площади. А в ряде стран, таких как Финляндия, Испания, Новая Зеландия, Индия, Уругвай, Канада, все земли, выводимые из сельскохозяйственного использования, занимают лесными насаждениями [13]. Лесовосстановление существенно сокращает площадь обрабатываемых земель, а следовательно, и перепроизводство сельскохозяйственной продукции [38], при этом обеспечивается секвестрирование углерода атмосферы в создаваемых лесных экосистемах, что согласуется с решениями Рамочной конвенции ООН по климатическим изменениям [36, 40]. В России за период 1990–1995 гг. площадь земель сельскохозяйственного назначения уменьшилась на 34 млн га [15]. Согласно данным государственного земельного учета, площадь сельскохозяйственных угодий, подверженных зарастанию лесом, превышает 10 млн га, что «следует рассматривать как реально существующий факт крупномасштабного восстановления лесных экосистем» [1]. Зарастание лесной растительностью свободных территорий – это естественный сукцессионный процесс, который наблюдается повсеместно в лесной зоне [15], в пределах которой расположено примерно 2/3 залежных земель [17]. По оценкам Д.И. Люри и соавт. [13], в Европейской части России общая площадь залежных земель,

подлежащих естественному лесовозобновлению, составляет около 36,3 млн га.

Большое количество зарубежных и отечественных работ посвящено изучению сукцессионных процессов на бывших сельскохозяйственных землях [22, 25, 41]. Показано, что лесовосстановление в одних и тех же физико-географических условиях может проходить по разным сценариям [8, 19], но в целом следует в направлении формирования зональных типов экосистем [6, 7, 13]. Характеристики восстанавливающихся экосистем находятся в зависимости как от условий, в которых они формируются (например, площади зарастающих земель, типа почвы, таксационных показателей окружающих насаждений), так и от различных показателей, характеризующих использование участков до их забрасывания [21, 24, 27]. Изучение динамики растительности, почвенного покрова и, как следствие, изменения запасов углерода по мере восстановления залежей представляется важным, так как они являются «интегральным показателем развития экосистемы» [13].

При восстановлении растительности в ходе постагрогенной сукцессии происходит изменение морфогенетических характеристик, а также физических и химических свойств почв [4, 7, 9–13, 28–33, 42]. Наименее изучена к настоящему времени динамика микробиологических свойств почв в ходе постагрогенной эволюции, хотя известно, что микробные сообщества почв весьма чутко реагируют на любые изменения природной среды, как естественные, так и антропогенные [2, 3, 14, 20, 39, 43].

Исследования постагрогенной трансформации природной среды на территории Карелии остаются немногочисленными. Они носят эпизодический характер и не учитывают специфики почв, природно-климатических особенностей, микробиологические показатели не рассматриваются.

В этой связи целью настоящей работы было на примере южного агроклиматического района Карелии установить основные особенности естественного ле-

совосстановления на бывших сельскохозяйственных землях. Данная цель предусматривала решение следующих основных задач: 1) исследование состояния древостоя и растений напочвенного покрова в ходе естественного лесовосстановления; 2) изучение отдельных свойств почв, находящихся на разных этапах трансформации экосистемы; 3) оценка микробиологических показателей почв естественных и антропогенно нарушенных экосистем.

Результаты исследований могут стать основой при проведении мониторинга природной среды, при диагностике почв агрогенно-нарушенных экосистем, находящихся на разных стадиях естественного лесовосстановления.

### ОБЪЕКТ И МЕТОДЫ

Объект исследований располагается вблизи города Петрозаводск, Республика Карелия (рис. 1), координаты центральной точки  $61^{\circ}44'53''\text{C}$   $34^{\circ}20'35''\text{E}$ . Он представляет собой используемый в течение длительного времени в качестве сельскохозяйственных угодий массив, включающий в себя как активно используемые до настоящего времени участки сенокосов и пашен, так и выбывшие из использования в последние несколько десятков лет участки с лесными фитоценозами, находящимися на разных стадиях восстановительных сукцессий. Методологической основой исследования тренда изменений почв в динамических

процессах на первом этапе была оценка базовых компонентов естественных и антропогенно нарушенных экосистем. Она включала в себя установление исторического прошлого территории (работа с архивными данными), климатических особенностей территории, почвообразующих пород, растений живого напочвенного покрова типа древостоя. Во-первых, для данной территории имеется почвенная карта крупного масштаба, показывающая, что все изучаемые участки приурочены к почвам легкосуглинистого механического состава. Легкосуглинистые почвы являются типичными для южно-таежной подзоны Республики Карелия. Во-вторых, имеются фондовые материалы, в частности аэрофото- и спутниковые снимки различной давности, позволяющие судить как о структуре территории в прошлом с точки зрения пространственной компоновки сельскохозяйственных угодий различного назначения, так и о сроках их забрасывания.

Построение хронологического сукцессионного ряда восстановления лесных экосистем осуществлялось на основании прямых наблюдений. Для этого первоначально с использованием фондовых материалов в пределах территории выявлялись потенциально ценные участки для изучения на основании таких верифицируемых параметров, как срок, прошедший с момента их забрасывания, и дешифрируемых показателей полога древостоя. Также выполнялось обширное рекогносцировочное обследование территории с подбором

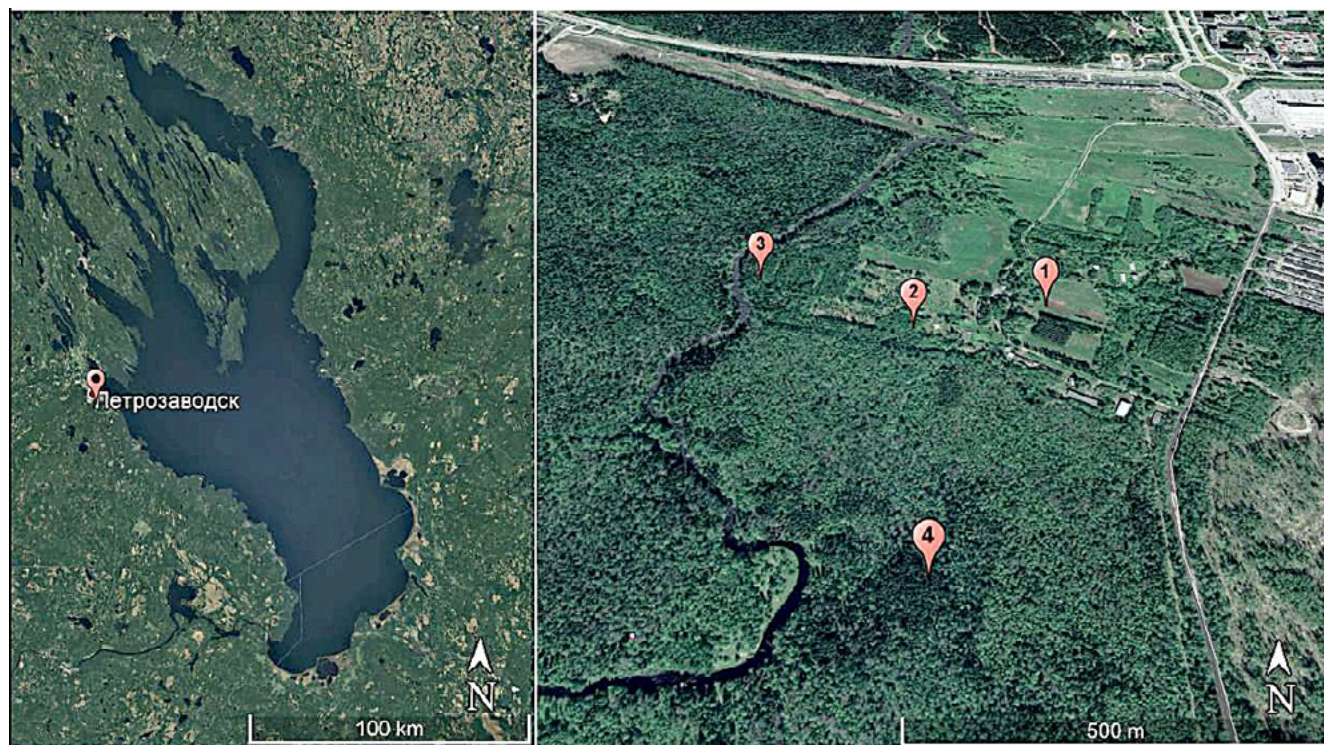


Рис. 1. Расположение пробных площадей: 1 – сенокос и пашня; 2 – березняк (20 лет); 3 – ельник (65 лет); 4 – ельник (110 лет)

перспективных для включения в хронологический ряд участков и одновременной проверкой древостоев, намеченных на включение в хроноряд в ходе камеральных работ. Рекогносцировочные (маршрутные) обследования также позволили составить общее представление о структуре и характеристиках лесного покрова изучаемой территории. Следует отметить, что для сукцессионного хроноряда подбирались лесные участки, имеющие сходные лесорастительные свойства, относящиеся к наиболее представленной в изучаемых условиях зеленомошной группе типов леса.

В границах отобранных участков выполняли закладку пробных площадей, на которых изучали характеристики современного растительного покрова с учетом существующих методических указаний [18]. Были выполнены геоботанические описания с оценкой общего проективного покрытия напочвенного покрова, проективного покрытия травяно-кустарничкового, мохово-лишайникового ярусов, опада и каждого вида растений. В соответствии с общепринятыми методиками (ОСТ 56-69-83) на пробных площадях методом сплошного перечета определялись таксационные характеристики изучаемых древостоев. Материалы обрабатывались по имеющимся указаниям, далее выполнялась статистическая оценка достоверности полученных данных.

Для изучения почв, сформировавшихся в различных условиях фитоценотической среды, на каждой пробной площади закладывали полнопрофильные почвенные разрезы, для более детального исследования почвенного покрова делали прикопки. Таксономическую принадлежность почв устанавливали в соответствии с почвенной классификацией 2004 г.

Учет численности микроорганизмов различных функциональных групп, трофическую и таксономическую структуру микробоценозов проводили методом посевов на селективные питательные среды. Количество бактерий, использующих органические формы азота, учитывали на мясопептонном агаре (МПА), ассимилирующих минеральный азот – на крахмало-аммиачном агаре (КАА), бацилл – на среде МПА + суслоагар, олигонитрофилов – на среде Эшби, олиготрофных микроорганизмов – на почвенном агаре (ПА). Численность актиномицетов определяли на КАА. Комплекс целлюлозоразрушающих микроорганизмов (КЦМ) изучался на среде Гетчинсона. Микроскопические грибы подсчитывали на суслоагаре с лимонной кислотой. Численность микроорганизмов выражали в колониеобразующих единицах (КОЕ) на грамм абсолютно сухой почвы.

Субстрат-индуцированное дыхание (СИД) оценивали по скорости начального максимального дыхания микроорганизмов после обогащения почвы глюкозой. Углерод микробной биомассы ( $C_{\text{мик}}$ ,  $МБ_{\text{СИД}}$ ) рассчитывали по формуле:  $C_{\text{мик}}$  (мкг С  $\times$  г<sup>-1</sup> почвы) =

(мкл  $CO_2 \times$  г<sup>-1</sup> почвы  $\times$  ч<sup>-1</sup>)  $\times$  40,04 + 0,37. Базальное дыхание (БД) определяли по скорости выделения  $CO_2$  почвой за 24 часа инкубации при 22 °С и 60% ПВ. Скорость БД выражали в мкг С- $CO_2 \times$  г<sup>-1</sup> почвы  $\times$  ч<sup>-1</sup>. Микробный метаболический коэффициент рассчитывали как соотношение скоростей выделения  $CO_2$  из необогащенной почвы и почвы, в которую вносили избыток глюкозы:  $БД/СИД = qCO_2$ . Анализ проводили в трехкратной повторности, на графиках представлены средние  $\pm$  стандартные отклонения.

Безусловно, спектр изучаемых показателей может быть расширен, однако для выявления и выбора «пологовых» значений антропогенной нагрузки на экосистему он представляется достаточным и может быть экстраполирован на почвы Северо-Запада России.

## РЕЗУЛЬТАТЫ

Начальный этап лесовосстановления вышедших из использования сельскохозяйственных земель представляет собой процесс зарастания их древесными растениями до момента смыкания крон и, соответственно, формирования сомкнутых древостоев. На изучаемой территории для этих древостоев характерно доминирование в составе исключительно лиственных пород, представленных березой пушистой, ивой козьей и ольхой серой в различных, самых разнообразных соотношениях. В модельном древостое (табл. 1) возрастом 20 лет число стволов на гектар составило 20584 при средней высоте 8,1 м. Это соответствует II классу бонитета и запасу, достигающему 149 м<sup>3</sup>/га. Общее проективное покрытие напочвенного покрова составляет 40%. Доминантом является вейник лесной *Calamagrostis arundinaceae* (L.) Roth. Покрытие других видов незначительно, но в целом видовой состав данного лесного сообщества свидетельствует как о богатстве местообитания (таволга вязолистная *Filipendula ulmaria* (L.), щитовник картузианский *Dryopteris carthusiana* (Vill.) Н.Р. Fuchs, грушанка круглолистная *Pyrola rotundifolia* L., вероника дубравная *Veronica chamaedrys* L. и др.), так и о недавнем использовании участка в качестве сельхозугодья (горошек мышиный *Vicia cracca* L., щавель кислый *Rumex acetosa* L.) Моховой покров развит слабо (10%). Таким образом, формирующиеся древостои характеризуются высокой энергией роста и активным накоплением фитомассы.

Следует отметить, что в них отсутствует подрост ели. Это может объясняться несколькими причинами, в первую очередь – недостаточностью доступных источников семян. Кроме того, для хвойных характерно чередование годов с высоким и низким урожаем шишек и семян, что в случае с заселением вышедших из использования сельхозугодий представляется важным, поскольку лиственные с высоким урожаем семян могут выступать пионерами при заселении за-

брошенных угодий ежегодно. Также в напочвенном покрове изучаемого древостоя было отмечено присутствие злаков, которые образуют дернину, осложняющую прорастание семян хвойных пород на начальных этапах зарастания участка. Сочетание перечисленных выше факторов определяет представленность исключительно лиственных древостоев на начальных стадиях восстановления лесных экосистем на изучаемой территории.

К возрасту 65 лет в значительной степени завершен процесс естественного изреживания древостоя, особенно характерный для молодняков. К этому возрасту изучаемые сообщества характеризуются преобладанием ели в связи с частичным отпадом лиственных пород, входящих в их состав. Густота модельного древостоя возрастом 65 лет (табл. 1) составляет 2065 экз./га. Вследствие высокой сомкнутости древесного полога и, следовательно, слабого развития напочвенного покрова, общее проективное покрытие которого составляет 20%, покрытие опада достигает 95%. В травяно-кустарничковом ярусе преобладают кислица *Oxalis acetosella* L. (15%) и щитовник картузианский *Dryopteris carthusiana* (10%), обилие других видов (кочедыжник женский *Athyrium filix-femina* (L.) Roth., голокучник трехраздельный *Gymnocarpium dryopteris* (L.) Newm., золотая розга обыкновенная *Solidago virgaurea* (L.), костяника *Rubus saxatilis* L., ортилия однобокая *Orthilia secunda* (L.) House и др.) незначительно. Проективное покрытие мохово-лишайникового яруса составляет всего 5% (плеуризиум Шребера

*Pleurozium schreberi* (Willd. ex Brid.) Mitt., дикранум метловидный *Dicranum scoparium* Hedw., родобриум розовый *Rhodobryum roseum* (Hedw.) Limpr. и др.). До этого возраста на развитии древостоя продолжает сказываться прошедшее использование участка с сельскохозяйственными целями, энергия роста довольно высокая: при средней высоте 13,9 м древостой относится ко II классу бонитета с запасом 289 м<sup>3</sup>/га, в то время как производные черничные ельники, возникшие на месте, например, сплошнолесосечных рубок, типичные для изучаемых условий, как правило, растут по классу бонитета III–III½. Для древостоя характерно появление под его пологом благонадежного возобновления ели возрастом 15–25 лет и общей численностью порядка 1000 экз./га, что при дальнейшем его развитии может служить основой для второго поколения ели.

К возрасту 110 лет происходит практически полный отпад лиственного компонента древостоев с формированием приуроченных для данных условий ельников. Немногочисленные оставшиеся в составе полога модельного древостоя экземпляры березы и осины имеют предельный для данных условий возраст, также имеется значительное количество сухостойных стволов и валежа этих лиственных пород на начальных стадиях разложения. Следует отметить, что к возрасту 110 лет из состава древостоя полностью исчезают ива козья и ольха серая, поскольку их предельный возраст составляет около 80 лет. Бонитет, как и для древостоев, находящихся на более ранних этапах развития сукцессион-

Табл. 1

Таксационная характеристика древостоев

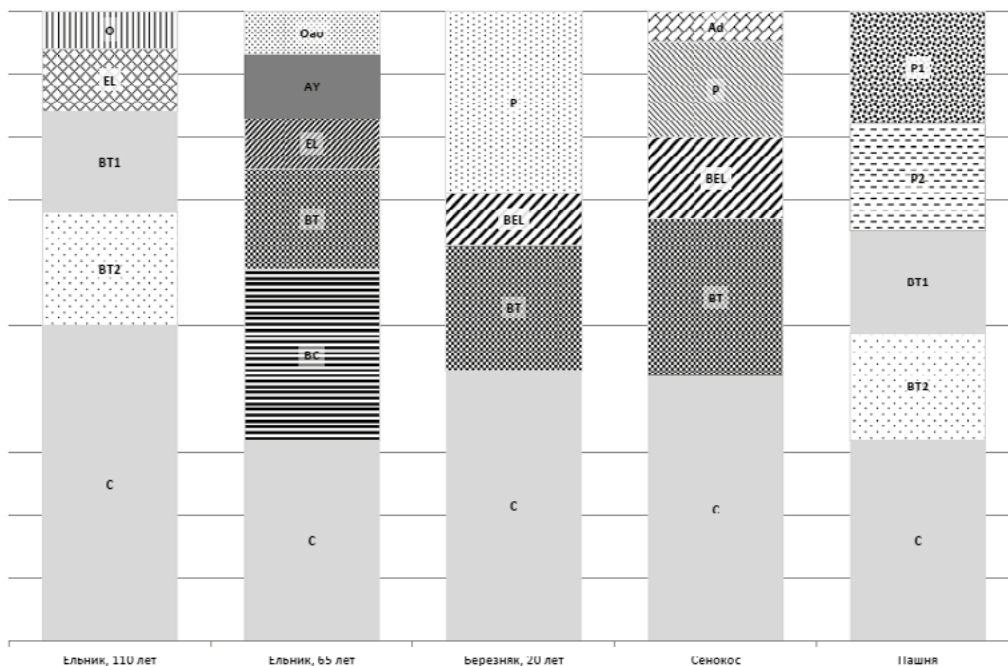
ПП	Древесная порода	Запас, м <sup>3</sup> /га	Состав	Число стволов на 1 га	Средний диаметр, см	Средняя высота, м	Сумма площадей сечений, м <sup>2</sup> /га
1	Ива	77,0	38Б52Ивк10Олс	11167	4,4	6,4	16,6
	Береза	56,1		8750	3,9	8,1	10,2
	Ольха	15,6		667	7,7	8,9	3,05
2	Ель	193,0	67Е16Олс12Ос5Б	1444	14,6	13,9	24,1
	Ольха	37,7		222	17,6	14,8	5,42
	Осина	29,2		44	31,4	18,3	3,44
	Береза	15,6		44	23,7	17,2	1,96
	Рябина	9,3		267	8,6	10,4	1,6
	Ива	4,1		44	13,8	13,5	0,62
3	Ель	459,0	95Е4Б1Ос	575	28,5	27,3	36,8
	Береза	17,5		71	17,3	23,3	1,69
	Осина	3,3		4	31,9	25,0	0,29

ных процессов, примерно на класс выше, чем в схожих по лесорастительным условиям производных лесах на ненарушенных землях такого же возраста. Запас древостоя в указанном возрасте достигает 480 м<sup>3</sup>/га при численности стволов равной 650 экз./га. Напочвенный покров характеризуется высоким проективным покрытием черники *Vaccinium myrtillus* L. (40%). Также заметно участие кислицы *Oxalis acetosella* L. (15%), брусники *Vaccinium vitis-idaea* L. (10%) и луговика извилистого *Avenella flexuosa* (L.) Drej (7%). Из мхов преобладают плеуразиум Шребера *Pleurozium schreberi* (Willd. ex Brid.) Mitt (20%) и сфагнум Гиргензона *Sphagnum girgensohnii* Russow (15%). Кроме того, были отмечены следующие виды: политрихум кукушкин лен обыкновенный *Polytrichum commune* Hedw., птилиум гребенчатый *Ptilium crista-castrensis* (Hedw.) De Not., ритидиадельфус трехгранный *Rhytidiadelphus triquetrus* Warnst.

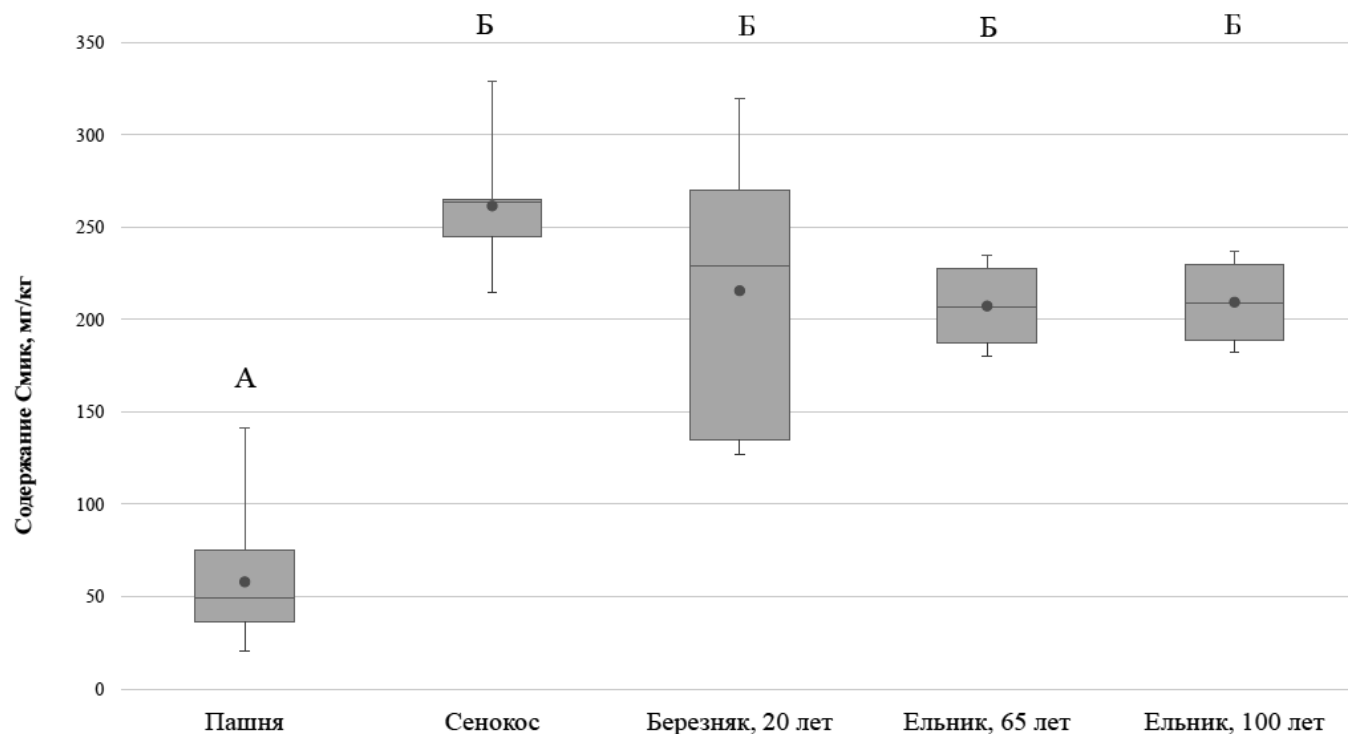
Почвы участков подзолистые легкосуглинистые нормального увлажнения, сформированы на суглинистой морене разной степени завалуненности. Для всех почв характерен укороченный профиль порядка 50–70 см, что типично для условий Карелии. Основные отличия в их морфологическом строении обусловлены различной степенью и давностью антропогенного воздействия (рис. 2). Так на пашне почва утрачивает строение, характерное для естественных подзолистых почв, что позволяет отнести ее к отряду агроземов. В ходе сукцессии на участках сенокоса и

леса 20 лет наблюдаются признаки частичного восстановления текстурной дифференциации профиля. На участке леса 65 лет почва близка по морфологическому строению к естественным зональным почвам, но в ней еще наблюдаются признаки постагрогенной трансформации. Данные признаки полностью отсутствуют под лесом 110 лет, где формируется типичная подзолистая почва с характерной текстурной дифференциацией профиля и отсутствием гумусово-аккумулятивного горизонта. Для почв постагрогенной сукцессии характерно повышенное содержание органического вещества в верхней части профиля, что определяет высокую продукционную способность древостоя изучаемых участков (табл. 1).

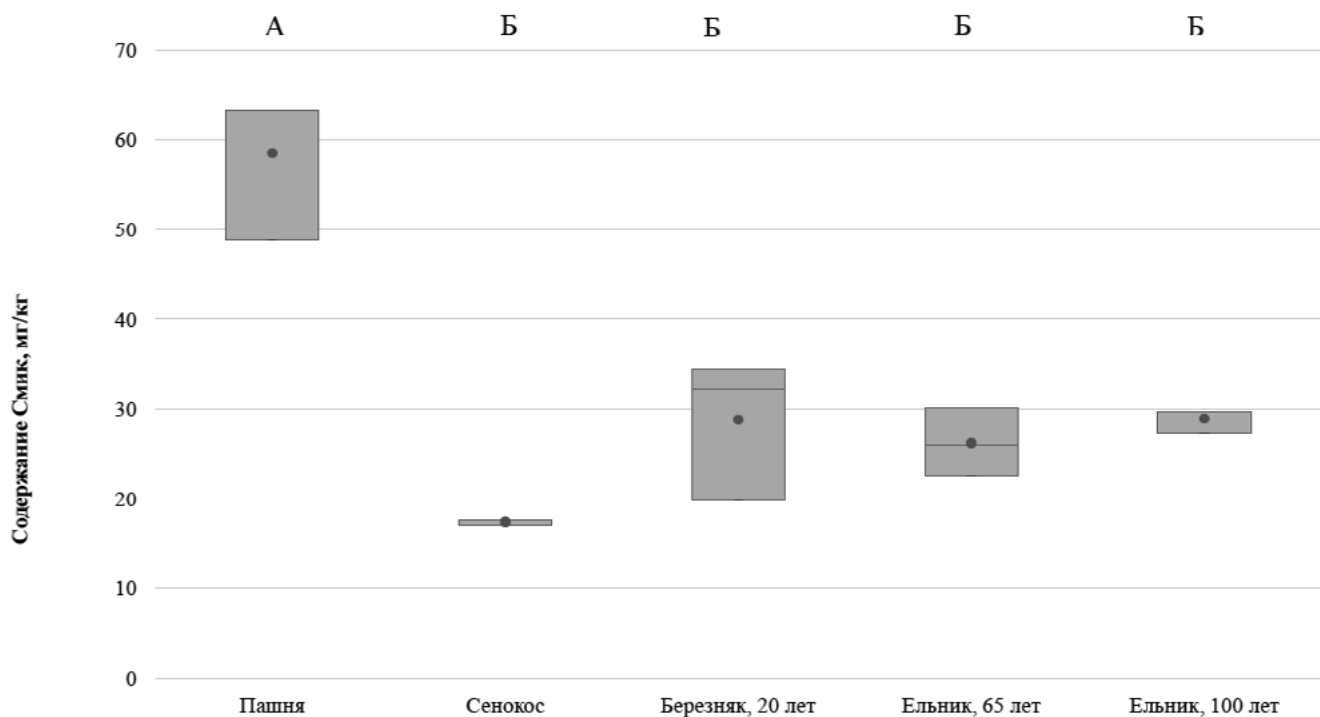
Была изучена микробиологическая активность постагрогенных подзолистых легкосуглинистых почв. Дыхательная активность (базальное дыхание,  $V_{\text{basal}}$ ) всех изученных почв в слое 0–10 см бывшего пахотного горизонта сильно варьировала (от 3 до 64 мг/кг сут). В пределах хронорядя наблюдался выраженный рост дыхательной активности почв по направлению от пашни к лесу. Содержание углерода микробной биомассы ( $C_{\text{мик}}$ ) в слое 0–10 см также очень чувствительно откликлось на изменение землепользования (рис. 3). Содержание  $C_{\text{мик}}$  было минимальным на пашне, а затем в ходе постагрогенной сукцессии по мере восстановления лесной растительности и растительности напочвенного покрова содержание  $C_{\text{мик}}$  значительно увеличивалось.



**Рис. 2.** Морфологическое строение почвенных профилей (на глубину 100 см) изучаемого сукцессионного ряда: ельник 110 лет – подзолистая типичная; ельник 65 лет – дерново-подзолистая постагрогенная; березняк 20 лет – агродерново-подзолистая типичная; сенокос – агродерново-подзолистая типичная; пашня – агрозем текстурно-дифференцированный типичный



**Рис. 3.** Динамика содержания углерода микробной биомассы (мг/кг) в верхнем минеральном слое почв (0–10 см) изучаемого сукцессионного ряда



**Рис. 4.** Динамика содержания углерода микробной биомассы (мг/кг) в слое почв 10–20 см изучаемого сукцессионного ряда

В нижней части бывшего пахотного горизонта (10–20 см) дыхательная активность всех почв (за исключением пашни) заметно снижалась по сравнению с верхней частью 1,5–2 раза и составила от 1 до 13 мг/кг сут. Наиболее существенное снижение базального дыхания по мере увеличения глубины наблюдалось под лесной растительностью. Возможно, это обусловлено обеднением этого слоя доступным органическим веществом в результате его выщелачивания в нижележащие горизонты и подкислением, что неблагоприятно воздействует на активность микробиоценоза.

В отличие от слоя 0–10 см, в нижней части пахотного горизонта содержание  $C_{\text{мик}}$  было обычно самым высоким в пахотной почве хронорядя (рис. 4). Разница в содержании  $C_{\text{мик}}$  между верхней и нижней частями бывшего пахотного горизонта в почвах разновозрастных залежей составляла 20–50%, в то время как в лесных ценозах она достигала 70%. Таким образом, в ходе лесовосстановительной сукцессии имело место усиление дифференциации профиля по содержанию  $C_{\text{мик}}$ , которое очевидно обусловлено, главным образом, сходными процессами дифференциации почвенного профиля по содержанию  $C_{\text{орг}}$ .

Таким образом, при восстановлении лесной растительности на бывших пахотных почвах произошло существенное увеличение пула микробной биомассы, который в свою очередь привел к усилению их

дыхательной активности. Взаимосвязь между  $C_{\text{мик}}$  и  $V_{\text{basal}}$  была достаточно тесной в пределах всего ряда изученных почв и на всех глубинах.

Проведенные исследования показали, что величина одного из индикаторных экофизиологических показателей состояния микробных сообществ, метаболического коэффициента  $q\text{CO}_2$ , в бывшем пахотном горизонте изучаемых почв варьировала от 0,37 до 0,86. Высокие значения  $q\text{CO}_2$ , близкие к 1, характеризуют интенсивные процессы разложения органического вещества. Наиболее часто встречающиеся значения  $q\text{CO}_2$  около 0,49 указывают на то, что микробиоценозы изучаемых почв находятся в достаточно «комфортных» условиях по содержанию доступных питательных веществ и по температурно-влажностным условиям.

Результаты микробиологических исследований показали, что наибольшее количество сапрофитных бактерий развивается в верхних горизонтах почв, сформировавшихся под сенокосом и 20-летним березняком (рис. 5). Аммонифицирующие аэробные гетеротрофные бактерии в данных почвах также представлены в максимальном количестве. Они, как известно, окисляют азотсодержащие органические вещества до аммиака и аммиачных солей. Высокая численность бактерий-олигонитрофилов в данных почвах свидетельствует об интенсивно происходящей в почвах не

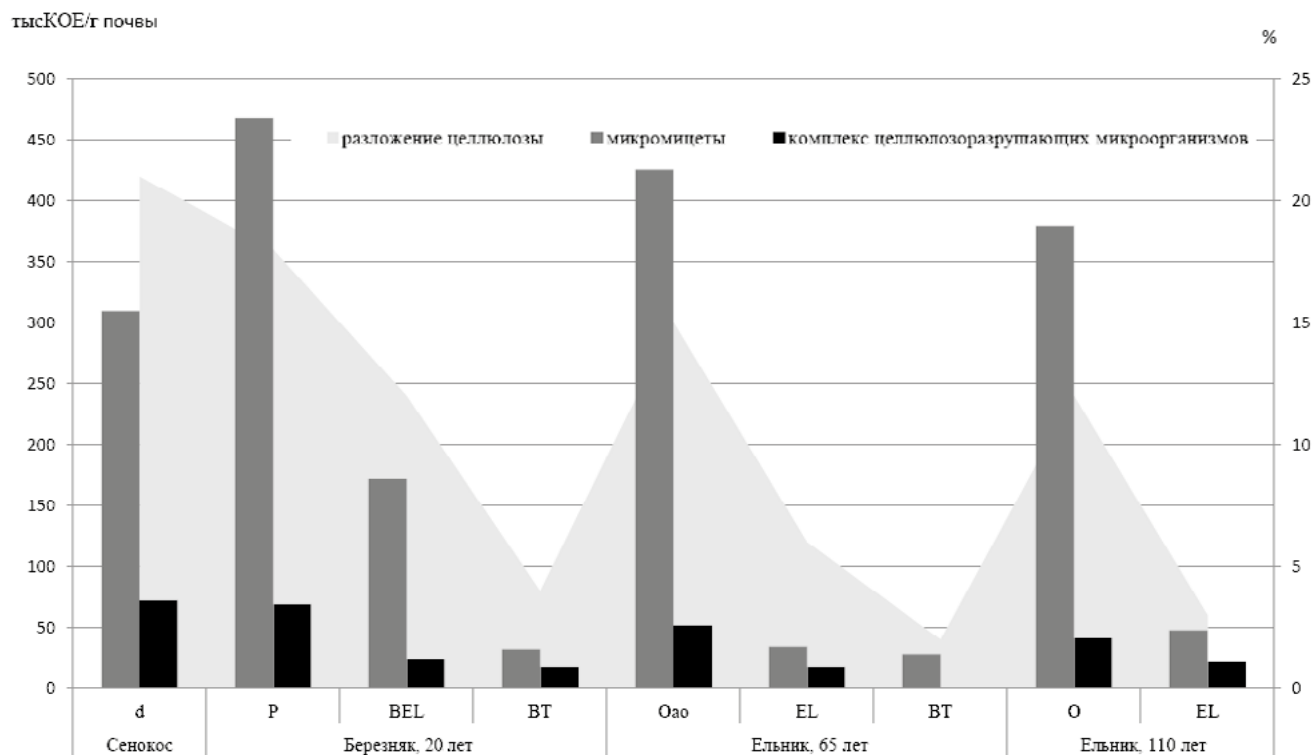
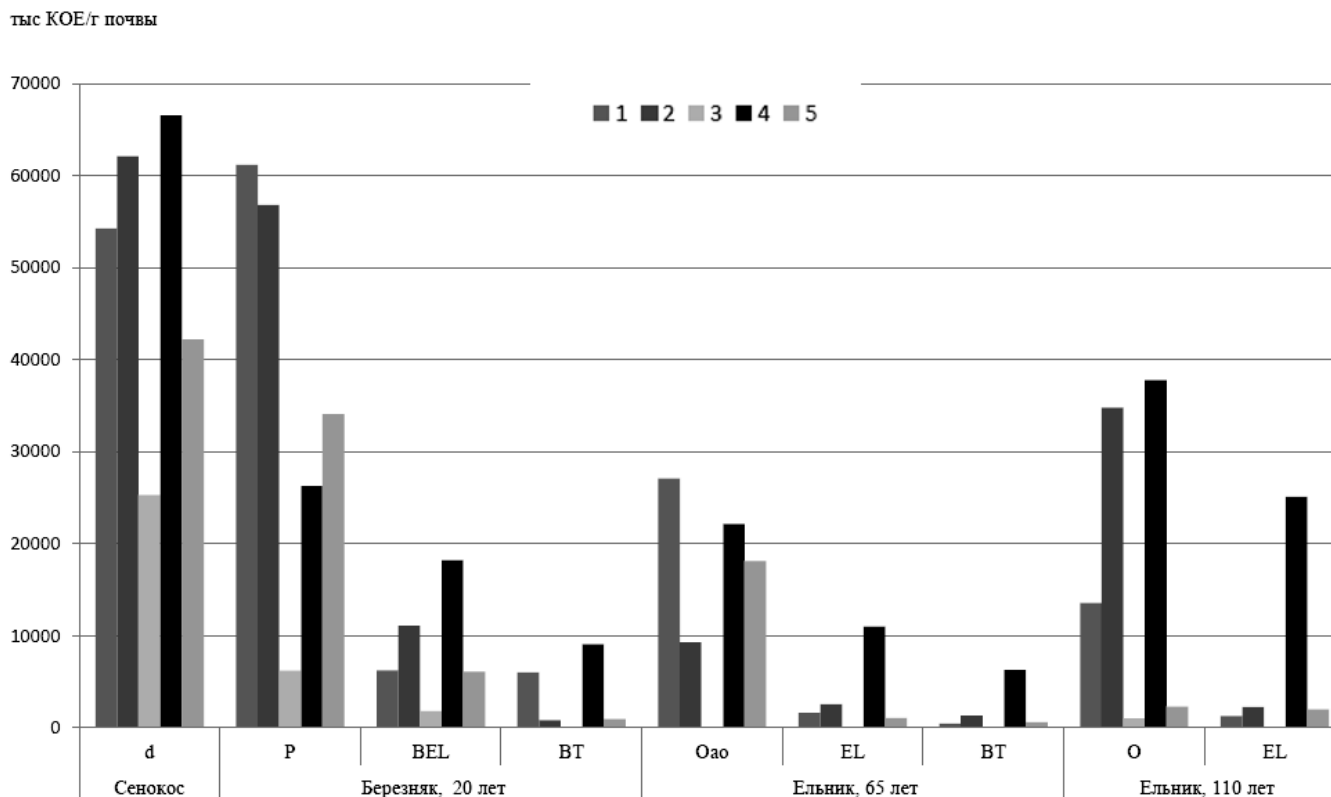


Рис. 5. Численность различных групп микроорганизмов и их функциональная активность в почвах исследуемых биогеоценозов



**Рис. 6.** Эколого-трофическая структура микробного сообщества почв, находящихся на разных стадиях лесовосстановления: 1 – бактерии, усваивающие N-NH<sub>4</sub>; 2 – бактерии, утилизирующие N-NH<sub>4</sub>; 3 – актиномицеты; 4 – олигонитрофилы; 5 – олиготрофы; d – дернина; P – агрогумусовый горизонт; BEL – субэлювиальный горизонт; BT – текстурный горизонт; Оао – лесная подстилка; EL – элювиальный горизонт; О – лесная подстилка

симбиотической азотфиксации, а следовательно, дополнительном поступлении элементов-биофилов в экосистему. Необходимо отметить роль актиномицетов в микробном сообществе почв, сформировавшихся под березняком и сенокосом. Эта группа микроорганизмов способна разлагать целлюлозу, тем самым вовлекая углерод в его природный круговорот.

Численность микроскопических грибов в исследуемых почвах высокая, тенденция ее изменения отмечена при формировании еловых древостоев (рис. 6).

Активность разложения целлюлозного полотна в почвах агрогенно-нарушенных экосистем высокая, что подтверждает интенсивную «оборачиваемость» элементов-биофилов в данных условиях.

В целом закономерность распределения важнейших эколого-трофических групп микроорганизмов идентична в почвах, сформировавшихся под еловыми ценозами: коэффициент минерализации и индекс олиготрофности имеют близкие значения. Напротив, в почвах, сформировавшихся под сенокосом и березняком, характер распределения иной, что «сближает» данные почвы между собой, свидетельствует об их нарушении в прошлом.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Изученные пробные площади характеризуются относительно высоким видовым разнообразием (по 11–14 видов сосудистых растений) и присутствием эвтрофов. Единственным видом, общим для всех лесных сообществ, является щитовник картузианский, типичный для ельников черничных, в том числе антропогенно нарушенных. Сравнение пробных площадей по видовому составу сосудистых растений с помощью коэффициента Жаккара показало, что наибольшим сходством закономерно обладают ельники 65 и 110 лет ( $K_j = 0,86$ ). Сходство исследованных ельников с березняком крайне низкое ( $K_j = 0,12–0,14$ ), что позволяет сделать вывод о средообразующем влиянии древесного яруса на видовой состав напочвенного покрова. Наибольшее количество апофитов отмечено в березняке разнотравном – 6 видов, в ельниках 65 и 110 лет – 3 и 2 вида, соответственно. Резкая смена доминантов и большое количество видов-апофитов в напочвенном покрове разнотравного березняка обусловлена историей использования исследованных участков в качестве сельхозугодий.



В ходе постагрогенной сукцессии происходит изменение свойств почв внутри сукцессионного ряда, наиболее выраженные изменения отмечены в слое 0–20 см. Изменение эдафических условий в результате агрогенной трансформации природной среды приводит к изменению микробиологических показателей, которые хорошо индицируются изменением численности микроорганизмов важнейших эколого-трофических групп, функциональной активностью микробного сообщества.

В условиях Карелии восстановление лесных экосистем на месте бывших сельскохозяйственных угодий происходит по двум принципиально возможным вариантам: формирование типичных для таежной зоны смешанных древостоев с преобладанием хвойных пород (как правило, еловых) за период существования одного пионерного поколения лиственных пород или относительно редко встречающееся формирование длительно-производных лиственных древостоев с неопределенным сроком существования, в которых одно

поколение лиственных пород сменяет другое несколько раз, что особенно характерно для сероольшанников. Для изучаемой территории, покров которой представлен довольно богатыми почвами, типичен вариант формирования зональных экосистем за период, равный сроку существования в данных условиях лиственных пород. Таким образом, через 100–110 лет после забрасывания сельскохозяйственных земель сформировавшиеся на них сообщества становятся физиономически мало отличимыми от лесов, существовавших до освоения территории. Они могут идентифицироваться только по косвенным признакам, одним из которых является значительно более высокая продуктивность по сравнению с участками, не вовлекавшимися в прошлом в сельскохозяйственное использование.

УВЕДОМЛЕНИЕ: Исследования проведены при финансовой поддержке РФФИ (грант № 19-29-05153).

## Литература

### Список русскоязычной литературы

1. Агроэкологическое состояние и перспективы использования земель России, выбывших из активного сельскохозяйственного оборота. М.: Росинформагро-тех; 2008.
2. Ананьева НД, Благодатская ЕВ, Демкина ТС. Оценка устойчивости микробных комплексов к природным и антропогенным воздействиям. Почвоведение. 2002;(5):580-7.
3. Ананьева НД, Стольников ЕВ, Сусьян ЕА, Ходжаева АК. Грибная и бактериальная микробная биомасса (селективное ингибирование) и продуцирование CO<sub>2</sub> и N<sub>2</sub>O дерново-подзолистыми почвами постагрогенных биогеоценозов. Почвоведение. 2010;(11):1387-93.
4. Базыкина ГС, Скворцова ЕБ, Тонконогов ВД, Хохлов СФ. Влияние составляющих водного баланса и температурного режима на свойства постагрогенных дерново-подзолистых почв Подмоскovie. Почвоведение. 2007;(6):685-97.
5. Владыченский АС, Телеснина ВМ. Сравнительная характеристика постагрогенных почв южной тайги в разных литологических условиях. Вестник МГУ Сер. 17. Почвоведение. 2007;(4):3-10.
6. Владыченский АС, Телеснина ВМ, Чалая ТА. Влияние растительного опада на химические свойства и биологическую активность постагрогенных почв южной тайги. Вестник МГУ. Сер. 17. Почвоведение. 2012;(1):3-10.
7. Ермолаев АМ, Ширшова ЛТ. Влияние погодных условий и режима использования сенокосного луга на продуктивность травостоя и свойства серых лесных почв. Почвоведение. 2000;(12):1501-8.
8. Залесов СВ, Магасумова АГ, Юровских ЕВ. Зарастание бывших сельскохозяйственных угодий в Слободо-Туринском районе Свердловской области. Леса России и хозяйство в них. 2010;(3):14-23.
9. Кечайкина ИО, Рюмин АГ, Чуков СН. Постагрогенная трансформация органического вещества дерново-подзолистых почв. Почвоведение. 2011;(10):1178-93.
10. Кузнецова ИВ, Тихонравова ПИ, Бондарев АГ. Изменение свойств залежных серых лесных почв. Почвоведение. 2009;(9):1442-50.
11. Литвинович АВ, Павлова ОЮ, Чернов ДВ, Фомина АС. Изменение гумусного состояния дерново-подзолистой песчаной почвы при окультуривании и последующем исключении из хозяйственного оборота. Агрохимия. 2004;(8):13-9.
12. Литвинович АВ, Павлова ОЮ, Дричко ВФ, Чернов ДВ, Фомина АС. Деградация кислотно-основных свойств окультуренной дерново-подзолистой песчаной почвы в зависимости от срока нахождения в залежи. Почвоведение. 2005;(10):1232-9.
13. Люри ДИ, Горячкин СВ, Караева НА, Денисенко ЕА, Нефедова ТГ. Динамика сельскохо-

зййственнх земель в ХХ веке и постагрогенное восстановление растительности и почв. М.: ГЕОС; 2010.

14. Мостовая АС, Курганова ИН, Лопес де Гереню ВО, Хохлова ОС, Русаков АВ, Шаповалов АС. Изменение микробиологической активности серых лесных почв в процессе естественного лесовосстановления. Вестник Воронежского гос. университета. Сер. Химия, биология, фармацевция. 2015;(2):64-72.
15. Панкова ЕИ, Новикова АФ. Деградиационные почвенные процессы на сельскохозяйственных землях России. Почвоведение. 2000;(3):366-79.
16. Перепечина ЮИ, Глушенков ОИ, Корсиков РС. Оценка лесов, расположенных на землях сельскохозяйственного назначения в Брянской области. Лесотехнический журнал. 2015;1(17):74-84.
17. Рыжова ИМ, Ерохова АА, Подвезенная МА. Изменение запасов углерода в постагрогенных экосистемах в результате естественного восстановления лесов в Костромской области. Лесоведение. 2015;(4):307-17.
18. Сукачев ВН, Зонн СВ. Методические указания к изучению типов леса. М.: АН СССР; 1961.
19. Уткин АИ, Гульбе ТА, Гульбе ЯИ, Ермолова ЛС. О наступлении лесной растительности на сельскохозяйственные земли в Верхнем Поволжье. Лесоведение. 2002;(5):44-52.

#### Общий список литературы/Reference List

1. Agroekologicheskoye Sostoyaniye i Perspektivy Ispolzovaniya Zemel Rossii, Vybyvshikh iz Aktivnogo Selskokhozyaystvennogo Oborota. Moscow: Rosinformagro-Tekh; 2008. (In Russ.)
2. Ananyeva ND, Blagodatskaya EV, Demkina TS. [Estimating the resistance of soil microbial complexes to natural and anthropogenic impacts]. Pochvovedeniye. 2002;(5):580-7. (In Russ.)
3. Ananyeva ND, Stolnikova EV, Susyan EA, Khodzhaeva AK. [The fungal and bacterial biomass (selective inhibition) and the production of CO<sub>2</sub> and N<sub>2</sub>O by sod-podzol soils of postagrogenic biogeocenoses]. Pochvovedeniye. 2010;(11):1387-93. (In Russ.)
4. Bazykina GS, Skvortsova EB, Tonkonogov VD, Khokhlov SF. [Water budget items and temperature regime of postagrogenic sod-podzol soils of Moscow region and their effect on soil properties]. Pochvovedeniye. 2007;(6):685-97. (In Russ.)
5. Vladychenskiy AS, Telesnina VM. [Comparative characteristic of south taiga postagrogenic soil humus indexes for different litology conditions]. Vestnik MGU Ser 17 Pochvovedeniye. 2007;(4):3-10. (In Russ.)
6. Vladychenskiy AS, Telesnina VM, Chalaya TA. [Plant leaf fall influence on biological activity of

south taiga post agrogenic soils]. Vestnik MGU Ser 17 Pochvovedeniye. 2012;(1):3-10. (In Russ.)

7. Yermolayev AM, Shirshova LT. [Influence of climate conditions and management of sown meadows on the herbage productivity and properties of gray forest soils]. Pochvovedeniye. 2000; (2):1501-8. (In Russ.)
8. Zalesov SV, Magasumova AG, Yurovskikh EV. [Regeneration of former agricultural lands in Slovdoto-Turinsky district of Sverdlovsk region]. Lesa Rossii i Khozyaystvo v Nikh. 2010;(3):14-23. (In Russ.)
9. Kechaykina IO, Ryumin AG, Chukov SN. [Post-agrogenic transformation of organic matter in soddy-podzolic soils]. Pochvovedeniye. 2011;(10):1178-93. (In Russ.)
10. Kuznetsova IV, Tikhonravova PI, Bondarev AG. [Changes in the properties of cultivated gray forest soils after their abandoning]. Pochvovedeniye. 2009;(9):1442-50. (In Russ.)
11. Litvinovich AV, Pavlova OYu, Chernov DV, Fomina AS. [Changes in the humus status of sandy sod-podzol soil under cultivation and following removal from the economic cycle]. Agrokhimiya. 2004;(8):13-9. (In Russ.)
12. Litvinovich AV, Pavlova OYu, Drichko VF, Chernov DV, Fomina AS. [Changes in the acid-base properties of cultivated sandy sod-podzol soils as related to the layland state duration]. Pochvovedeniye. 2005;(10):1232-9. (In Russ.)
13. Lyuri DI, Goryachkin SV, Karayeva NA, Denisenko EA, Nefedova TG. Dinamika Selskokhoziaystvennykh Zemel v XX Veke i Postagrogennoye Vosstanovleniye Rstitelnosti i Pochv. [Dynamics of Agricultural Lands of Russia in the XX Century and Postagrogenic Restoration of Vegetation and Soils]. Moscow: GEOS; 2010. (In Russ.)
14. Mostovaya AS, Kurganova IN, Lopes de Gerenyu VO, Khokhlova OS, Rusakov AV, Shapovalov AS. [Changes in the microbial activity of gray forest soils during the natural reforestation]. Vestnik Voronezhskogo Gosugarstvennogo Universiteta Ser Khimiya Biologiya Farmatsiya. 2015;(2):64-72. (In Russ.)
15. Pankova EI, Novikova AF. [Soil degradation processes on agricultural lands of Russia]. Pochvovedeniye. 2000;(3):366-79. (In Russ.)
16. Perepechina YuI, Glushenkov OI, Korsikov RS. [Evaluation of forests located on agricultural lands in Bryansk region]. Lesotekhnicheskiy Zhurnal. 2015;1(17):74-84. (In Russ.)
17. Ryzhova IM, Yerokhova AA, Podvezennaya MA. [Alterations of the carbon storages in postagrogenic ecosystems due to natural reforestation in Kostroma Oblast]. Lesovedeniye. 2015;(4):307-17.
18. Sukachev VN, Zonn SV. Metodicheskiye Ukazaniya k Izucheniyu Lesa. [Manual of Forest Studies]. Moscow: AN SSSR; 1961. (In Russ.)

19. Utkin AI, Gulbe TA, Gulbe YaI, Yermolova LS. [On advance of forest vegetation to agricultural lands in the Upper Volga River Basin]. *Lesovedeniye*. 2002;(5):44-52. (In Russ.)
20. Anderson TH. Physiological analysis of microbial communities in soil: Applications and limitations. In: *Beyond the Biomass*. Rits K, Dighton J, Giller KE. (Eds.). London: J. Wiley & Sons Publ.; 1994. p. 67-76.
21. Caspersen JP, Pacala SW, Jenkins JC, Hurtt GC, Moorcroft PR, Birdsey RA. Contributions of land-use history to carbon accumulation in U.S. forests. *Science*. 2000;290:1148-51.
22. Crowder A, Harmsen R. Notes on forest succession in old fields in southeastern Ontario: The woody species. *Can Field Naturalist*. 1998;112:410-8.
23. Fan S, Gloor M, Mahlman J, Pacala S, Sarmiento J, Takahashi T, Tans P. A large terrestrial carbon sink in North America implied by atmospheric and oceanic carbon dioxide data and models. *Science*. 1998;282:442-6.
24. Goodale CL, Aber JD, McDowell WH. The long-term effects of disturbance on organic and inorganic nitrogen export in the White Mountains, New Hampshire. *Ecosystems*. 2000;3:433-50.
25. Harmer R, Peterken G, Kerr G, Poulton P. Vegetation changes during 100 years of development of two secondary woodlands on abandoned arable land. *Biol Conserv*. 2001;101(3):291-304.
26. Hooker TD, Compton JE. Forest ecosystem carbon and nitrogen accumulation during the first century after agricultural abandonment. *Ecol Applicat*. 2003;13(2):299-313.
27. Houghton RA, Hackler JL, Lawrence KT. The U.S. carbon budget: contributions from land-use change. *Science*. 1999;285:574-8.
28. Kalinina O, Goryachkin SV, Karavaeva NA, Lyuri DI, Najdenko L, Giani L. Self-restoration of post-agrogenic sandy soils in the southern Taiga of Russia: Soil development, nutrient status, and carbon dynamics. *Geoderma*. 2009; 152:35-42.
29. Kalinina O, Chertov O, Dolgikh AV, Lyuri DI, Vormstein S, Giani L. Self-restoration of post-agrogenic stagnic albeluvisols: Soil development, carbon stocks and dynamics of carbon pools. *Geoderma*. 2013;207-208:221-33.
30. Karelin DV, Lyuri DI, Goryachkin SV, Lunin VN, Kudikov AV. Changes in the carbon dioxide emission from soils in the course of post-agrogenic succession in the chernozem forest-steppe. *Eurasian Soil Science*. 2015;48(11):1229-41.
31. Kurganova I, Yermolaev A, Lopes de Gerenyu V, Larionova A, Kuznyakov Y, Keller T, Lange S. Carbon balance in soils of abandoned lands in Moscow region. *Eurasian Soil Science*. 2007;40(1):50-8.
32. Kurganova IN, Lopes de Gerenyu VO, Myakshina TN, Sapronov DV, Lichko VI, Yermolaev AM. Changes in the carbon stocks of former croplands in Russia. *Žemės Ūko Mokslai*. 2008;15(4):10-5.
33. Lyuri DI, Karelin DV, Kudikov AV, Goryachkin SV. Changes in soil respiration in the course of the post-agrogenic succession on sandy soils in the southern taiga zone. *Eurasian Soil Science*. 2013;46(9):935-47.
34. Morris SJ, Bohm S, Haile-Mariam S, Paul EA. Evaluation of carbon accrual in afforested agricultural soils. *Global Change Biol*. 2007;13(6):1145-56.
35. Pacala SW, Hurtt GC, Baker D, Peylin P, Houghton RA, Birdsey RA, Heath L, Sundquist ET, Stallard RF, Ciais P, Moorcroft P, Caspersen JP, Shevliakova E, Moore B. and nine others. Consistent land- and atmosphere-based U.S. carbon sink estimates. *Science*. 2001;292:2316-20.
36. Perez-Cruzado C, Mansilla-Salinero P, Rodriguez-Soalleiro R, Merino A. Influence of tree species on carbon sequestration in afforested pastures in a humid temperate region. *Plant and Soil*. 2011;35(1-2):333-53.
37. Silver WL, Osterlag R, Lugo AE. The potential for carbon sequestration through reforestation of abandoned tropical agricultural and pasture lands. *Restor Ecol*. 2000;8:394-407.
38. Stanturf JA, Madsen I. Restoration concepts for temperate and boreal forests of North America and Western Europe. *Plant Biosystems*. 2002;2:143-58.
39. Susyan EA. Forest succession on abandoned arable soils in European Russia: Impacts on microbial biomass, fungal-bacterial ratio, and basal CO<sub>2</sub> respiration activity. *Eur J Soil Biol*. 2011;47:169-74.
40. Thuille A, Schulze E-DEF. Carbon dynamics in successional and afforested spruce stands in Thuringia and the Alps. *Global Change Biol*. 2006;12:325-42.
41. Tikkanen OP, Chernyakova I, Heikkilä R. Vanished villages – imprint of traditional agriculture in forest landscape of western White Sea Karelia. *Trudy Karelsinki Nauchnogo Tsentra RAN*. 2014;6:148-56.
42. Vladychenskii AS, Telesnina VM, Rumyantseva KA, Chalaya TA. Organic matter and biological activity of postagrogenic soils in the Southern Taiga using the example of Kostroma Oblast. *Eurasian Soil Science*. 2013;46(5):518-29.
43. van der Wal A, van Veen JA, Smant W, Boschker TS, Bloem J, Kardol P, van der Putten WH, de Boer W. Fungal biomass development in a chronosequence of land abandonment. *Soil Biol Biochem*. 2006;38:51-60.

УДК 631.4

Е.Ю. Сухачева, Б.Ф. Апарин; ФНО «XXI век»

# ПОПУЛЯРИЗАЦИЯ ПОЧВОВЕДЕНИЯ

**Е.Ю. Сухачева, Б.Ф. Апарин\***

Центральный музей почвоведения им. В.В. Докучаева, Санкт-Петербург, Россия

\* Эл. почта: [soilmuseum@bk.ru](mailto:soilmuseum@bk.ru)

Статья поступила в редакцию 07.12.2019; принята к печати 17.01.2020

Популяризация знаний о почве стала особенно актуальной в связи с возросшими масштабами деградации почв, создающими угрозу продовольственной и экологической безопасности. В статье о Центральном музее почвоведения им. В.В. Докучаева – первом в мире научном учреждении в области почвоведения – рассмотрены различные формы и методы популяризации знаний о почве среди широкого круга населения.

*Ключевые слова:* популяризация, экологическое образование, деградация.

## POPULARIZATION OF SOIL SCIENCE

**Ye.Yu. Sukhacheva, B.F. Aparin\***

V.V. Dokucheyev Central Museum of Soil Science, Saint Petersburg, Russia

\* E-mail: [soilmuseum@bk.ru](mailto:soilmuseum@bk.ru)

Popularization of knowledge about soil is becoming increasingly topical because of growing degradation of soils, which poses threat to food and environmental safety. The present paper praises V.V. Dokuchayev Central Museum of Soil Science (Saint Petersburg, Russia) as the first-ever scientific agency dedicated to soil science, and addresses different approaches to and forms of popularization of information about soils among lay public.

*Keywords:* popularization, environmental education, soil degradation.

Наука получает общественное признание только тогда, когда ее постулаты становятся доступными для понимания широких слоев населения, а научные исследования приносят практическую пользу. Необходимым условием этого является целенаправленная популяризация знаний.

Теория популяризации почвоведения зародилась из-за необходимости применения научного знания для поднятия крайне низкого уровня сельского хозяйства России. Докучаев вскрыл причины, порождающие регулярные засухи в черноземной степи, и нашел пути решения этой проблемы на основе глубокого научного исследования почв, истории освоения степей и физико-географических особенностей территории. Он организовал в Петербурге специальную публичную лекцию по вопросам, связанным с засухой и неурожаем, опубликовал ряд статей в «Правительственном вестнике» и, наконец, в 1892 г. выпустил книгу «Наши степи прежде и теперь» [1].

Основная идея, которой проникнуты книга Докучаева, а также все его публичные выступления, газетные и журнальные статьи, заключалась в доказательстве того, что только на основе изучения причин засухи и рекомендаций науки можно разработать действительно эффективные меры борьбы с засухой и оградить черноземную и вообще степную Россию от неурожаев и голода. В кни-

ге «Русский чернозем» Докучаев доказал, что почвоведение имеет свой самостоятельный объект исследования – почву, естественное тело с только ей присущими историей, строением, свойствами, процессами и законами развития [2]. Он предложил метод и методологию исследований, установил характер связи и взаимодействия почвы с другими природными телами и явлениями [2]. Являясь одним из наиболее ярких и убежденных популяризаторов науки, Докучаев направлял весь свой недюжинный талант ученого и полемиста на внедрение передовых научных идей почвоведения среди ученых, общественных деятелей, землевладельцев и домохозяек. Он пропагандировал научные достижения в области почвоведения, мелиорации почв и агрономии, организовывал научные и учебные центры, экспедиции и многое другое. Докучаев был организатором и руководителем Частных публичных курсов по сельскому хозяйству и основным для него наукам, инициатором разработки Устава Общества распространения в России сельскохозяйственных знаний и умений [3].

Для популяризации Василий Васильевич использовал разнообразный арсенал методов и средств. Они включали: организацию в 1880–1900 гг. российских и международных выставок, демонстрацию научных достижений почвоведения и почвенных коллекций (Париж, Чикаго, Нижний Новгород, Санкт-Петербург) [4].

Чтобы заинтересовать молодежь новой наукой, дать начинающим исследователям возможность опубликовать результаты своих первых наблюдений и анализов почв, В.В. Докучаев совместно с профессором Петербургского университета агрономом А.В. Советовым с 1885 г. стали регулярно издавать «Материалы по изучению русских почв», которые выходят по сегодняшний день. Авторами статей являются преимущественно молодежь, выпускники вузов, приобщающиеся таким образом к почвоведению. Так была создана первая официальная трибуна новой науки.

Докучаев видел крайнюю необходимость в просвещении широких слоев населения. Он становится инициатором создания естественнонаучных музеев. Важнейшую роль в просвещении населения он отводил музеям, с их коллекциями, особым «языком», понятным как ребенку, так и взрослому. По его инициативе был организован естественно-научный музей в Нижнем Новгороде, в котором почва впервые стала музейным экспонатом. В 1904 г. был открыт Центральный музей почвоведения в Санкт-Петербурге. Познание в музее, в отличие от лекционного, идет от экспоната, как правило, представляемого с помощью художественных средств выражения. Музей доставляет «пищу не только уму, но и сердцу», он должен привлекать, как привлекает искусство.

В 70-х гг. прошлого столетия внимание неправительственных международных организаций привлекли темпы и масштабы деградации почв мира. Впервые проблема деградации почв мира обсуждалась в Риме (1974 г.) на VI Всемирной конференции по вопросам продовольствия. В 1982 г. была принята Декларация ФАО «Всемирная хартия почв» как основа для международного сотрудничества в целях обеспечения наиболее рационального использования почвенных ресурсов мира.

Деградация почв – это очень старая проблема, vznikшая еще на заре земледелия. С ней связаны многие трагические страницы в жизни некоторых цивилизаций [5]. Для России проблема деградации пахотных почв стала актуальной, когда в стране произошли кардинальные социально-экономические изменения и была разрушена государственная система управления почвенным плодородием. На фоне падения жизненного уровня население страны оказалось практически невосприимчивым к проблемам деградации почв и их последствиям. К этому времени около 70% населения страны стали проживать в городах и потеряли традиционную связь с землей-кормилицей (землей-матерью). Фрагментарное знание о почве, получаемое по школьной программе, не давало целостного восприятия почвы как незаменимого природного ресурса, обеспечивающего продовольственную, экологическую безопасность и устойчивое развитие страны

в целом.

Дефицит знаний о почве не позволяет молодым людям разобраться в экологических проблемах в лавинообразном захлестывающем потоке разнородной информации в Интернете, отделить главное от второстепенного, осознать непреложный факт того, что человек сам является частью природы и, по выражению В.В. Докучаева, «самым роковым образом» зависит от нее. Не случайно, что современное общество оказалось фактически не восприимчивым к проблемам деградации почв и грядущим экологическим последствиям для мирового сообщества, связанным с уничтожением почв, их загрязнением и потерей плодородия.

В ответ на современные вызовы общества в Центральном музее почвоведения имени В.В. Докучаева была разработана технология непрерывного экологического образования (ТЭО) в области почвоведения, начинающегося с детей дошкольного возраста.

Концепция, положенная в основу образовательной технологии, основана на следующих принципах: А) от простого к сложному (от представлений «Почва»-«земля» до понимания, что «Почва – зеркало ландшафта»); Б) от общего к частному и от частного к системному (почва – особое царство природы → биокосное тело со своими законами развития → полифункциональная система, обеспечивающая устойчивое развитие Биосферы); В) от образного к конкретному («Почва – мать-кормилица» → Модели управления плодородием почв → Системы земледелия); Г) единство традиционных методов (натурное исследование почв в поле, лекции и лабораторные исследования) с компьютерными технологиями обучения.

ТЭО включает в себя все элементы теории популяризации знаний (рис. 1).

Цель технологии – способствовать формированию нового экологического мировоззрения о почве как основе жизни на земле, ее уязвимости, незаменимости и невозобновимости в обозримом будущем. ТЭО предлагает новые формы и способы поэтапного усвоения учебного материала в школьных и университетских программах. Главным партнером музея по реализации ТЭО являются педагоги дошкольных учреждений, школ и университетов.

Целевая аудитория ТЭО представлена двумя группами. К первой группе относятся дети дошкольного возраста, школьники, студенты, которые непосредственно вовлечены в образовательный процесс. Ко второй группе относятся люди, которые влияют на первичную аудиторию. Это учителя, преподаватели, родители, воспитатели. Роль их значительна. Они формируют первичную целевую аудиторию, воздействуют на нее, побуждают ее к активному усвоению полученной в музее информации.

Для целевой аудитории разрабатываются два ин-

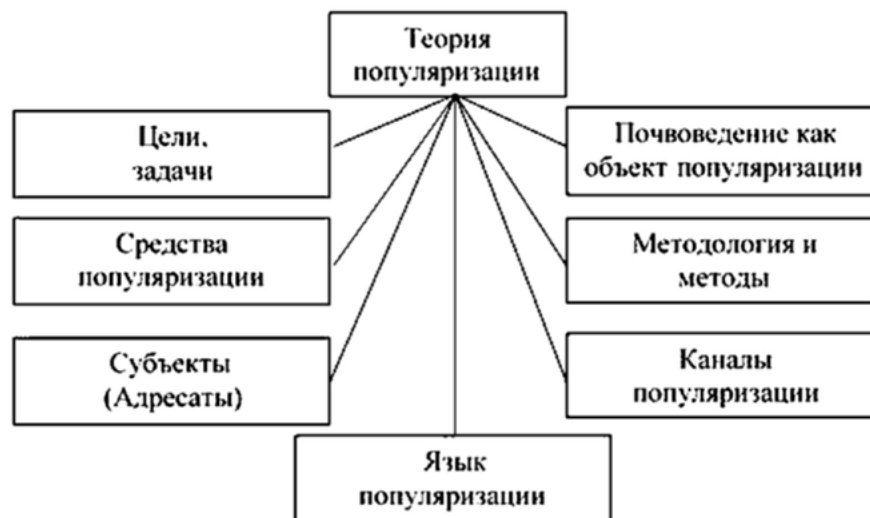


Рис. 1. Элементы теории популяризации почвоведения

формационных модуля. Они отличаются по содержанию, формам и оформлению информационного (рекламного) материала. Для этого музей использует различные коммуникационные каналы: социальные сети, сайты, СМИ и другое. Успех зависит от «языка коммуникации». Для первичной аудитории он лаконичный, красочный, интересный и интригующий. Для второй целевой аудитории он конкретный и высокоинформативный.

Для реализации ТЭО используются разнообразные средства и методы: специальные образовательные экспозиции и выставки; интерактивные методы; компьютерные технологии; аудиовизуальные средства; моделирование и макетирование.

Почвоведение как естественнонаучная дисциплина трудна для популяризации. Причина, прежде всего, кроется в предмете науки – почве. Почвенный индивидуум, как правило, сложно выделить. Экспонируется почва в виде тонкого среза ненарушенного строения – монолита. Однотипная форма экспонатов мало привлекательна для посетителей. Все это требует разработки особой методологии, специальных методов и средств демонстрации почвенных коллекций, раскрытия роли почв в ландшафтах, характеристики особенности их строения и свойств.

В ЦМП эти вопросы были решены при создании в 1996 г. новой почвенно-экологической экспозиции, ставшей основой для реализации ТЭО. Научная концепция экспозиции состоит в том, что почва – это центральное звено экосистемы, в котором замыкаются и преобразуются потоки вещества и энергии между всеми составляющими географической оболочки земли: лито-, гидро-, атмо- и биосферами. Экспозиция построена по иерархическому принципу и с помощью

музейных средств раскрывает функциональные связи между всеми компонентами экосистем. Экспозиция имеет пять отделов, 36 тематических разделов, в которые входят более 1500 экспозиционных элементов, в том числе почвенные монолиты, картины, диорамы, скульптуры, макеты. В экспозиции ЦМП реализована идея тематико-художественных образовательных комплексов, которые отражают единство цели научного содержания, экспозиционных форм и художественных средств (рис. 2).

Базовые образовательные экспозиции дополняются специальными тематическими разделами и выставками. Так, проблемы деградации почв мира, катастрофических потерь почвенных ресурсов раскрывает экспозиция «Спасите наши почвы». Экспозиция дополняется коллекцией монолитов деградированных почв: загрязненных нефтью, вторично засоленных, переуплотненных и эродированных. Объемный макет «Ленинградская область. Экологическая ситуация» (размер 2×3 м) показывает масштабы и источники загрязнения воздуха, воды и почвы крупного агропромышленного региона.

В 2009 г. базовая экспозиция была дополнена новым элементом «Подземное царство». Экспозиция представляет собой «подземный тоннель – имитацию хода крота». Посетитель знакомится с живым населением почвы. Внутренняя поверхность тоннеля (стены, потолок, пол) оформлена в виде естественной почвенной поверхности. Сочетание традиционных музейных средств (муляжи, макеты, бутафория), современных информационных технологий (анимационные видеofilмы, лайтбоксы, световые эффекты) и приемов современного искусства дало возможность показать скрытую от наших глаз удивительную жизнь почвы.



**Рис. 2.** Фотография экспозиции Центрального музея почвоведения им. В.В. Докучаева, зал № 3



**Рис. 3.** Экскурсия в «Подземном царстве»

Экспозиция состоит из трех частей. Первая часть экспозиции представляет обитателей чернозема – почвы под степной растительностью. Это кроты, хомяки, слепыши, мыши-полевки, змеи, различные насекомые и их личинки, дождевые черви и многие другие. Открыв почти сказочную дверь, посетитель попадает в следующий раздел экспозиции – мир почвенных организмов. В третьей части раскрывается жизнь обитателей лесных почв. Сверху почву пронизывают корни деревьев, среди которых спрятались еж и кролик, чуть ниже прорыли себе норы барсук и лиса (рис. 3).

В «Подземном царстве» демонстрируются три анимационных фильма, созданных специально для новой экспозиции: «Путешествие дождевого червячка», «Город бактерий», «Суперкапли спешат на помощь».

В 2013 г. в ЦМП был создан инновационный художественно-образовательный комплекс «Шагреновая кожа». Он состоит из взаимосвязанных экспозиционных элементов: модель формирования плодородия почв, гидропоника и генная инженерия в земледелии, химическая мелиорация, мультфильм «Все мы хотим есть» (рис. 4).

В музее регулярно устраиваются тематические выставки. Они являются неотъемлемой частью системы экологического образования.

Музей участвует в ежегодных образовательных мероприятиях: «Ночь музеев», «Большая регата», «Детские дни». Инициаторами мероприятий являются Администрация Санкт-Петербурга, общественные организации и музеи. Участие в городских программах дает возможность музею привлечь внимание широких слоев населения к проблемам сохранения почв. Темы мероприятий постоянно меняются. В соответствии с ними музей разрабатывает временные образовательные модули, которые включают тематические выставки. Например, в рамках «Детских дней» (2016 г.) была разработана программа «Сорока-ворона кашу варила» для самых маленьких посетителей музея – от 3 до 7 лет. Целью программы было показать детям в доступной форме связь «каша-крупы-растения-почва». На экскурсии в игровой форме дети смогли узнать, на каких почвах выращивают ячмень, просо, пшеницу, гречиху, и из каких растений получают крупы. Большой популярностью у детей пользовался мастер-класс «Краски кухонного шкафа» по изготовлению красочных панно из разных круп и семян растений.

В 2011 г. музей принял участие в выставке в Москве, где были представлены последние достижения научной мысли в различных областях знаний. Выставка музея «Инкубатор жизни» средствами современного

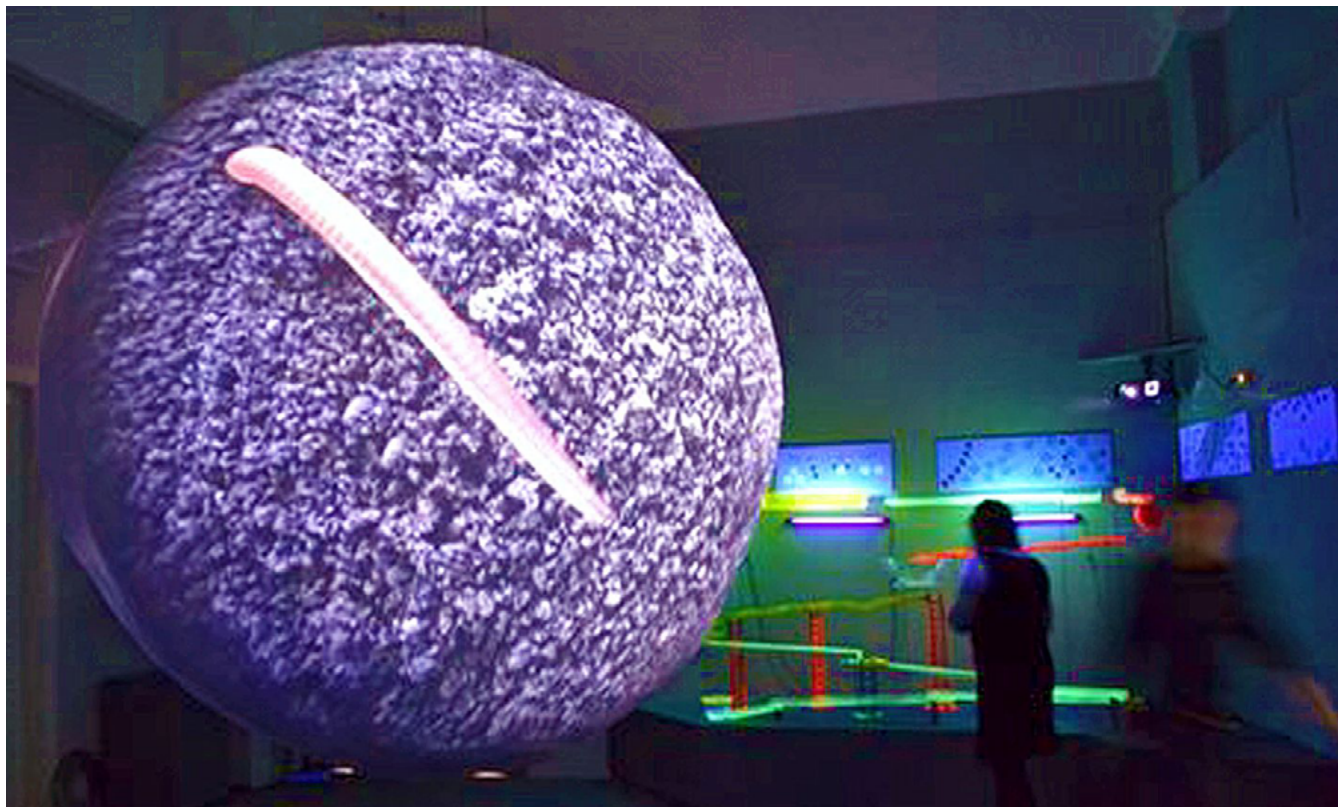


Рис. 4. Фрагмент экспозиции «Мы все хотим есть»



искусства показала многочисленным посетителям почвенный мир и разнообразие его форм. Большой интерес у посетителей вызвал макет органо-минеральной матрицы – уникальной по своей природе первоосновы почвы («атома», отличающего ее как от мертвой породы, так и от живого организма). Выставка дала возможность посетителям открыть новый мир у себя под ногами, ощутить себя частью этого мира и понять ответственность за его состояние. Междисциплинарные выставки дают возможность музею существенно расширить аудиторию.

В технологии образования в области почвоведения важное место отводится аудиовизуальным средствам. В 1996–2013 гг. создана серия научно-популярных видеофильмов по почвоведению.

Фильм «Четвертое царство природы» ориентирован на школьников различных возрастных групп и студентов. Фильм в доступной форме рассказывает о почве, ее составе и свойствах, знакомит зрителя с экологическими проблемами, связанными с деградацией почв и почвенного покрова.

По принципу образовательной программы «от простого к сложному» были созданы фильмы для старшеклассников и студентов: «Почва – зеркало ландшафта» и фильм «SOS – Save Our Soils».

Однако для детей дошкольного и младшего школьного возраста необходим рассказ о почве в более популярной форме. Эта идея была реализована в фильме «Почва». Фильм в поэтической, легкой для восприятия форме рассказывает о строении, свойствах почвы и ее роли в жизни людей. Фильм хорошо воспринимается школьниками младших классов и даже детьми в возрасте 3–4 лет.

Большой популярностью среди посетителей музея пользуются анимационные фильмы.

При работе с посетителями музей применяет обычные методы (лекции, экскурсии, олимпиады, практические занятия) и разрабатывает собственные приемы и средства популяризации. Одним из примеров является костюмированный «Парад почв», проведенный в Санкт-Петербурге – родине мировой науки о почве, во Всемирный день почв 5 декабря 2014 г. В акции приняли участие более 100 человек – студенты, школьники, преподаватели вузов и школ, научные сотрудники. «Парад почв» был организован ЦМП совместно с кафедрой почвоведения и экологии почв Санкт-Петербургского государственного университета (СПбГУ). Мероприятие поддержали: Правительство Санкт-Петербурга, Фонд сохранения и развития научного наследия В.В. Докучаева, Общество почвоведов им. В.В. Докучаева.

Участники парада, украшенные лентами, с транспарантами, плакатами и лозунгами прошли по одной из центральных улиц города. Школьники и студенты раздавали горожанам шары со словами «SOS – Save

Our Soils!», буклеты и значки, посвященные Международному году почв. Шествие сопровождалось боем барабанов, звуком трубы и призывами к бережному отношению к почвам. Во главе колонны несли символ национального богатства России – почвенный монолит чернозема. Далее шествовал «почвенный глобус» (рис. 5), за ним барабанщики – ученики одной из питерских гимназий.

Кульминацией парада стало театрализованное действие «Жизнь почвы в наших руках!». Затем состоялась презентация костюмов «Мисс-почва», созданных художником музея. Были представлены костюмы, стилизованные под профили чернозема, дерново-подзолистой почвы, подзола, маршевой почвы и краснозема (рис. 6). Всем желающим предлагалось попробовать традиционный «хлеб с солью»: белый пшеничный хлеб – дар чернозема и черный ржаной хлеб – дар дерново-подзолистой почвы.

Особое внимание участников парада привлекла дизайнерская коллекция галстуков с изображениями различных почвенных профилей. Мероприятие было широко освещено в СМИ.

Важным элементом ТЭО являются Докучаевские молодежные чтения – международные студенческие научные конференции. Докучаевские чтения проводятся ежегодно с 1997 г. Темы Докучаевских чтений предлагают члены студенческого оргкомитета. Они посвящены актуальным проблемам почвоведения: экологии почв, почвенного и биологического разнообразия, сохранению почвенного покрова, продовольственной и экологической безопасности России. В последнее десятилетие в программу конференции включена школьная секция. На школьной секции обсуждаются разнообразные экологические темы, материалы собственных исследований школьников.

Молодежные конференции помогают сформировать навыки научного общения, дают возможность апробировать материалы собственных научных исследований. В организации и проведении Чтений непосредственное участие принимают сами студенты. С заказными докладами на Докучаевских чтениях выступают ведущие ученые России и зарубежных стран (рис. 7).

В результате реализации концепции сквозного экологического образования число посетителей за последние годы в Центральном музее почвоведения им. В.В. Докучаева достигло 30 тыс. в год.

В концепцию ТЭО изначально была заложена идея постоянного ее развития и совершенствования, чтобы была возможность своевременно и оперативно реагировать на новые вызовы, возникающие перед обществом.

В 2017 г. ЦМП стал инициатором проведения первого фестиваля «В музей – сегодня, в науку – завтра!». В рамках мероприятия удалось объединить усилия разных музеев и вузов, создать своего рода междисципли-



**Рис. 5.** «Парад почв»



**Рис. 6.** «Мисс-почва» – презентация костюмов



**Рис. 7.** Выступление профессора, президента Международного Союза наук о почве Такаши Косаки на XXII Молодежных Докучаевских чтениях

нарный и межмузейно-вузовский союз и использовать музейное образовательное пространство как площадку для популяризации актуальных научных направлений в почвоведении. В 2019 г. в фестивале приняли участие 33 организации. В рамках мероприятия музей открыл выставку «Почвоведение – наука химическая», посвященную 150-летию Периодического закона химических элементов Д.И. Менделеева (рис. 8).

Музей является методическим центром по созданию почвенных экспозиций и выставок в естественно-научных музеях и почвенных учреждениях России. С этой целью музей опубликовал в 1984 г. «Методические рекомендации по созданию почвенных экспозиций и выставок» [3]. В 2000 г. музей провел международный обучающий семинар «Экологическое образование в музее XXI века». Семинар проводился с целями: (1) обмена опытом работы естественнонаучных музеев по экологическому образованию различных возрастных групп и (2) обучения сотрудников музеев образовательной технологии непрерывного экологического образования в области почвоведения, разработанной в ЦМП.

В 2014 г. ЦМП провел Международную научно-практическую конференцию «Проблемы популяризации научных достижений почвоведения XXI века». На конференции обсуждались методы, способы, направления и формы популяризации знаний о почве.

Эффективным способом привлечения внимания населения к проблемам сохранения и рационального использования почвенных ресурсов является использование онлайн-ресурсов. Большим шагом в этом деле может стать создание единого информационного почвенного пространства. Это позволит объединить все существующие интернет-платформы, связанные с почвоведением.

В связи с этим становится чрезвычайно актуальным создание единого информационного пространства в области экологического почвоведения в социальных сетях на базе уже существующих сервисов: «ВКонтакте» – группа «На Почве...» (<https://vk.com/onsoil>), «Твиттер» – группа «На Почве...» (<https://twitter.com/NaPochve>), «Инстаграм» – группа «На Почве» (<https://www.instagram.com/napochve>) и др.

**Минеральная почва на 70-95% состоит из первичных и вторичных минералов**

**Преобладающие минералы в почве**



Минералы в почве присутствуют в размере от 2 мм до 0,0002 мм

**Естественная почва (модель)**



**Минералы в тонком срезе почвы**



Обломок карбонатной породы



Ортоклаз



Биотит



Микроклин



Пироксен



Тальк

**Минералы в породах и почвах**



Апатит



Лазурит



Халькопирит



Гранат



Биотит



Ильменит

**Структурная модель и химическая формула минералов**



Апатит  
 $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3(\text{F}, \text{Cl}, \text{OH})$



Лазурит  
 $\text{Na}[(\text{AlSiO}_2)\text{SO}_4]$



Халькопирит  
 $\text{CuFeS}_2$



Гранат  
 $\text{R}^2\text{R}^3_2[\text{SiO}_4]_3$



Биотит  
 $\text{K}(\text{Mg}, \text{Fe})_3[\text{Si}_3\text{AlO}_{10}][\text{OH}, \text{F}]_2$



Ильменит  
 $\text{FeTiO}_3$

**Минералы являются основным источником химических элементов в почве**

Химические элементы высвобождаются из минералов в результате процессов почвообразования.



Мусковит в почве после лесного пожара



Разрушение оливина в гумусовом горизонте



Разрушение кальцита в гумусовом горизонте



Разрушение ортоклаза в гумусово-элювиальном горизонте



Разрушение плагиоклаза в метаморфическом горизонте



Гибситизированный полевой шпат



Глинисто-гумусовая кутана



Минералы в ходе дождевого червя

Рис. 8. Фрагмент выставки «Почвоведение – наука химическая»

## Литература

### Список русскоязычной литературы

1. Докучаев ВВ. Наши степи прежде и теперь. Санкт-Петербург; 1892.
2. Докучаев ВВ. Сочинения. Изд-во АН СССР. Москва. 1949; I-VIII.
3. Методические рекомендации по созданию почвенных экспозиций и выставок / под ред. Б.Ф. Апраина, Р.П. Дедениной и др. Ленинград; 1984. 38 с.

### Общий список литературы/Reference List

1. Dokuchaev VV. Nashi Step'i Prezhde i Teper'. [Our Steppes Before and Now]. St. Petersburg; 1892. (In Russ.)
2. Dokuchaev VV. Sochineniya. [Works]. Moscow: AN SSSR; 1949. (In Russ.)
3. Aprain BF, Dedenina RP et al (Eds.). Metodicheskiye Rekomendatsii po Sozdaniyu Pochvennykh Ekspozitsiy i Vystavok. [Guidelines for Creating Soil Expositions and Exhibitions]. Leningrad; 1984. (In Russ.)
4. Dokutschaieff WW, Sibirtzeff NM. Short scientific review. Collection of soils, exposed in Chicago, in the year 1893. St. Petersburg; 1893.
5. Montgomery DR. The Soil. Erosion of civilizations. Ankara: FAO Subregional Office for Central Asia; 2015.



# ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ АГРОЛАНДШАФТОВ РЯЗАНСКОЙ ОБЛАСТИ

Ю.А. Мажайский<sup>1</sup>, Т.М. Гусева<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Мещерский филиал Всероссийского Научно-исследовательского института гидротехники и мелиорации им. А.Н. Костякова и <sup>2</sup> Рязанский медицинский университет имени И.П. Павлова, Рязань, Россия

Эл. почта: <sup>1</sup> director@mntc.pro; <sup>2</sup> guseva.tm@yandex.ru

Статья поступила в редакцию 13.12.2019; принята к печати 23.01.2020

Преобладающими источниками техногенных загрязнителей в ландшафтах Рязанской области являются выбросы промышленных предприятий. Основной путь поступления тяжелых металлов – с атмосферными осадками. Максимальные поступления на земную поверхность с пылевидными выпадениями отмечены для Zn, Pb, Cd, а с жидкой фракцией – для Cu. Во всех типах почв Рязанской области наблюдается аккумуляция Cu, Mn, Zn, Ni, Pb, Cd, Co – первый максимум. Второй максимум Zn, Cu, Pb, Co, Ni отмечен в иллювиальных горизонтах на геохимическом барьере. Sn и Mo практически равномерно распределены по профилю почв. По индексу суммарного загрязнения разработаны карты районирования территории Рязанской области, позволяющие оценить современное и прогнозируемое загрязнение почвы Рязанской области тяжелыми металлами.

*Ключевые слова:* агроландшафт, тяжелые металлы, экология.

## ECOLOGICAL PROBLEMS OF AGRICULTURAL LANDSCAPES OF RYAZAN REGION

Yu.A. Mazhaysky<sup>1</sup>, T.M. Guseva<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Meshchersky Branch of A.N. Kostyakov Russian Research Institute of Hydrotechnics and Land Reclamation and <sup>2</sup> I.P. Pavlov Rязan State Medical University, Rязan, Russia

Email: <sup>1</sup> director@mntc.pro; <sup>2</sup> guseva.tm@yandex.ru

The leading sources of anthropogenic pollutants in Rязan Region are emissions from industrial enterprises. The main route of heavy metals deposition is via atmospheric precipitation. Dust precipitations are enriched in Zn, Pb, Cd, whereas aqueous precipitations, in Cu. The first maximum of the accumulation of metal, mainly Cu, Mn, Zn, Ni, Pb, Cd and Co, is observed in all types of soils of the Rязan region. The second maximum (Zn, Cu, Pb, Co, and Ni) is featured by the illuvial horizons on the geochemical barrier. Sn and Mo are almost evenly distributed across the soil profile. Based on the soil survey in Rязan Region, its landscapes were ranked according to the gross content of heavy metals. The resulting maps characterize the current and forecasted levels of soil pollution with heavy metals in Rязan Region.

*Keywords:* landscape, heavy metals, ecology.

### Введение

Проблема загрязнения компонентов агроландшафтов, вызванного техногенными нагрузками, обострилась в последние десятилетия во многих регионах России. Она актуальна и для Нечерноземной зоны РФ, к южной части которой относится Рязанская область. В некоторых районах области, по данным исследований Ю.А. Мажайского и В.Ф. Евтюхина (2008), отмечается критическая ситуация по загрязнению культурных ландшафтов тяжелыми металлами (ТМ) [1–3].

Каждая региональная экологическая проблема требует индивидуального изучения и мероприятий по предупреждению, ликвидации и компенсации негативных экологических изменений. Это обуславливает необходимость анализа и оценки экологических проблем, что осуществляется по данным многолетнего

экологического мониторинга, программа которого на территории области имеет следующие направления.

1. Организация наблюдений за накоплением в почвах тяжелых металлов, как приоритетных загрязнителей, в результате аэротехногенного воздействия.

2. Оценка приоритетного ряда загрязняющих веществ и выявление направления движения основных критических геохимических потоков.

3. Оценка степени загрязнения территории и выявление экологических проблем, возникающих в результате различных видов природопользования [2, 3].

Рязанская область расположена в пределах двух крупных ландшафтных зон – лесной и лесостепной – и в трех агроклиматических зонах. Первая агроклиматическая зона занимает северную пониженную

часть области – Рязанскую Мещеру. Вторая зона занимает центральную и юго-западную части области. Третья зона занимает ее южную часть. Территория области характеризуется развитым промышленным и сельскохозяйственным производством. Основными источниками поступления техногенных загрязнителей в ландшафты Рязанской области являются 132 промышленных предприятия. На протяжении многих лет основными загрязнителями воздушного бассейна Рязанской области являются: АО «Рязанская нефтеперерабатывающая компания», предприятия топливно-энергетического комплекса (ОАО «Рязанская ГРЭС», ГРЭС-24, Ново-Рязанская ТЭЦ), предприятия по производству строительных материалов (ООО «Серебрянский цементный завод», ООО «Михайловский цементный завод»), предприятия корпорации «Технониколь». Весомый вклад в загрязнение атмосферного воздуха г. Рязани вносит автомобильный транспорт (Государственные доклады о состоянии окружающей среды в Рязанской области, 1995–2019 гг.). Антропогенная нагрузка на агроландшафты зависит от распределения источников поллютантов по территории области. В пяти южных районах и трех восточных районах антропогенная суммарная нагрузка на биосферу очень низкая. Сравнительно низкая нагрузка воздействия промышленности сложилась в таких районах, как Клепиковский, Рыбновский, Захаровский, Пронский, Старожиловский, Кораблинский, Милославский, Шацкий и Ряжский. Остальные агроландшафты области испытывают существенную локальную антропогенную нагрузку. Крупнейшими загрязнителями экосистем области являются промышленные комплексы г. Рязани, заводы г. Касимова, Михайлово, Сасово и др. К выбросам предприятий Рязанской области дополняются из-за трансграничного переноса выбросы предприятий соседних областей: Московской, Тульской и др. В них содержится целый спектр химических загрязнителей, в том числе и ТМ, которые, попадая в воздушные потоки, загрязняют атмосферные осадки.

### Объекты и методы

Для оценки техногенного геохимического круговорота ТМ в агроландшафтах Рязанской области было проведено изучение содержания в атмосферных осадках Zn, Cu, Pb, Cd – основных загрязнителей, содержащихся в выбросах топливно-энергетического комплекса, металлургических, станкостроительных и других предприятий.

В целях выявления техногенного поступления ТМ через атмосферу с 1995 г. проводился отбор проб атмосферных осадков с учетом розы ветров. Пробы снежной массы отбирали шурфным способом согласно методике ГОСТ 17.1.5.05-85. Исследование осадков проводилось в соответствии с методическими реко-

мендациями по оценке загрязненности снежного покрова ТМ Почвенного института им. В.В. Докучаева (1999 г.). В средних образцах дождевых и снеговых осадков определяли ТМ методом атомно-адсорбционной спектроскопии на спектрофотометре ААС-1. Для оценки экологического состояния основных типов почв агроландшафтов Рязанской области были обследованы 12 наиболее типичных хозяйств, при выборе которых использовались такие характеристики, как тип почвы и расположение вблизи крупных стационарных источников загрязнения атмосферы (на расстоянии 5–20 км). На выбранных территориях осуществляли закладки почвенных разрезов до материнской породы (в соответствии с методическими указаниями по проведению локального мониторинга на реперных и контрольных участках, 2006 г.). В каждом хозяйстве обследовалось 3–5 полей. Размер пробной площадки варьировал от 1 до 5 га в зависимости от однородности почвенного покрова. С каждой из этих площадок отбирали объединенную пробу. Отбор почвенных образцов проводили по ГОСТ 17.4.4.02-2017. Почву отбирали по всей глубине почвенного разреза с интервалами 10–20 см (0–10, 10–20 см и так далее до глубины 140 см). Определяли валовое содержание ТМ в почвах в экстрактах 5 н. HNO<sub>3</sub>, а также подвижные формы ТМ (экстрагент – ацетатно-аммиачный буфер с рН 4,8). Анализ проводили методом атомно-адсорбционной спектроскопии на спектрофотометре ААС-1 (РД 52.18.685-2006, методические указания по определению тяжелых металлов в почвах сельхозугодий и продукции растениеводства, 1996).

### Результаты и обсуждение

Мониторинг техногенного загрязнения атмосферных осадков показал, что величины поступления ТМ значительно варьируют, что связано как с метеорологическими факторами, так и с влиянием неровностей земной поверхности на распределение поллютантов при их выпадении из атмосферы. Максимальные поступления на земную поверхность с пылевидными выпадениями отмечены для Zn, Pb, Cd, а с жидкой фракцией – для Cu. В среднем, по результатам мониторинга, ежегодно на каждый гектар Рязанской области поступает с осадками Zn – 181,2 г, Pb – 73,8 г и Cd – 4,7 г [2].

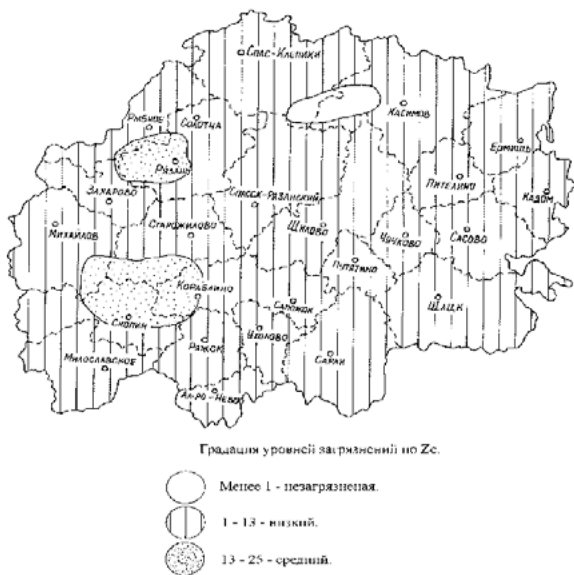
Преобладающими почвами Рязанской области являются черноземы (44%), серые лесные почвы (37%), дерново-подзолистые (13,8%), пойменные (5%) и торфяные почвы (0,4%). Почвенно-экологическое обследование региона [1–3] показало, что серые лесные почвы более всего аккумулируют в верхних слоях Zn, Mn; черноземы – Co, B, V; дерново-подзолистые почвы различаются по валовому содержанию ТМ по всем горизонтам, за исключением Mo. Концентрация их в дерново-подзолистых супесчаных почвах во всех

горизонтах в несколько раз меньше, чем в глинистых почвах. В супесчаной почве ярко выражена биогенная аккумуляция Zn, Cd, Pb, Cu, Mn в гумусовом горизонте, а Cr, V имеют два максимума: в элювиальном и иллювиальном горизонтах. Внутрипочвенное распределение рассматриваемых ТМ характеризуется присутствием четко выраженных максимумов. Во всех почвах наблюдается биохимическая аккумуляция Cu, Mn, Zn, Ni, Pb, Cd, Co – первый максимум. Вторым максимумом Zn, Cu, Pb, Co, Ni отмечен в иллювиальных горизонтах на геохимическом барьере. Sn, Mo практически равномерно распределены по профилю почв. В пойменных ландшафтах в процессе миграции ТМ участвует вода, с потоком которой загрязнители поступают в поймы, где частично закрепляются в почвах. При инфильтрации паводковых вод происходит вынос ТМ из одних почвенных горизонтов в другие и за пределы почвенного профиля. В аллювиальных луговых почвах наблюдается относительно равномерное распределение Zn, Cu, Cd, Cr, Mn в метровой толще их профиля в связи со сравнительной однородностью гранулометрического и минералогического составов. Наиболее реакционны и легкодоступны для растений подвижные формы ТМ. В почвах агроландшафтов Рязанской области содержание подвижных Pb, Cd, Mo, Co, Cr незначительно [2, 3]. В серых лесных и дерново-подзолистых почвах в гумусовых горизонтах накапливается подвижный цинк. В черноземах подвижность всех изучаемых элементов снижается, что связано как с высоким содержанием

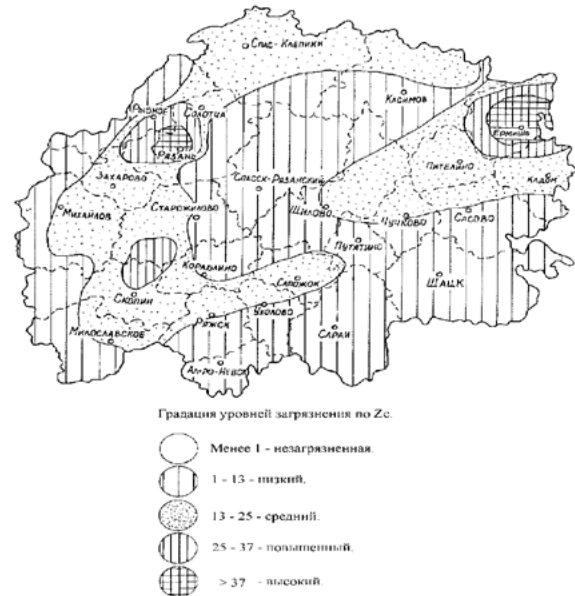
гумуса, так и с наличием илистой фракции, а также с близкой к нейтральной реакцией среды. Такое разнообразие почвенных условий ландшафтов Рязанской области приводит к различным ответным реакциям на техногенные воздействия.

Главный фактор содержания ТМ в почве – состав почвообразующих пород. Химический состав почвообразующих пород дерново-подзолистых песчаных и супесчаных почв Рязанской области имеет высокую степень вариабельности. Почвообразующие породы региона с тяжелым гранулометрическим составом содержат Zn – 33–46 мг/кг, Cu – 20–27, Pb – 8–16, Cd – 0,15–0,25 мг/кг [3]. На основе результатов исследования элементного состава почвообразующих пород определен региональный геохимический фон элементов – загрязнителей почвы. Данный фон несколько отличается от кларковых значений по А.П. Виноградову. Так, средний региональный фон Zn, Cd, Cr, Mn, Ni, Mo, V меньше кларковых глобальных величин, а Cu, Pb, B, Co – больше. Для оценки загрязнения разработаны группировки, в которых почвы, имеющие содержание ТМ, равное или меньшее регионального фона, считаются незагрязненными и по предложенной градации относятся к первой группе. Вторую группу и низкий уровень загрязнения имеют почвы, содержащие 2 фона, третью – 3 фона, степень загрязнения средняя и т. д.

В качестве критерия экологического нормирования принят суммарный индекс загрязнения почвы ТМ – Zc (МУ 2.1.7.730-99. Гигиеническая оценка качества



**Рис. 1.** Карта-схема текущего загрязнения территории Рязанской области тяжелыми металлами



**Рис. 2.** Прогнозная карта-схема загрязнения территории Рязанской области тяжелыми металлами



почвы населенных мест). В зависимости от величины  $Z_c$  были выделены следующие уровни загрязнения почв агроландшафтов Рязанской области: 1 – незагрязненная ( $Z_c = 1$ ), 2 – низкий уровень ( $Z_c = 1-13$ ), 3 – средний ( $Z_c = 13-25$ ), 4 – повышенный ( $Z_c = 25-37$ ), 5 – высокий ( $Z_c$  – более 37). С использованием данной градации разработаны карты районирования территории Рязанской области по индексу суммарного загрязнения, позволяющие оценить современное и прогнозируемое загрязнение почвы ландшафтов Рязанской области ТМ (рис. 1, 2). Прогнозная карта дает представление об экологическом состоянии почвы агроландшафтов и потенциальной опасности ситуации при достижении максимального уровня загрязнения ТМ. Ее назначение – коррекция планов землепользования и разработка природоохранных мероприятий в хозяйствах. На основе почвенно-экологического обследования ландшафта Рязанской области проведено ранжирование региона по уровням валового содержа-

ния свинца, меди, цинка в почвах и составлены карты для характеристики эколого-почвенного районирования загрязненности почв в результате техногенных воздействий [3].

Таким образом, согласно результатам мониторинга, можно отметить аккумуляцию цинка, кадмия, меди, свинца, марганца, никеля в корнеобитаемом слое почвы под влиянием техногенного воздействия. Почвы Рязанского района, находящиеся на расстоянии 5–20 км от промышленных комплексов, по содержанию ТМ приблизились к порогу, за которым возможны негативные последствия. Преобладающие загрязнители агроландшафтов можно расположить в убывающий ряд  $Cu > Pb > Zn$ . Накопление в почвах ТМ представляет серьезную экологическую проблему для агроландшафтов Рязанской области, так как может привести к нарушениям в экосистемах, что потенциально опасно для здоровья человека.

## Литература

### Список русскоязычной литературы

1. Мажайский ЮА, ред. Нейтрализация загрязненных почв. Рязань: Мещерский филиал ГНУ ВНИИГиМ Россельхозакадемии; 2008.
2. Мажайский ЮА, Евтюхин ВФ, Резникова АВ. Экология агроландшафта Рязанской области. М.: Издательство МГУ; 2001.
3. Мажайский ЮА, Желязко ВИ, ред. Экологические аспекты мелиорации земель юга Нечерноземья. М.: Издательство МГУ; 2003.

### Общий список литературы/Reference List

1. Mazhayskiy YuA (Ed.). Neytralizatsiya Zagryaznennykh Pochv. Ryazan: Mesherskiy Filial GNU VNIIGiM Rosselkhosakademii; 2009. (In Russ.)
2. Mazhayskiy YuA, Yeftiukhin VF, Reznikova AV. Ekologiya Agrolanshchafa Ryazanskoy Oblasti. Moscow: MGU; 2001. (In Russ.)
3. Mazhayskiy YuA, Zheliazko VI (Eds.). Ekologicheskiye Aspekty Melioratsii Yuga Nechernozemya. Moscow: MGU; 2003. (In Russ.)





# СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

## АПАРИН БОРИС ФЕДОРОВИЧ,

доктор сельскохозяйственных наук, профессор, научный руководитель Центрального музея почвоведения им. В.В. Докучаева, профессор кафедры почвоведения и экологии почв Санкт-Петербургского государственного университета (СПбГУ), вице-президент Общества почвоведов им. В.В. Докучаева, академик Российской экологической академии. Автор более 200 научных работ, в том числе 7 монографий. Область научных интересов: генезис и география почв, микробиология и экология почв. Дважды лауреат премии СПбГУ за научные труды. Руководитель научно-педагогической школы фундаментального почвоведения СПбГУ.



## ГЕНИКОВА НАДЕЖДА ВАСИЛЬВНА,

кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории динамики и продуктивности таежных лесов Института леса Карельского научного центра РАН. Родилась в 1984 г. в г. Кондопога Карельской АССР, в 2006 г. окончила эколого-биологический факультет Петрозаводского государственного университета. Область научных исследований: фитоценология. Автор 46 научных работ.



## ГУСЕВА ТАТЬЯНА МИХАЙЛОВНА,

кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры микробиологии Рязанского медицинского университета имени академика И.П. Павлова. Окончила факультет биотехнологии по специальности водные биоресурсы и аквакультура Московского государственного университета технологий и управления имени К.Г. Разумовского. Область научных интересов: экология, оценка техногенного влияния на компоненты агроландшафтов (почва, вода, растения, микробиом), санитарная и медицинская микробиология.



## ДУБРОВИНА ИННА АЛЕКСАНДРОВНА,

кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник Института биологии Карельского научного центра РАН. В 1997 г. окончила сельскохозяйственный факультет Петро-



водского государственного университета. Область научных интересов: почвоведение, оценка почв, изменение биогеохимических циклов элементов в антропогенно нарушенных ландшафтах.

## ИЛЬИНА ЛЮДМИЛА ПАВЛОВНА,

кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник отдела аридной экологии Южного научного центра РАН (Ростов-на-Дону). Область научных интересов: химия почв, агропочвоведение, экология почв, мелиорация почв, разработка способов повышения плодородия деградированных почв южнорусских степей. Автор или соавтор более 200 научных публикаций, в том числе 3 монографий.



## ИНИШЕВА ЛИДИЯ ИВАНОВНА,

доктор сельскохозяйственных наук, профессор, член-корреспондент РАН. Родилась в 1947 г. в п. Сеймчан Хабаровского края. В 1969 г. окончила Томский государственный университет. Работала в Томской проектно-исследовательской экспедиции отделения «Ленгипроводхоз», с 1985 г. – в Томском отделении мелиорации ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова, с 1987 г. – в Сибирском НИИ торфа, с 2006 г. по настоящее время – главный научный сотрудник Томского государственного педагогического университета. Основное направление работы – торфяные ресурсы: генезис, характеристика, функционирование, использование. Автор 590 научных публикаций в отечественных и зарубежных журналах и 12 монографий, в том числе «Vasyugan Mire: Natural Conditions, Structure and Functioning» (2011).



## КАРПЕЧКО АННА ЮРЬЕВНА,

кандидат сельскохозяйственных наук, научный сотрудник лаборатории динамики и продуктивности таежных лесов Института леса Карельского научного центра РАН. Родилась в 1977 г. в Петрозаводске. Окончила Петрозаводский государственный университет по специальности инженер лесного хозяйства в 1999 г. Научные интересы связаны с изучением влияния экологических факторов и лесохозяйственной деятельности на корненасыщенность и продуктивность древостоя.



**КОБАК  
КИРА ИВАНОВНА,**

доктор географических наук, профессор. Родилась в 1936 г. в Ленинграде. В 1959 г. окончила Ленинградскую лесотехническую академию. Работала в Главной геофизической обсерватории им. Воейкова, с 1972 г. – в Ботаническом институте им. В.Л. Комарова РАН, с 1974 г. – в Ленинградской лесотехнической академии, с 1990 г. – профессор Университета им. Яна Кохановского (Кельце, Польша) и профессор Университета штата Орегон (США). С 1992 г. по настоящее время работает в Государственном гидрологическом институте. Основное направление работы – биогеохимические циклы в биосфере. Автор 150 научных публикаций в отечественных и зарубежных журналах и 4 монографий, в том числе «Биотические компоненты глобального углеродного цикла» (1988).

**КУЛАКОВА  
ЛЮБОВЬ МИХАЙЛОВНА,**

кандидат экономических наук, старший научный сотрудник отдела региональной экономической политики Института экономики Карельского научного центра РАН. В 1993 г. окончила сельскохозяйственный факультет Петрозаводского государственного университета, в 2007 г. защитила кандидатскую диссертацию в Институте социально-экономических проблем народонаселения Российской академии наук (Москва). Выпускник Президентской программы в рамках реализации Государственного плана подготовки управленческих кадров для организаций народного хозяйства Российской Федерации (2009 г.), участник Международной стажировки «Активизация региональных экономик» (Япония, 2019 г.) в рамках Президентской программы. Основные направления научных исследований: региональная экономика и управление, институциональное развитие регионов, социально-экономическое развитие сельских территорий, муниципальная экономика, трансграничное развитие территорий, экономическая оценка деградации земель, устойчивое развитие территорий, развитие предпринимательства.

**МАЖАЙСКИЙ  
ЮРИЙ АНАТОЛЬЕВИЧ,**

доктор сельскохозяйственных наук, профессор, главный научный сотрудник Мещерского филиала ФГБНУ «ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова», генеральный директор ООО «Мещерский научно-технический центр», почетный работник агропромышленного комплекса России. Является автором более 600 научных работ. Область научных интересов: режимы комплексных мелиораций, де-



радированных и техногенно загрязненных земель, экологическое обоснование технологий сохранения и восстановления плодородия почв.

**МАМАЙ  
АНАСТАСИЯ ВИТАЛЬЕВНА,**

кандидат биологических наук, младший научный сотрудник лаборатории лесного почвоведения Института леса Карельского научного центра РАН. В 2006 г. окончила эколого-биологический факультет Петрозаводского государственного университета, в 2014 г. защитила кандидатскую диссертацию в Московском государственном университете. Область научных исследований: почвоведение, микробная трансформация азота в почвах, микробное образование и поглощение парниковых газов. Количественная оценка процессов азотфиксации и денитрификации, эмиссии углекислого газа и метана в биогеоценозах.

**МЕДВЕДЕВА  
МАРИЯ ВЛАДИМИРОВНА,**

кандидат биологических наук, доцент, заведующая лабораторией лесного почвоведения Института леса Карельского научного центра РАН. Родилась в 1969 г. в Петрозаводске, защитила диссертацию в Московском государственном университете в 2002 г. Область научных интересов: биология почв естественных и антропогенно нарушенных экосистем, биоиндикация. Автор более 130 научных трудов.

**МОШКИНА  
ЕЛЕНА ВИКТОРОВНА,**

кандидат сельскохозяйственных наук, научный сотрудник лаборатории лесного почвоведения Института леса Карельского научного центра РАН. В 2002 г. окончила сельскохозяйственный факультет Петрозаводского государственного университета, в 2009 г. защитила кандидатскую диссертацию в Санкт-Петербургском государственном аграрном университете. Область научных интересов: почвоведение, изучение азотного фонда лесных и антропогенно нарушенных почв, эмиссия и баланс диоксида углерода в экосистемах.

**ПОРОХИНА  
ЕКАТЕРИНА ВЛАДИМИРОВНА,**

кандидат биологических наук, доцент кафедры общей биологии и методики обучения биологии. Родилась в 1974 г. в Томске. В 1996 г. окончила биолого-химический факультет Томского государственного педагогического



университета и поступила в аспирантуру. Основное направление работы: исследование химических, энзимологических и микробиологических процессов в торфах, торфяных залежах и почвах. Автор и соавтор более 60 научных работ.

**СЕРГЕЕВА  
МАРГАРИТА  
АЛЕКСАНДРОВНА,**

кандидат биологических наук, доцент кафедры общей биологии и методики обучения биологии. Родилась в 1980 г. в Томске. В 2003 г. окончила биолого-почвенный факультет Томского государственного университета и поступила в аспирантуру Томского государственного педагогического университета. С 2007 г. – сотрудница биолого-химического факультета Томского государственного педагогического университета. Основные направления научно-исследовательской деятельности: исследование химических, микробиологических и энзимологических процессов в торфах и торфяных залежах. Автор более 50 научных публикаций.



**СИДОРОВА  
ВАЛЕРИЯ  
АЛЕКСАНДРОВНА,**

кандидат сельскохозяйственных наук, научный сотрудник лаборатории экологии и географии почв Института биологии Карельского научного центра РАН. Окончила математический факультет Петрозаводского государственного университета, в 2011 г. защитила кандидатскую диссертацию в Агрофизическом НИИ Россельхозакадемии (Санкт-Петербург). Область научных исследований: почвоведение, оценка почв, классификация почв, агрофизика, геостатистика.



**СУХАЧЕВА  
ЕЛЕНА ЮРЬЕВНА,**

кандидат биологических наук, директор Центрального музея почвоведения им. В.В. Докучаева, доцент кафедры почвоведения и экологии почв Санкт-Петербургского государственного университета (СПбГУ). Занимается вопросами классификации естественных и антропогенно-преобразованных почв. Соавтор первой в мире цифровой крупномасштабной почвенной карты города Санкт-Петербурга (1:50 000), а также среднемасштабной почвенной карты Ленинградской области (1:200 000). Известна своими исследованиями почв Ленинградской области и является одним из авторов монографии «Красная книга почв Ленинградской области». Дважды лауреат премии СПбГУ за научные труды.



**СУШКО  
КИРИЛЛ СЕРГЕЕВИЧ,**

кандидат географических наук, научный сотрудник отдела аридных зон Южного научного центра РАН (Ростов-на-Дону), научный сотрудник кафедры океанологии Института наук о Земле Южного федерального университета (Ростов-на-Дону). Родился в 1989 г. в Таганроге, окончил геолого-географический факультет ЮФУ (2011 г.). Автор более 35 научных работ в области физической географии, географии почв, геоэкологии и охраны окружающей среды. Область научных интересов: современные экологические проблемы почв сухостепных ландшафтов юга России, изучение почвенного покрова дельты Дона, картографирование почв аридных зон.



**ТОЛСТОГУЗОВ  
ОЛЕГ ВИКТОРОВИЧ,**

доктор экономических наук и кандидат физико-математических наук, ведущий научный сотрудник Института экономики Карельского научного центра РАН, доцент Института экономики и права Петрозаводского госуниверситета. Родился в 1960 г. в Петрозаводске. Окончил физико-математический факультет Петрозаводского государственного университета, Северо-Западную Академию государственной службы (Санкт-Петербург), Институт Всемирного банка. Научный руководитель бюджетных тем (государственных заданий), проектов в рамках программ Президиума РАН, РФФИ, контрактов с Правительством. Профессиональная сфера интересов: исследования экономического и социокультурного геопространства и устойчивости социальных и природных геосистем, а также философия экономики и политическая экономия. Автор (и соавтор) более 150 публикаций.



**ТУЮНЕН  
АНДРЕЙ  
ВЛАДИМИРОВИЧ,**

младший научный сотрудник лаборатории ландшафтной экологии и охраны лесных экосистем Института леса Карельского научного центра РАН. Родился в 1982 г. в Петрозаводске. Окончил Петрозаводский государственный университет по специальности инженер лесного хозяйства в 2004 г. Научные интересы связаны с изучением структурно-функциональной организации лесных экосистем.





Подписано в печать **18.02.2020.**  
Отпечатано в типографии «Лпринт»:  
**197374, Санкт-Петербург, ул. Сабировская, 37,**  
Тел.: **+7(812) 430-91-55.**  
Заказ **№ 20021499.** Тираж **700 экз.**  
**Цена свободная**