

Ф. Р. Зайдельман, А. П. Шваров

**Пирогенная и гидротермическая  
деградации торфяных почв,  
их агроэкология, песчаные культуры  
земледелия, рекультивация**



Издательство Московского университета  
2002

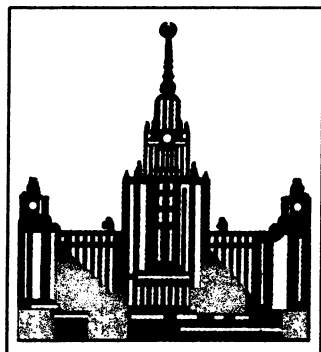
## Подписи к рисункам на переплете

Рис. 1. Задымление территории осушенного торфяного массива.  
Начало возгорания и пожара.

Рис. 2. Пирогенно-перегнойное образование на месте сгоревших осушенных маломощных и среднемощных низинных торфяных почв. Пolder “Макеевский мыс”. Рязанская Мещера. 1997 г.

Цветные фотографии на обложке и в тексте Ф. Р. Зайдельмана





**Посвящается 250-летию  
Московского государственного университета**

**F. R. Zaidelman, A. P. Shvarov**

**PYROGENIC AND HYDROTHERMIC  
DEGRADATION OF PEAT SOILS,  
AGROECOLOGY, SAND CULTURES,  
REMEDICATION**

**Moscow State University Press  
2002**

**Ф. Р. Зайдельман, А. П. Шваров**

**ПИРОГЕННАЯ И ГИДРОТЕРМИЧЕСКАЯ  
ДЕГРАДАЦИЯ ТОРФЯНЫХ ПОЧВ,  
ИХ АГРОЭКОЛОГИЯ,  
ПЕСЧАНЫЕ КУЛЬТУРЫ ЗЕМЛЕДЕЛИЯ,  
РЕКУЛЬТИВАЦИЯ**

Издательство Московского университета  
2002

УДК 631.4+631  
ББК 40.3  
3-17

**Зайдельман Ф. Р., Шваров А. П.** Пирогенная и гидротермическая деградация торфяных почв, их агроэкология, песчаные культуры земледелия, рекультивация. – М.: Издательство МГУ, 2002. — 168 с. – ISBN 5-211-04736-2

На основе многолетних комплексных исследований рассмотрены процессы пирогенной и гидротермической деградации осушенных торфяных почв, их связь со способами мелиорации и эволюция при сельскохозяйственном использовании в условиях черной, смешанной и покровной песчаных культур земледелия. Дана агроэкологическая оценка пирогенных образований, возникших после сгорания торфа. Рассмотрены результаты сопряженных исследований гидротермического режима, продуктивности, биологической активности и скорости биохимического распада органического вещества торфяных почв. Показано, что внесение песка интенсифицирует его разложение во всех горизонтах почвенного профиля. Предложена система мероприятий по защите торфяных почв от опасных деградационных изменений и рекультивации пирогенных образований.

**F.R. Zaidelman, A.P. Shvarov.**

Pyrogenic and hydrothermic degradation of peat soils, agroecology, sand cultures, remediation. M: Moscow University Press, 2002. — 168 p.

The book is intended to present the results of complex researches, carried out for a long period of time with the aim at studying the processes of pyrogenic and hydrothermic degradation of drained peat soils. Special emphasis is given to reclamation techniques and their evolution in the course of agricultural use under conditions of sand cultures. The book provides a comprehensive agroecological assessment of pyrogenic formations resulted from peat combustion. Under consideration are also the investigation results of hydrothermic regime, productivity, biological activity and biochemical decomposition rate of the organic matter in these soils. It is shown, that due to addition of sand the decomposition of the organic matter becomes intensified in all the horizons throughout the profile of drained peat soils. A set of preventive measures is offered to protect the peat soils against hazardous degradation and to rehabilitate pyrogenic formations.

Издание осуществляется в авторской редакции  
Published under the authors' edition

ISBN 5-211-04736-2

© Ф. Р. Зайдельман, А. П. Шваров, 2002

# ОГЛАВЛЕНИЕ

|                                                                                                                                                                                         |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>ВВЕДЕНИЕ</b> .....                                                                                                                                                                   | 10 |
| Общие сведения .....                                                                                                                                                                    | 10 |
| Понятия — пирогенная и гидротехническая деградация торфяных почв и принципы оценки степени их проявления .....                                                                          | 21 |
| <b>1. ПОЧВЫ И МЕЛИОРАТИВНЫЙ ФОН ПОЧВЕННО-ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ СТАЦИОНАРОВ</b> .....                                                                                                          | 25 |
| 1.1. Окско-Мещерский стационар .....                                                                                                                                                    | 25 |
| 1.2. Северо-Двинский стационар .....                                                                                                                                                    | 29 |
| <b>2. ПИРОГЕННАЯ ДЕГРАДАЦИЯ ОСУШЕННЫХ ТОРФЯНЫХ ПОЧВ</b> .....                                                                                                                           | 32 |
| 2.1. Пирогенная деградация, ее связь со способами осушения и особенностями водного режима .....                                                                                         | 32 |
| 2.2. Пирогенные образования, возникшие в результате сгорания торфяных почв .....                                                                                                        | 34 |
| 2.2.1. Общие положения .....                                                                                                                                                            | 34 |
| 2.2.2. Морфология пирогенных образований .....                                                                                                                                          | 37 |
| 2.2.3. Естественная растительность пирогенных образований .....                                                                                                                         | 43 |
| 2.2.4. Химические свойства пирогенных образований и почв, их плодородие .....                                                                                                           | 46 |
| <b>3. СОВРЕМЕННЫЕ ПОЧВООХРАННЫЕ СИСТЕМЫ ЗЕМЛЕДЕЛИЯ НА ОСУШЕННЫХ ТОРФЯНЫХ БОЛОТАХ</b> .....                                                                                              | 53 |
| <b>4. ГИДРОТЕРМИЧЕСКАЯ ДЕГРАДАЦИЯ, ИЗМЕНЕНИЯ ФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ, ВОДНОГО И ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМОВ ОСУШЕННЫХ ТОРФЯНЫХ ПОЧВ В УСЛОВИЯХ СМЕШАННОЙ И ПОКРОВНОЙ КУЛЬТУР ЗЕМЛЕДЕЛИЯ</b> ..... | 60 |
| 4.1. Гидротермическая деградация .....                                                                                                                                                  | 60 |
| 4.2. Методика исследований .....                                                                                                                                                        | 62 |
| 4.3. Влияние смешанной и покровной культур земледелия на физические свойства, гидротермический режим осушенных торфяных почв южнотаежной подзоны и их продуктивность .....              | 63 |
| 4.3.1. Изменение физических свойств. Вероятность механической деградации .....                                                                                                          | 63 |
| 4.3.2. Изменения гидротермического режима .....                                                                                                                                         | 66 |
| 4.3.2.1. Общее положение .....                                                                                                                                                          | 66 |
| 4.3.2.2. Особенности температурного режима .....                                                                                                                                        | 68 |

|                                                                                                                                                                               |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 4.3.2.3. Основные элементы гидрологического режима .....                                                                                                                      | 71  |
| 4.3.2.4. Влияние смешанной и покровной культуры земледелия на урожай и его качество .....                                                                                     | 73  |
| 4.4. Влияние смешанной и покровной культур земледелия на физические свойства и гидротермический режим осушенных торфяных почв северотаежной подзоны и их продуктивность ..... | 76  |
| 4.4.1. Изменение физических свойств .....                                                                                                                                     | 76  |
| 4.4.2. Особенности температурного режима .....                                                                                                                                | 79  |
| 4.4.3. Основные элементы водного режима .....                                                                                                                                 | 82  |
| 4.4.4. Влияние смешанной и покровной культур земледелия на урожай .....                                                                                                       | 84  |
| 4.5. Возможна ли миграция песка, используемого в смешанной и покровной культурах земледелия .....                                                                             | 87  |
| 4.6. Преимущества песчаных культур земледелия и неизвестные деградационные изменения .....                                                                                    | 89  |
| <b>5. БИОЛОГИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ ОСУШЕННЫХ ТОРФЯНЫХ ПОЧВ В УСЛОВИЯХ ЧЕРНОЙ, СМЕШАННОЙ И ПОКРОВНОЙ КУЛЬТУР ЗЕМЛЕДЕЛИЯ</b> .....                                                  | 92  |
| 5.1. Общие положения .....                                                                                                                                                    | 92  |
| 5.2. Методика исследования биологической активности и биохимического разложения органического вещества торфа .....                                                            | 93  |
| 5.3. Биологическая активность торфяных почв на фоне разных способов внесения песка .....                                                                                      | 95  |
| 5.3.1. Целлюлозолитическая и протолитическая активность торфяных почв .....                                                                                                   | 95  |
| 5.3.2. Мультисубстратное тестирование поверхностных горизонтов торфяных почв .....                                                                                            | 102 |
| 5.3.3. Динамика углекислого газа в почвенном профиле и его эмиссия в атмосферу .....                                                                                          | 103 |
| <b>6. БИОХИМИЧЕСКОЕ РАЗЛОЖЕНИЕ ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА ОСУШЕННЫХ ТОРФЯНЫХ ПОЧВ В УСЛОВИЯХ РАЗНЫХ КУЛЬТУР ЗЕМЛЕДЕЛИЯ</b> .....                                                  | 112 |
| 6.1. Общие положения .....                                                                                                                                                    | 112 |
| 6.2. Биохимическое разложение органического вещества .....                                                                                                                    | 112 |
| 6.3. Потоки диоксида углерода в осушенных торфяных почвах .....                                                                                                               | 123 |
| 6.4. Влияние смешанной и покровной культур земледелия на азотный режим почв и содержание нитратов в грунтовых водах .....                                                     | 125 |
| <b>7. ЗАЩИТА ТОРФЯНЫХ ПОЧВ ОТ ПИРОГЕННОЙ И ГИДРОТЕРМИЧЕСКОЙ ДЕГРАДАЦИЙ; МЕРОПРИЯТИЯ ПО РЕКУЛЬТИВАЦИИ</b> .....                                                                | 127 |
| 7.1. Защита торфяных почв от пирогенной и гидрогенной деградаций .....                                                                                                        | 127 |
| 7.1.1. Общие положения .....                                                                                                                                                  | 127 |
| 7.1.2. Профилактические мероприятия по защите торфяных почв от пирогенной и гидротермической деградаций .....                                                                 | 128 |

|                                                                                                    |     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 7.1.3. Рекультивация пирогенных образований .....                                                  | 130 |
| 7.1.3.1. Две формы использования пирогенных образований .....                                      | 130 |
| 7.1.3.2. Рекультивация пирогенных образований .....                                                | 133 |
| 7.1.3.2.1. Проектно-изыскательские работы для обоснования ре-<br>культивационных мероприятий ..... | 133 |

|                                                                                                                                                  |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>ЗАКЛЮЧЕНИЕ</b> (итоги исследований и предложения по защите<br>осушенных торфяных почв от пирогенной и гидротермической де-<br>градаций) ..... | 141 |
| Summary .....                                                                                                                                    | 150 |
| Указатель имен .....                                                                                                                             | 154 |
| Предметный указатель .....                                                                                                                       | 156 |
| Список литературы .....                                                                                                                          | 158 |

## CONTENTS

|                                                                                                            |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>INTRODUCTION</b> .....                                                                                  | 10 |
| General information .....                                                                                  | 10 |
| Concepts – pyrogenic and hydrothermic degradation of peat soils,<br>assessment of degradation degree. .... | 21 |
| <b>1. SOILS AND MELIORATIVE BACKGROUND OF SOIL-<br/>HYDROLOGICAL EXPERIMENTAL STATIONS</b> .....           | 25 |
| 1.1. Oka-Meshchiora experimental station .....                                                             | 25 |
| 1.2. Northern Dvina experimental station .....                                                             | 29 |
| <b>2. PYROGENIC DEGRADATION OF DRAINED PEAT SOILS</b> .....                                                | 32 |
| 2.1. Pyrogenic degradation as a cause of drainage techniques and the<br>specific water regime .....        | 32 |
| 2.2. Pyrogenic formations resulted from combustion of peat soils .....                                     | 34 |
| 2.2.1. General information .....                                                                           | 34 |
| 2.2.2. Morphology of pyrogenic formations .....                                                            | 37 |
| 2.2.3. Natural vegetation of pyrogenic formations .....                                                    | 43 |
| 2.2.4. Chemical properties of pyrogenic formations and their fertility .....                               | 46 |
| <b>3. THE PRESENT-DAY SYSTEMS OF CONSERVATION FARMING<br/>ON DRAINED PEAT SOILS</b> .....                  | 53 |

|                                                                                                                                                                                          |            |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>4. HYDROTHERMIC DEGRADATION, CHANGES IN PHYSICAL PROPERTIES, THE WATER AND TEMPERATURE REGIMES OF DRAINED PEAT SOILS CAUSED BY SAND-MIXED AND SAND-MANTLED CULTURES .....</b>         | <b>60</b>  |
| 4.1. Hydrothermic degradation .....                                                                                                                                                      | 60         |
| 4.2. Investigation methods .....                                                                                                                                                         | 62         |
| 4.3. The effect of sand-mixed and sand-mantled cultures on physical properties, hydrothermic regime of the drained peat soils and their productivity in the southern taiga subzone ..... | 63         |
| 4.3.1. Changes in physical properties. Probability for mechanical degradation .....                                                                                                      | 63         |
| 4.3.2. Changes in the hydrothermic regime .....                                                                                                                                          | 66         |
| 4.3.2.1. General information .....                                                                                                                                                       | 66         |
| 4.3.2.2. The specific of temperature regime .....                                                                                                                                        | 68         |
| 4.3.2.3. The main elements of hydrological regime .....                                                                                                                                  | 71         |
| 4.3.2.4. The effect of sand-mixed and sand-mantled cultures on the crop yield and its quality .....                                                                                      | 73         |
| 4.4. Physical properties and hydrothermic regime of drained peat soils affected by sand-mixed and sand-mantled cultures and their productivity in northern taiga subzone .....           | 76         |
| 4.4.1. Changes in physical properties .....                                                                                                                                              | 76         |
| 4.4.2. The specific of temperature regime .....                                                                                                                                          | 79         |
| 4.4.3. The main elements of water regime .....                                                                                                                                           | 82         |
| 4.4.4. The effect of sand-mixed and sand-mantled cultures on the crop yield .....                                                                                                        | 84         |
| 4.5. Is it possible to observe the sand migration in soils used under conditions of sand-mixed and sand-mantled cultures? .....                                                          | 87         |
| 4.6. The advantages of sand cultures and the unknown degradation-induced changes .....                                                                                                   | 89         |
| <b>5. BIOLOGICAL ACTIVITY IN DRAINED PEAT SOILS UNDER CONDITIONS OF BLACK, SAND-MIXED AND SAND-MANTLED CULTURES .....</b>                                                                | <b>92</b>  |
| 5.1. General information .....                                                                                                                                                           | 92         |
| 5.2. Investigation methods of biological activity and biochemical decomposition of the organic matter in peat .....                                                                      | 93         |
| 5.3. Biological activity in peat soils at the background of different techniques of sand addition .....                                                                                  | 95         |
| 5.3.1. Cellulicidal and proteolytic activity in peat soils .....                                                                                                                         | 95         |
| 5.3.2. Multisubstrate testing of the surface horizons in peat soils .....                                                                                                                | 102        |
| 5.3.3. Dynamics of carbonic gas in the soil profile and its emission into the atmosphere .....                                                                                           | 103        |
| <b>6. BIOCHEMICAL DECOMPOSITION OF THE ORGANIC MATTER IN DRAINED PEAT SOILS WITH DIFFERENT SAND CULTURES .....</b>                                                                       | <b>112</b> |
| 6.1. General information .....                                                                                                                                                           | 112        |
| 6.2. Biochemical decomposition of the organic matter .....                                                                                                                               | 112        |
| 6.3. Carbon dioxide flows in drained peat soils .....                                                                                                                                    | 123        |



6.4. The effect of sand-mixed and sand-mantled cultures on the nitrogen regime of peat soils and the nitrate content in ground waters ..... 125

**7. PROTECTION OF PEAT SOILS AGAINST PYROGENIC AND HYDROTHERMIC DEGRADATION; THE MEASURES FOR THEIR REMEDIATION ..... 127**

7.1. Protection of peat soils against pyrogenic and hydrogenic degradation ..... 127

7.1.1. General information ..... 127

7.1.2. Preventive measures to protect the peat soils against pyrogenic and hydrothermic degradation ..... 128

7.1.3. Rehabilitation of pyrogenic formations ..... 130

7.1.3.1. Two ways to use pyrogenic formations ..... 130

7.1.3.2. Rehabilitation of pyrogenic formations ..... 133

7.1.3.2.1. The planning and prospecting work to realise the well-grounded rehabilitation measures ..... 133

**CONCLUSIONS (investigation results and suggestions made to protect drained peat soils against pyrogenic and hydrothermic degradation) ..... 141**

Summary ..... 150

Names index ..... 154

Index ..... 156

References ..... 158

# ВВЕДЕНИЕ

## ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Торфяные почвы — одна из наиболее своеобразных и наименее устойчивых групп почв гумидных ландшафтов. Это обусловлено прежде всего их происхождением. Они возникают в результате консервации в анаэробной субаквальной среде растений-торфообразователей и их многовековой аккумуляции. Темпы такой аккумуляции весьма незначительны. В средней и южной тайге Европейской территории страны они составляют около одного миллиметра в год.

Таким образом за тысячелетие на поверхности минерального дна болота может сформироваться торфяная залежь, мощность которой в среднем составляет не более одного метра. Торфяные залежи на территории Русской равнины относятся к одному из следующих трех типов [Тюремнов 1976] — верховому (или олиготрофному), низинному (или евтрофному), переходному (или мезотрофному).

Торфа олиготрофных (верховых) болот обладают невысокой конституционной зольностью (менее 4%), кислой реакцией. Они образованы, преимущественно, остатками моховой растительности. Очёс таких болот, образованный живыми верховыми сфагновыми мхами, обладает высокой водопроницаемостью — до 600 м/сутки [Иванов 1957].

Непосредственно под очесом располагается толща спрессованного сфагнового торфа с низкой водопроницаемостью. Она играет роль водоупорного горизонта. Сфагновые торфа верховой залежи обладают незначительными коэффициентами фильтрации и водоотдачи. Такие торфа длительное время осушали для последующего использования в качестве топлива, для приготовления подстилок и компостов, для нужд химической, медицинской и строительной индустрии.

Однако из-за низкого плодородия, высокой кислотности, неблагоприятных физических свойств торфяные почвы и залежи верховых болот в нашей стране обычно не вовлекали в земледелие.

Мезотрофные (переходные) торфа по своим свойствам близки к олиготрофным. Преимущественно это также моховые торфа, но в состав их растений-торфообразователей входят виды с повы-

шенными требованиями к условиям минерального питания. Они обладают более высокой конституционной зольностью (4—6%), менее кислой реакцией. Общая зольность таких торфяных залежей нередко существенно возрастает в результате поступления механической взвеси с паводковыми водами, размывающими минеральные породы. В широких масштабах это явление получило распространение в Карелии, где под влиянием интенсивной линейной эрозии в условиях пересеченного рельефа потоки внешних вод транспортируют на поверхности переходных болот значительные массы твердого минерального стока [Пьявченко 1963; 1985]. Вторым примером торфов переходных болот с высокой зольностью являются болота Камчатки, находящиеся в зонах влияния современной вулканической деятельности. При извержении вулканов в атмосферу поступает масса пепла, оседающего затем на поверхности полуострова, в том числе и на переходных болотах. В профиле таких торфяных почв возникают многочисленные горизонтальные слои минерального пепла, обогащенного микро- и макроэлементами. Именно поэтому переходные болотные почвы Карелии и Камчатки, в отличие от однотипных почв других регионов, используются в сельскохозяйственном производстве.

Однако обычно малозольные верховые и переходные торфяные почвы целесообразно сохранять в естественном, неосушенном состоянии. Их значение особенно велико для поддержания оптимального биоразнообразия. Значительна и их гидрологическая роль. Эти болота в естественном состоянии важные водохранимые территории, ценные охотничьи угодья, ягодники, плантации лекарственных растений.

Евтрофные (низинные) торфяные почвы на низинных торфяных залежах отличаются относительно высокой конституционной зольностью (более 6%), слабокислой или нейтральной реакцией среды, разнообразным составом растений-торфообразователей. В их состав входят представители травянистой, древесной и моховой растительности. Здесь преобладают осоки, тростник, рогоз, а из древесных растений — ольха, береза, ель, реже сосна и лиственница. Наряду с повышенным содержанием зольных элементов низинные торфяные залежи и почвы на таких торфах обладают благоприятными физическими свойствами — значительными коэффициентами фильтрации и водоотдачи, повышенной плотностью. Поэтому почвы низинных болот чаще всего дренируют и используют после осушения в земледелии. Именно эти почвы являлись объектом наших исследований.

Очевидно, любое сельскохозяйственное использование низинных торфяных почв предполагает их предварительное осушение. Однако после осушения торфяные почвы низинных болот оказываются в новых, принципиально иных термодинамических условиях. Анаэробная обстановка, в которой осуществлялся постепенный процесс аккумуляции растений-торфообразователей, замещается аэробной. На смену процессу аккумуляции органического вещества приходит противоположный процесс его биохимического разложения.

Осушение и сельскохозяйственное использование резко меняют свойства и режимы торфяных почв. На фоне уменьшения влажности почвы происходит механическая усадка торфа, повышается температура органогенных горизонтов, возрастает аэрированность профиля, восстановительные условия сменяются окислительными. В целом понижение уровня грунтовых вод повышает биологическую активность торфяной почвы. Непрерывное торфонакопление, свойственное этим почвам в естественных условиях, после дренажа сменяется активным биохимическим разложением органического вещества [Бамбалов 1981, 1984; Вавуло и др. 1974; Ефимов 1980, 1986; Зайдельман, Шваров и др. 1997; Зименко, Гаврилкина 1982; Зименко 1991; Скрынникова 1961]. Темпы этого процесса различны. Они определяются как естественными, так и антропогенными факторами. Прежде всего темпы разложения органического вещества торфяных почв обусловлены климатом местности, присутствием мерзлых горизонтов. Они максимальны в незамерзающих болотах южной и средней подзон тайги Европейской части страны и минимальны (около 1 мм/год) в длительно-сезонно-мерзлотных или постоянно-мерзлотных осушенных торфяных почвах Западной и Восточной Сибири [Логинов 1985, 1986]. Темпы биохимического разложения торфяных почв определяются ботаническим составом растений-торфообразователей. В условиях южной и среднетаежной подзон Русской равнины наиболее быстро поддаются разложению травянистые и моховые торфа, медленнее — древесные и тростниковые [Бамбалов 1981, 1984].

Весьма существенным фактором, определяющим скорость разложения органического вещества торфа в определенном климатическом регионе, является режим грунтовых вод и обусловленный им режим влажности почв. Чем глубже залегают грунтовые воды, тем выше темпы разложения органического вещества, тем интенсивнее распад торфяных почв после осушения. Важную роль в этом случае играет характер использования территории. Минимальные

темпы разложения органического вещества наблюдаются при использовании торфяных почв для размещения многолетних трав (травопольные севообороты с высоким участием полей многолетних трав, а также сенокосные и пастбищные угодья и др.). В этом случае темпы разложения торфяных почв в южнотаежной подзоне составляют 0,5—1,0 см/год. В условиях полевых севооборотов они равны 1—2 см/год, а в пропашных — от 1,5 до 3 см/год. Нетрудно рассчитать, что органическое вещество торфа, накопленное в толще мощностью 1 м на протяжении тысячелетия, полностью исчезнет в результате его биохимического разложения при использовании органогенных почв в полевом севообороте через 50—70 лет. Однако скорее всего этот процесс будет протекать значительно быстрее, поскольку при таком расчете оказываются неучтенными потери торфа с полей в процессе ветровой эрозии, выноса обрабатывающей и уборочной техникой с урожаем овощных культур и картофеля. Вовлечение в пропашные севообороты сократит срок существования органогенных почв такой мощности до 35—40 лет.

Близкие по своим результатам наблюдения были произведены А. Тотом (1968) в Венгрии на осушенных низинных торфяных почвах в экспериментах на фоне пяти севооборотов — 1) травопольного (четыре поля трав, одно — кукурузы); 2) зерно-травяного; 3) кормового; 4) пропашного и 5) зерно-травяного с пожнивным посевом (табл. 1). В целом они подтвердили весьма высокие темпы разложения органического вещества торфа в засушливых условиях юга Средней Европы и их тесную связь с характером сельскохозяйственного использования торфяных почв.

Таблица 1

Годовое уменьшение органического вещества (%)  
в пахотном горизонте низинных торфяных почв  
Кестхейский болотный бассейн, Венгрия. Данные А. Тота, 1968 г.

| Год  | Севообороты     |                   |             |              |                                      |
|------|-----------------|-------------------|-------------|--------------|--------------------------------------|
|      | 1. травопольный | 2. зерно-травяной | 3. кормовой | 4. пропашной | 5. зерно-травяной с пожновым посевом |
| 1960 | 100,0           | 100,0             | 100,0       | 100,0        | 100,0                                |
| 1961 | 4,8             | 3,2               | 7,2         | 6,8          | 6,4                                  |
| 1962 | 10,0            | 6,1               | 19,2        | 29,5         | 13,7                                 |
| 1963 | 10,9            | 16,9              | 20,7        | 37,5         | 20,7                                 |

Наименьшее снижение содержания органического вещества в почве наблюдалось при посеве клеверо-злаковых травосмесей (травопольный севооборот). Существенно, что в тех севооборотах, где после озимых культур выращивали пожнивные, даже при неблагоприятных условиях водного режима удалось существенно снизить степень минерализации (ср. варианты табл. 1). Максимальная минерализация торфяных почв происходила на фоне пропашного севооборота (вариант 4). Автор подчеркивает, что травы снижают не только процесс биохимического разложения торфа, его окисление, но и уменьшают дефляцию. Однако если водный режим неудовлетворителен, то даже травы не являются надежным средством защиты органического вещества торфяной почвы от разрушения.

Интересные данные в этой связи приводит Н. Н. Бамбалов (1988) на основе анализа 96 экспериментов, проведенных в Беларуси за период с 1913 по 1983 гг. Им установлено, что ежегодный дефицит органического вещества (т/га) под пропашными культурами составил  $9,8 \pm 1,6$ ; под зерновыми —  $6,0 \pm 1,1$ ; под многолетними травами —  $3,6 \pm 0,7$ . Показано, что при возделывании многолетних трав без перезалужения более пяти лет темпы минерализации замедляются и дефицит баланса органического вещества не превышает 2 т/га в год.

Гидротермическая деградация, определяющая сработку органического вещества торфа, приводит в конечном итоге к возникновению на месте торфяных минеральных почв, вызывает закономерное снижение плодородия сельскохозяйственных земель. По данным С. С. Бачила [2001], осушенные торфяные почвы с мощностью торфа 1—2 м имеют балл бонитета 73; с мощностью торфа 0,3—0,5 м — 63; с мощностью торфа менее 0,3 м при подстилании песком — 43 и минеральные почвы на песках на месте сработанных торфяных почв — 20—40. Аналогичные прогнозы содержатся в работах других авторов [см., напр.: Зайко, Вашкевич, Горблюк и др. 2000].

Процесс распада органического вещества торфа определяет и еще одним важным фактором — составом подстилающих пород. Так, процесс интенсивного разложения органического вещества торфяных почв на песках получил название «муршения» [Окрушко, Ливски 1969; Okrusko, Kozakiewicz 1973]. В условиях Припятского полесья он был изучен весьма детально А. Г. Медведевым, А. В. Горблюк, Н. П. Ивановым [1981]; С. М. Зайко, Л. Ф. Вашкевичем, Л. Я. Свирновским [1981, 1990] и другими исследовате-

лями. Авторы показали, что следствием интенсивного распада торфа (муршения) явилось формирование низкоплодородных «песчаных антропогенных глеезёмов». Последние занимают на осушенных массивах полесья весьма значительные территории, ранее образованные плодородными торфяными почвами. Вместе с тем по наблюдениям тех же авторов подстиление торфа тяжелыми породами определяет формирование черноземовидных минеральных почв.

Таким образом, осушение торфяных почв сопровождается глубоким окислением и разложением их органического вещества до простых окислов — диоксида углерода, воды и нитратов. Диоксид углерода поступает в атмосферу, усиливая тепловой эффект; вода и нитраты — в почву и в грунтовый поток. Происходит необратимая потеря углерода, основного элемента, образующего органические почвы.

Очевидно поэтому земледелие на торфяных почвах должно быть направлено на поддержание положительного (или как минимум — нейтрального) баланса углерода.

Однако в зависимости от условий гидрологического режима процесс постепенной сработки торфяных почв может прерываться возникновением на осушенных болотных массивах опустошительных пожаров. В этой связи следует подчеркнуть, что пожары на мелиорированных торфяных почвах, в отличие от пожаров на болотах с естественным режимом, часто сопровождаются полным выгоранием торфа до минерального дна болот. В результате на дневную поверхность выходит подстилаящая торф толща сильно оглеенной породы. Наиболее крупные массивы осушенных торфяных почв в Европейской части страны приурочены к флювиогляциальным и древнеаллювиальным равнинам (т. е. к полесским ландшафтам). Здесь торфяные почвы подстилаются мощной толщей бесплодных оглеенных кварцевых песков [Зайдельман 2000, 2001]. Пожары вызывают глубокую деградацию почв или их полное уничтожение, резко снижают разнообразие и численность биоты, ухудшают экологические условия существования человека, делают невозможным его проживание на таких территориях.

Негативное влияние сгорания торфяных почв в результате пожаров, как правило, не ограничивается пространством болотного ландшафта. Оно охватывает значительные территории, вызывая длительное задымление городов и поселков, препятствует движению на автострадах и других транспортных магистралях, нарушает работу аэропортов. Пожары торфяников загрязняют атмосфе-

ру, являются причиной заболевания людей, проживающих за многие десятки километров от очагов возгорания. Именно такие явления, в частности, имели место в г. Москве и в Московской области на протяжении длительного периода 2002 года (с конца июня до середины сентября). Аналогичная ситуация наблюдалась в этот период и во многих других городах и областях Нечерноземной зоны России.

Таким образом, пожары на торфяных массивах — опасное экологическое явление, которое, казалось бы, должно привлечь самое пристальное внимание научно й и практической общественности страны.

Однако последствия пожаров на торфяных почвах с естественным водным режимом и особенно на осушенных почвах остаются практически не исследованными. Нам удалось обнаружить в отечественной и зарубежной литературе лишь весьма ограниченное число публикаций, посвященных этой актуальной проблеме [Габбасова, Сулейманов 2002; Тен Хак Мун, Имранова, Кириенко 2002].

В целом пирогенные процессы и их влияние на почвы были изучены главным образом в связи с пожарами лесов на минеральных почвах [Сапожников 1979]. Однако в этом случае их воздействие обычно не вызывало деградации почв. Напротив, нередко они оказывали положительное влияние на плодородие минеральных почв. Примером тому являются пожары как обязательный элемент огневой системы земледелия древних славян, в которой предусматривалось выжигание лесов и использование золы для восстановления плодородия почв. Пожары такого рода обычно не ухудшают свойства минеральных почв. В последние годы, однако, появилась информация о том, что на Дальнем Востоке после особо интенсивных, длительных и возвратных пожаров происходит спекание и «остекление» поверхностных горизонтов минеральных почв. При этом семена древесных растений утрачивают способность укореняться в таких условиях. Нарушается процесс самовосстановления лесов. Поэтому следует признать возможности деградации в результате пожаров не только торфяных, органогенных, но и минеральных почв.

Несомненно, однако, то, что пожары на осушенных торфяных массивах имеют несравнимо большие разрушительные последствия, чем пожары в лесах на минеральных почвах. Это обусловлено тем, что леса являются в этом последнем случае возобновляемым ресурсом, тогда как пожары на осушенных болотах нередко завершаются полным уничтожением органогенных почв со все-



ми вытекающими из этого негативными последствиями. Существенно и то, что пожары торфяных болот охватывают значительные территории.

Каждый год, особенно в период летней межени, поступает информация о пожарах на осушенных болотах. Пожары лесов, как правило, всегда сопровождаются пожарами и сгоранием (обычно до минерального дна болот) органогенных, плодородных почв низинных болот. Существует определенная цикличность этого опасного явления.

Так, в последнее время почти каждые 10 лет пожары на торфяниках проявляются в максимальной мере. Так было, например, в 1972, 1982, 1992, 2002 гг. Однако эта ситуация в конечном итоге мало волнует не только землепользователей, но и тех, кто обременен ответственностью за сохранность почв. При этом, однако, очевидно, что по прошествии короткого отрезка времени пожары на осушенных болотах, несомненно, будут сокращаться или прекратятся вообще. Но это произойдет не потому, что процесс пирогенной деградации будет приостановлен усилиями человека, а только потому, что все органогенные почвы, еще вчера приносившие значительный урожай и доход, выгорят полностью, а их место, в частности в полесьях, займут бесплодные кварцевые вторичные пирогенные образования.

Неблагоприятные особенности этих образований заключаются не только в том, что они обладают низким плодородием или бесплодны вообще, но еще и в том, что в результате резкого снижения гипсометрического уровня поверхности они обычно подвержены интенсивному вторичному заболачиванию. Именно поэтому гидротермическая и пирогенная деградация торфяных почв являются сегодня актуальной проблемой народного хозяйства страны. Она имеет различные, тесно связанные между собой, аспекты — сельскохозяйственные, экологические, социально-экономические, природоохранные и другие.

Учитывая актуальное значение проблемы гидротермической и пирогенной деградации осушенных торфяных почв и ее практически полную неразработанность, авторами в 1988—2002 гг. были предприняты специальные многолетние исследовательские работы, основные результаты которых рассмотрены в настоящей монографии. Авторы предприняли эту работу для того, чтобы привлечь внимание к затронутой проблеме и оценить существующие способы защиты наименее устойчивых органогенных почв от опасных и, как правило, необратимых деградационных изменений.

В этой связи основное внимание было уделено оценке возможности и целесообразности применения для защиты осушенных торфяных почв от ускоренной биохимической минерализации и пожаров агромелиоративных мероприятий, предполагающих внесение в пахотный горизонт или нанесение на его поверхность песка.

Следует отметить, что практика внесения песка в поверхностные горизонты торфяных почв или формирования на их поверхности песчаных пахотных горизонтов в настоящее время получила широкое распространение в земледелии стран Западной и Центральной Европы, Норвегии, Дании, Германии, Голландии и др.

Известна информация и о том, что наряду с пескованием применяют глинование торфяных почв. Однако Ф. Мацяк (1969) обнаружил, что «прибавка глины стимулирует разложение торфяных почв, прибавка песка только незначительно повышает разложение» (с. 61).

По-видимому, поэтому в последние десятилетия в качестве минеральной добавки широко используют песчаные грунты. Кроме того, предпочтение, которое отдается песку в этом случае, обусловлено еще и тем, что равномерное распределение глины в пахотном горизонте затруднено из-за значительной связности этого материала во влажном состоянии, высоких значений плотности и твердости — в сухом. Наконец, внесение глины в торфяные почвы зоны избыточного увлажнения может вызывать нежелательное снижение их водопроницаемости, образование очаговой верховодки и, нередко, вымокание сельскохозяйственных культур.

Достаточно простые по технологии способы агромелиорации с использованием песка практически всегда оказывают благоприятное влияние на рост и развитие сельскохозяйственных растений, способствуют существенному повышению их урожайности. Преимущественно по показателям продуктивности в России и за ее пределами оценивается возможность их применения. Однако несмотря на значительное число работ, посвященных этим способам агромелиорации, до настоящего времени оставался открытым вопрос о том, как влияют добавки минерального грунта на темпы сработки органического вещества осушенных торфяных почв, на гидрологический и температурный режимы всех горизонтов почвенного профиля от поверхности до грунтовых вод. Без таких данных, очевидно, нельзя было решить вопрос об экологической целесообразности их применения в условиях современного сельскохозяйственного производства. Вместе с тем существующие наблюдения отражали особенности их гидротермического режима, главным

образом, в пахотном и подпахотном горизонтах, общая мощность которых обычно не превышает 20—40 см.

Требовались новые данные о гидротермическом режиме осушенных торфяных почв по всему профилю от поверхности до грунтовых вод, сведения о биологической активности и темпах разложения органического вещества осушенных торфяных почв в условиях разных культур земледелия, оценка свойств пирогенных образований, возникающих после их сгорания, другие не менее актуальные данные. Только на этой основе можно было понять эволюцию почв в постмелиоративный и постпирогенный период, предложить способы защиты торфяных почв от деградационных изменений и пути их целесообразного использования. В этом заключалась цель предпринятых нами исследований. Такие работы были выполнены на территории двух почвенно-гидрологических стационаров, приуроченных к осушенным низинным торфяным почвам, контрастных по природным условиям почвенно-климатических подзон Русской равнины.

Первый, Окско-Мещерский почвенно-гидрологический стационар, расположен в южной таежной подзоне на территории Окско-Мещерского полесья в Рязанской Мещере в долине р. Пры на польдерной оросительно-осушительной системе «Макеевский мыс». Пolder летний, ежегодно затапливается водами весенне-го паводка. Исследования на этом стационаре были начаты в 1991 г. и продолжаются до настоящего времени.

Второй, Северо-Двинский почвенно-гидрологический стационар, расположен в северной таежной подзоне в дельте р. Северная Двина в Архангельской области на территории польдерной осушительной системы «Юрас» в междуречье проток Кузнечиха и Юрас в границах землепользования совхоза «Беломорский». Полевые исследования здесь выполняли в 1988—1991 гг.

Экспериментальные и полевые исследования, изложенные в настоящей монографии, выполнялись авторами на протяжении последних 15 лет в различных природных условиях Европейской территории Российского Нечерноземья. Они были посвящены проблемам их гидрологии, агроэкологии, современным и перспективным системам земледелия, мелиорации, гидротермическим и пирогенным видам деградации, способам защиты и рекультивации пирогенных образований. На разных этапах эти работы получали финансовую поддержку и одобрение Российского Фонда фундаментальных исследований и Министерства сельского хозяйства Российской Федерации (гранты РФФИ 96-04-48-523, 98-04-49033).

Исследования, начатые нами в 1988 г., имеют определенную преемственность, поскольку первая публикация одного из авторов по этим актуальным проблемам состоялась в 1960 г. в научно-производственном журнале «Гидротехника и мелиорация» (№ 11, с. 25—31). Ее содержание было посвящено анализу причин и драматическим следствиям ускоренной гидротермической деградации торфяных почв, осушенных глубокими каналами, а также возникновению в результате этого опустошительных пожаров, уничтожающих не только органогенные почвы, но и всю толщу торфяной залежи до минерального бесплодного дна мелиорированных болот.

Материалы исследований, систематизированные в предлагаемой вниманию читателя монографии, были получены авторами в результате многолетних, преимущественно стационарных, мелиоративных почвенно-гидрологических и агроэкологических исследований на территориях Архангельской, Московской и Рязанской областей. Наряду с этим в ней отражены результаты наблюдений и других авторов, имеющих прямое отношение к затронутым в монографии вопросам. Вместе с тем ряд проблем был поставлен и раскрыт авторами впервые. К ним относится анализ причин пирогенной и гидротермической деградации торфяных почв; разработка классификации пирогенных образований; характеристика их морфологических, химических и физических свойств, оценка продуктивности; полнопрофильные исследования гидрологического и температурного режимов осушенных торфяных почв; установление общих закономерностей влияния внесения песка в поверхностные горизонты торфяных почв на их режимы, а также факт ускоренного разложения органического вещества торфа в условиях смешанной и покровной культур земледелия. Особое внимание в этой работе уделено вопросам защиты органических почв от пирогенной и гидротермической деградации и рекультивации пирогенных образований.

В разные годы в работах на этих стационарах кроме авторов принимали участие студенты, аспиранты и сотрудники кафедры физики и мелиорации почв факультета почвоведения Московского государственного университета им. М. В. Ломоносова — В. А. Агарков, М. В. Банников, А. С. Батраков, Е. В. Беленкова, Д. С. Бочаров, Н. С. Головин, А. Ю. Евстигнеева, Ю. Кувалина, Д. И. Морозова, Д. Е. Назаренко, Ю. И. Рыдкин.

Всем перечисленным участникам исследований авторы приносят свою глубокую признательность.

Авторы благодарны начальнику Рязанского областного управления мелиорации и водного хозяйства М. И. Миреру, директору совхоза «Макеевский» Спас-Клепиковского района Рязанской области С. П. Фокину и руководству совхоза «Белозерский» Архангельской области за практическую помощь в организации полевых исследований.

## ПОНЯТИЯ — ПИРОГЕННАЯ И ГИДРОТЕХНИЧЕСКАЯ ДЕГРАДАЦИЯ ТОРФЯНЫХ ПОЧВ И ПРИНЦИПЫ ОЦЕНКИ СТЕПЕНИ ИХ ПРОЯВЛЕНИЯ

Приступая к рассмотрению проблемы пирогенной и гидрогенной деградации торфяных почв, способам их защиты и рекультивации, следует остановиться на дефинициях этих явлений. Термины *пирогенная и гидротермическая деградации торфяных почв* введены нами и используются в настоящей монографии.

**Пирогенной деградацией торфяных почв** следует называть частичное или полное выгорание их органогенных горизонтов в процессе пожаров.

Пирогенная деградация может быть **глубинной**, при которой происходит полное сгорание всех торфяных горизонтов до минерального дна болота, или (на мощных осушенных торфяных почвах) — до меженного уровня грунтовых вод при сохранении в исходном состоянии нижних субаквальных торфяных горизонтов, не затронутых пирогенным воздействием.

Возникающие при этом минеральные и торфяные вторичные деградированные дериваты исходно полнопрофильных торфяных почв мы будем называть **пирогенными образованиями**.

Вместе с тем возможны ситуации, при которых пирогенное воздействие на торфяные почвы ограничивается **поверхностным** воздействием. При пожаре сгорает лишь верхний слой торфа разной мощности. Но при этом сохраняются нижние торфяные горизонты, которые обладают достаточно высоким плодородием и пригодны для возделывания сельскохозяйственных растений в постпирогенный период. В этом случае следует выделять **пирогенно измененные торфяные почвы** (или для краткости — пирогенные торфяные почвы). Таким образом под **поверхностной пирогенной деградацией** понимают сгорание только верхних органогенных почвенных горизонтов (горизонта).

В первом случае — при глубинном проявлении пирогенной деградации — имеет место, как правило, практически полная потеря плодородия. Это наиболее опасный вид пирогенной деградации.

Он наиболее часто проявляется в тех случаях, когда торфяные горизонты подстилаются водоносным песком, супесью или галечником. Такие ситуации широко представлены в полесских, пойменных, а также в моренных ландшафтах, почвообразующие и подстилающие породы которых образованы мощной толщей песчаных или супесчаных отложений разного генезиса. При поверхностной пирогенной деградации не происходит полного сгорания торфяных горизонтов и потери плодородия. В этом случае почвы часто могут эффективно использоваться в сельскохозяйственном производстве.

Поверхностная пирогенная деградация торфяных почв проявляется при их заболачивании напорными водами, а также при формировании органогенных почв на мощных торфяных залежах в условиях залегания грунтовых вод выше ее нижней границы.

Кроме того поверхностная пирогенная деградация может проявляться при пожарах на торфяных массивах неосушенных болот. В этом случае обычно неглубоко залегающие воды (даже в меженный период) сохраняют торфяные горизонты от сгорания.

Наконец, при оценке последствий пожаров и выборе способов рекультивации (см. табл. 28) актуальное значение приобретает характер распространения пожаров по площади осушенных торфяных почв. В этой связи целесообразно выделять **локальное** и **тотальное** выгорание торфяных почв. При локальных пожарах имеет место их пирогенное поверхностное или глубинное сгорание на небольших участках внутри значительных по площади осушенных массивов, которые после ограниченных пожаров тем не менее представлены преимущественно крупными массивами плодородных торфяных почв.

В случае тотального выгорания торфяных почв пирогенному уничтожению подвергается основная площадь их распространения или весь осушенный массив. Вторым видом негативной трансформации осушенных торфяных почв, рассматриваемым в монографии, является их гидротермическая деградация.

**Гидротермическая деградация** — процесс биохимического разложения органического вещества осушенных торфяных почв, темпы которого определяются их температурой, влажностью и уровнями залегания грунтовых вод. Как при пирогенной, так и при гидротехнической деградации конечным результатом этих процессов является полный распад органического вещества, исчезновение торфяных почв и выход на дневную поверхность минеральных пород, подстилающих торфяную залежь.

Пирогенная деградация торфяных почв может протекать стремительно и приводить их к полному уничтожению за весьма короткий период, определяемый днями. При гидротермической деградации имеет место тот же эффект, но он осуществляется за весьма продолжительный период, нередко исчисляемый многими десятилетиями. *Принципиальная задача заключается в том, чтобы исключить возможность возникновения пирогенной деградации и не допустить развития гидротермической деградации, наиболее ярким проявлением которой всегда является негативный баланс углерода.*

В случае любого из этих двух видов деградаций, таким образом, происходит сработка органических горизонтов разной мощности. При этом в случае пирогенных торфяных почв особое значение приобретает оценка сохранившейся над уровнями грунтовых вод толщи торфяных горизонтов. В основу диагностики их хозяйственной значимости может быть положен эколого-гидрологический принцип оценки целесообразности использования торфяных почв и необходимости проведения рекультивационных мероприятий [Зайдельман 1985, 1991]. Применительно к рассматриваемым ситуациям могут быть приняты три следующие степени деградации почв и образований, испытавших пирогенное и гидротермическое воздействие:

1) почвы с пирогенно деградированным поверхностным горизонтом, в которых уровни грунтовых вод позволяют использовать их для размещения любых районированных сельскохозяйственных культур, возделывание которых целесообразно на торфяных почвах;

2) почвы с укороченными в результате пирогенной деградации торфяными верхними и средними частями профиля, в которых уровни грунтовых вод позволяют использовать их для размещения любых многолетних трав (бобовых, злаковых).

3) пирогенные образования с глубокой деградацией всех основных органогенных горизонтов и интенсивным вторичным заболачиванием их минерального профиля. Такие пирогенные образования возникают преимущественно в условиях осушенных болотных массивов с исходно малой (50—100 см) и средней (100—200 см) мощностью органогенных горизонтов. На мощных торфяных почвах (> 2 м) в результате пожаров возможно возникновение особого вида пирогенных образований, который отличается тем, что в этом случае происходит полное выгорание органической массы торфа до меженного уровня залегания грунтовых вод. Положение

последних практически исключает возможность их любого использования в сельскохозяйственном производстве. Поэтому на таких пирогенных образованиях интенсивному сельскохозяйственному использованию должны предшествовать специальные мероприятия по их рекультивации.

Почвы первых двух групп в постпирогенный период характеризуются относительно благоприятными свойствами для ведения сельскохозяйственного производства. В основном они не подлежат рекультивации (см. табл. 28, 29). Специальные мероприятия здесь ограничиваются перемешиванием массы золы поверхностного слоя с нижележащим торфяным горизонтом. Если, однако, нижележащий горизонт в процессе пожара был подвергнут пирогенному обжигу и уплотнен, то здесь может оказаться целесообразным его механическое разрушение с помощью кротования (но не глубокого рыхления).

Все другие охранные мероприятия на таких почвах предусматриваются в том же составе, что и на обычных полнопрофильных почвах. Эти мероприятия рассмотрены ниже. Очевидно, что вовлечение в сельскохозяйственное производство пирогенных образований и пирогенных торфяных почв должно осуществляться с учетом следующего ряда факторов: характера использования территории (экстенсивного или интенсивного), причин заболачивания, гранулометрического состава подстилающих пород, других элементов ландшафта, а также их химических и физических свойств.



# ПОЧВЫ И МЕЛИОРАТИВНЫЙ ФОН ПОЧВЕННО-ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ СТАЦИОНАРОВ

## 1.1. ОКСКО-МЕЩЕРСКИЙ СТАЦИОНАР

На территории Нечерноземной зоны России в последние десятилетия возникли крупные массивы осушенных низинных торфяных почв. Они наиболее часто приурочены к обширным задровым низменностям — Окско-Мещерскому, Верхне-Волжскому, Вятско-Камскому, Ветлужскому, Деснинскому и другим полесьям. Здесь торфяные почвы обычно подстилаются оглеенным песком на глубинах 1,5—3,0 м.

Низинные торфяные почвы отличаются высоким потенциальным плодородием и интенсивно используются в сельскохозяйственном производстве [Бамбалов 1984; Белковский 1982, 1985; Скоропанов 1961; Скоропанов, Барсуков 1974]. Вместе с тем, после осушения они приобретают ряд неблагоприятных физических свойств и технологических особенностей. Торфяные почвы становятся экологически неустойчивыми. В них интенсивно минерализуется органическое вещество, они подвергаются ветровой эрозии, пожарам, что в конечном итоге приводит к уменьшению запасов торфа, потере плодородия, их деградации [Алексеева, Колотовский, Малышева 1981; Белковский, Зоткин 1986; Ефимов 1986; Götlich, Kuntze 1980].

В этой связи в 1991 г. на территории совхоза «Макеевский» Спас-Клепиковского района Рязанской области в пределах летнего полядера «Макеевский мыс» был заложен опытный участок. Площадь системы, осушенной, в основном, сетью открытых каналов, равна 2000 га (рис. 3). До осушения территория была заболочена грунтовыми и намывными русловыми водами и образована слабо- и среднеразложившимися торфами мощностью до 2—3 метров. Торфа подстилаются толщей оглеенных мелко- и среднезернистых песков. Встречаются сапропели в виде линз. Региональный водоупор, образованный юрскими глинами, залегает на глубине 17—24 м. После осушения и 28 лет эксплуатации средняя мощность торфяной толщи 90—100 см. Верхние 27 см древесно-тра-

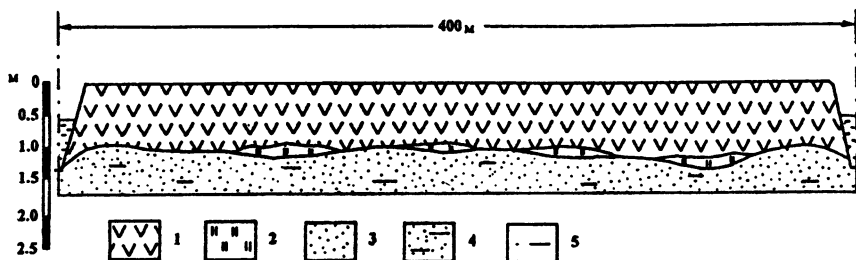


Рис. 3. Почвенно-литологический профиль польдера «Макеевский мыс».

1 — торф; 2 — сапропель; 3 — песок; 4 — включение тонких прослоек легкого суглинки; 5 — оси дренажных каналов

вяного торфа имеют степень разложения 55% с преобладанием тростника (35%). Ниже (27—38 см) преобладает вахта — 45—50%. Глубже залегает тростниковый торф со степенью разложения 50—55%. С 70 сантиметров встречаются примеси песка. Оглеенный мелкозернистый песок — на глубине 80—100 см. Морфология почвенного профиля и описания растений-торфообразователей приведены в табл. 3 и 4.

Поверхностный слой (0—27 см) обладает следующими свойствами: реакция среды близкая к нейтральной, pH водной вытяжки 6,4; зольность 15%; гидролитическая кислотность 38 мг-экв/100 г почвы (табл. 2). Обменные основания  $\text{Ca}^{2+}$  и  $\text{Mg}^{2+}$  100 и 21 мг-экв/100 г почвы соответственно. Степень насыщенности основаниями 76%. С глубиной кислотность почвы увеличивается (pH водной 5,5—5,4); гидролитическая кислотность 97—103 мг-экв на 100 г почвы. Содержание обменного кальция снижается до 96—86 мг-экв/100 г почвы, степень насыщенности основаниями — до 54—56%. Плотность сложения органогенных слоев после осушения 0,22—0,29 г/см<sup>3</sup>; пористость 81—86%. Минеральные горизонты имеют плотность сложения 1,54 г/см<sup>3</sup> и общую пористость 43—45%. Минеральное дно образовано тонкозернистым песком.

Фракция мелкого песка (0,25—0,05 мм) составляет 75—76%. Древесно-травянистый торф в слое 0—27 см характеризуется коэффициентом вертикальной фильтрации  $0,3 \pm 0,06$  м/сутки, в слое 27—38 см —  $0,41 \pm 0,04$  м/сутки. Кф подстилающего песка по методу Хануса 4,5 м/сутки (табл. 2).

На территории Окско-Мещерского почвенно-гидрологического стационара исследовали:

Таблица 2

Химические и физические свойства осушенных торфяных почв  
опытного участка полдера «Макеевский мыс», 1991г.

| Глубина,<br>см | Золь-<br>ность,<br>% | рН          |              | Гидролити-<br>ческая кис-<br>лотность | Обменные<br>основания |                  |                  | Степень насыщен-<br>ности основ-<br>ными, % | Плотность,<br>г/см <sup>3</sup> |               | Пористость, %                | Коэффициент<br>вертикальной<br>фильтрации,<br>м/сут, метод<br>Хануса |
|----------------|----------------------|-------------|--------------|---------------------------------------|-----------------------|------------------|------------------|---------------------------------------------|---------------------------------|---------------|------------------------------|----------------------------------------------------------------------|
|                |                      | вод-<br>ный | соле-<br>вой |                                       | мг-экв/100 г почвы    | Са <sup>2+</sup> | Mg <sup>2+</sup> |                                             | твердой<br>фазы                 | сложе-<br>ния |                              |                                                                      |
|                |                      |             |              |                                       |                       |                  |                  |                                             |                                 |               |                              |                                                                      |
| 0—27           | 15                   | 6,4         | 5,7          | 38                                    | 101                   | 21               | 76               | 1,56                                        | 0,29                            | 81            | 0,30 ± 0,06                  |                                                                      |
| 27—38          | 10                   | 5,4         | 4,4          | 97                                    | 96                    | 14               | 54               | 1,58                                        | 0,26                            | 83            | 0,41 ± 0,04                  |                                                                      |
| 38—70          | 11                   | 5,5         | 4,6          | 103                                   | 86                    | 44               | 56               | 1,61                                        | 0,22                            | 86            | Не опр.                      |                                                                      |
| 70—90*         | 81                   | 6,1         | 4,9          | 29                                    | 42                    | 4                | 64               | 2,65                                        | 1,38                            | 48            | Глубже 90 см —<br>4,5 ± 0,52 |                                                                      |

\* Опесчаненный горизонт торфа.

Таблица 3

**Морфология типичного профиля осушенных низинных торфяных  
маломощных почв польдера «Макеевский мыс». Разрез 1**

| Горизонт         | Глубина, см | Морфология                                                                                                            |
|------------------|-------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| T <sub>пах</sub> | 0—27        | темный с буроватым оттенком влажноватый сильно разложившийся торф древесно-травяной рыхлый, пронизан корнями растений |
| T2               | 27—38       | бурый влажноватый менее разложившийся торф, чем предыдущий, вахтовый плотный с остатками древесины и осоки            |
| T3               | 38—80       | темный влажный сильно разложившийся тростниковый торф, встречаются остатки древесины и осоки                          |
| Gor              | 80—100      | темно-серый с ржавыми, сизыми пятнами; мокрый песчаный оторфованный, встречаются остатки стеблей растений, осоки      |

Таблица 4

**Ботанический состав и степень разложения торфа.  
Польдер «Макеевский мыс». Разрез 1**

| Ботанический состав             | %     | Степень разложения                                                            |
|---------------------------------|-------|-------------------------------------------------------------------------------|
| 1                               | 2     | 3                                                                             |
| <b>Слой 1     10—27 см</b>      |       |                                                                               |
| Вахта                           | 20    | 55%<br>Хорошо заметны простым глазом кусочки покровной ткани древесных видов. |
| Осока дернистая                 | 5     | Тип торфа — низинный                                                          |
| Древесина лиственных деревьев   | 10    | Вид — древесно-травяной                                                       |
| Тростник                        | 35    |                                                                               |
| Кора березы                     | 15    |                                                                               |
| Неизвестные травянистые остатки | 10    |                                                                               |
| <b>Слой 2     27—38 см</b>      |       |                                                                               |
| Вахта                           | 45—50 | 45 (50) %<br>Тип торфа — низинный                                             |
| Хвощ                            | 10    | Вид — вахтовый                                                                |
| Осока                           | 5     |                                                                               |
| Тростник                        | 15    |                                                                               |
| Неизвестные травянистые остатки | 10    |                                                                               |
| Хитин насекомых                 | 5 ед. |                                                                               |

Таблица 4 (окончание)

| 1                               | 2       | 3                        |
|---------------------------------|---------|--------------------------|
| <b>Слой 3      38—80 см</b>     |         | 50 (55) %                |
| Тростник                        | 50—55   | Тип торфа — низинный     |
| Ольха                           | < 5ед.  | Вид торфа — тростниковый |
| Осока                           | 10      |                          |
| Вахта                           | 15      |                          |
| Сосна (кора)                    | 5       |                          |
| Неизвестные травянистые остатки | 10      |                          |
| Хитин насекомых                 | < 5 ед. |                          |

- 1) пирогенную трансформацию осушенных торфяных почв;
- 2) влияние различных способов внесения песка на их свойства, режимы и продуктивность;
- 3) деградацию органических почв под влиянием механических факторов.

## 1.2. СЕВЕРО-ДВИНСКИЙ СТАЦИОНАР

Северо-Двинский почвенно-гидрологический стационар находится на территории польдерной осушительной системы «Юрас». Последняя расположена в дельте реки Северная Двина между ее протоками Кузнечихой и Юрасом на землях совхоза «Беломорский». Болотный массив в целом образован мало- и среднемощными торфами мощностью 0,5—1,5 м. В непосредственной близости от реки расположены дерновые глееватые суглинистые почвы, которые тянутся вдоль ее русла. Далее идет ареал торфяно-глеевых, торфяных маломощных и торфяных среднемощных почв.

Строение торфяной залежи таково: в верхней части выделяется один или два слоя торфа разной степени разложения. Под ним фрагментарно встречается перегнойный горизонт различной мощности. Ниже следует слой редуцированного суглинистого глея, подстилаемого на глубине 2,5—3,0 м оглеенными песками.

Низинные древесно-осоковые торфа участка характеризуются большим количеством древесных остатков березы, ели и, реже, сосны. Часто это полуразложившиеся корни и стволы деревьев. Травянистая часть торфа представлена остатками осок, хвоща, и тростника. Степень разложения торфа на неосушенном участке составляет 35%, зольность не превышает 18%. После

осушении торфяника и введении его в севооборот степень разложения увеличилась до 40—45%, а зольность до 35% в пахотном горизонте.

Болотный массив был осушен сетью открытых каналов в 1975 г. С 1983 г. он осушается закрытым гончарным дренажом и входит в систему зимнего польдера. Минеральные дерновые глееватые суглинистые почвы осушены сетью неглубоких (70—80 см) каналов, расстояние между которыми составляет 45—50 м.

Сельскохозяйственное использование территории осушенного торфяника приводит к снижению гипсометрического уровня поверхности торфа в среднем на 1—3 см в год. Это связано с физическими явлениями (усадкой, уплотнением, дефляцией и др.), а также с минерализацией торфа, вызванной биологической деятельностью почвенных микроорганизмов.

Осушение оказывает существенное влияние на физические свойства торфяных почв. За последние 15 лет после осушения в пахотных горизонтах произошло увеличение плотности сложения в 3,5—4 раза. Плотность твердой фазы увеличилась на 10—12%. Вместе с тем наблюдается уменьшение в среднем на 15% общей пористости и почти в 1,5 раза — предельной полевой влагоемкости (ППВ). Изменение водно-физических свойств в подпахотных горизонтах торфяных почв менее выражено.

До осушения торфяные почвы имели кислую реакцию среды (рН водный — 5,0; рН солевой — 3,5). Высокая гидролитическая кислотность и относительно небольшое содержание подвижных Са и Mg являются причинами слабой (около 30%) насыщенности основаниями. После осушения торфяные почвы характеризуются слабокислой реакцией (рН водный увеличивается до 6,0, рН солевой — до 5,3). С глубиной изменение кислотности происходит в меньшей степени. Заметно уменьшается гидролитическая кислотность и почти в 2 раза повышается степень насыщенности основаниями по сравнению с неосушенными торфяными почвами.

Минеральные дерновые глееватые почвы пойм обладают нейтральной реакцией и высокой насыщенностью основаниями (до 98%).

Осушенные почвы как торфяные, так и минеральные достаточно хорошо обеспечены фосфором и калием, содержат значительное количество валового азота и характеризуются довольно узким соотношением С : N. Осушение торфяных почв приводит к уменьшению теплоемкости и теплопроводности. Это способствует бо-

лее длительному сохранению мерзлоты в профиле почв. Мерзлота сохраняется иногда до середины июня.

На примере почв Северо-Двинского почвенно-гидрологического стационара исследовали влияние песчаных культур земледелия на гидротермический режим осушенных торфяных почв и продуктивность сельскохозяйственных культур.

## ПИРОГЕННАЯ ДЕГРАДАЦИЯ ОСУШЕННЫХ ТОРФЯНЫХ ПОЧВ

### 2.1. ПИРОГЕННАЯ ДЕГРАДАЦИЯ И ЕЕ СВЯЗЬ СО СПОСОБАМИ ОСУШЕНИЯ И ОСОБЕННОСТЯМИ ВОДНОГО РЕЖИМА

Возможность возникновения пирогенной деградации определяется особенностями водного режима почв. Поскольку в естественном состоянии в период летней межени происходит общее понижение грунтовых вод, снижается и их уровень на естественных болотных массивах, обычно на 0,4—1,0 м. В этих условиях выгоранию подвержены лишь поверхностные слои органогенной толщи.

Однако после осушения болотного массива уровни грунтовых вод стабильно удерживаются дренажом и проводящей сетью на значительной глубине. Их положение определяют основные параметры дренажа — его глубина и междренные расстояния. Дренаж принципиально меняет направленность почвообразования. Выше мы отмечали, что сущность болотообразования заключается в аккумуляции остатков органического вещества растений-торфообразователей. В естественном состоянии происходит непрерывный подъем поверхности болот со скоростью 1—2 мм/год. Однако этот процесс аккумуляции органического вещества прекращается после осушения. Наступает новая фаза эволюции торфяных почв.

В 1960 г. для ускоренного и, казалось бы, экономически целесообразного осушения торфяных почв был предложен новый способ дренажа, основанный на использовании глубоких каналов (4—5 м), врезанных в водоносный песок [Аверьянов и др. 1960]. По замыслу авторов, этот способ, получивший название «самотечного глубокого осушения низинных болот», был рассчитан на отрыв капиллярной каймы от всех слоев торфяной залежи (рис. 4).

Способ был рекомендован для осушения болот полесских ландшафтов, т. е. для условий, когда торфяные почвы подстилаются оглеенными водоносными кварцевыми песками. Казалось бы, этот способ обладает очевидными преимуществами. Он экономичен. Глубокие каналы обеспечивают быстрое осушение. В первые годы эксплуатации расходы на поддержание системы минимальные, а



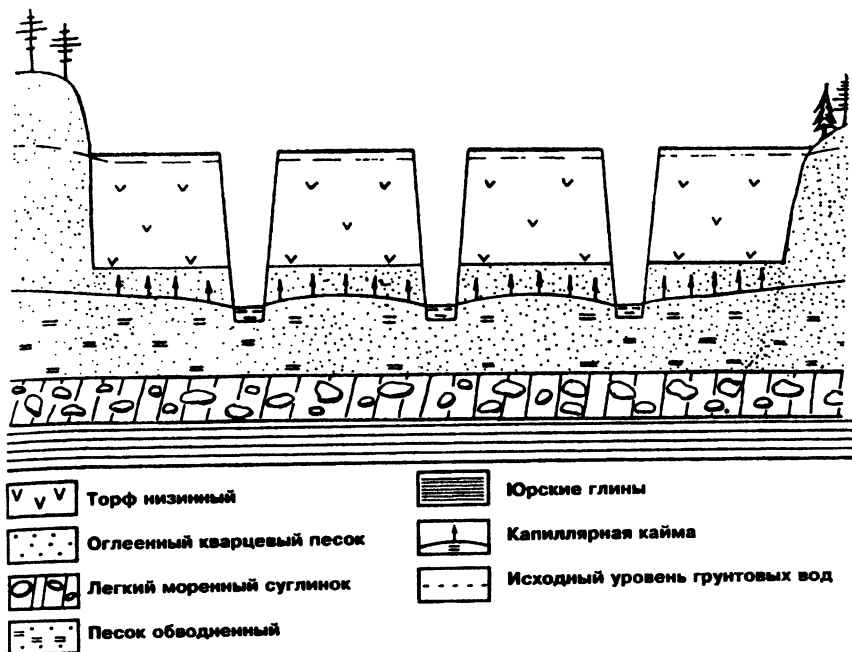


Рис. 4. Схема осушения низинных торфяных почв с помощью глубоких (до 4—5 м) каналов, обеспечивающих отрыв капиллярной каймы зеркала грунтовых вод от торфяной залежи в условиях полесских ландшафтов

урожай существенно возрастает. Однако эти преимущества в условиях южной тайги европейской части страны действуют весьма непродолжительно. Как только глубокие каналы сбрасывают основной запас гравитационной влаги из торфяной залежи (это происходит через 3—4 года после завершения строительства осушительной сети), так немедленно включается механизм ускоренного биохимического разложения органического вещества торфа и его быстрая сработка. Естественный процесс почвообразования, связанный с накоплением органического вещества торфа, в результате самотечного глубокого осушения сменяется его ускоренным распадом — 1—3 см/год и более [Зайдельман 1960; Скрынникова 1961; Головки 1972; Донских, Шоповалова 1970 и др.].

Кроме биохимического разложения торфа до окислов ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{NO}_2$ ) на осушенных болотных массивах после сброса гравитационной влаги с помощью глубоких каналов начинаются активная ветровая эрозия и глубинные пожары. Ускоренное разложение торфа

сопровождается поступлением в почвенный раствор, а затем и в грунтовые воды огромных масс нитратов. Этот несвойственный природным условиям южной тайги процесс сработки торфа быстро завершается полным исчезновением органического вещества торфяных почв [Головко 1972]. На дневную поверхность выходят оглеенные, практически бесплодные кварцевые пески. В Белоруссии, где способ «самотечного глубокого осушения низинных болот» в 60—70 годах получил наиболее широкое распространение, общая площадь таким образом исчезнувших торфяных почв и вновь появившихся вторичных песчаных глееземов составила около 200 тыс. га. Применение этого способа осушения было связано, очевидно, с непониманием вторичных почвообразовательных и деградационных процессов, которые вызывает к жизни такой способ осушения низинных болот.

Стихийный нерегулируемый гидрологический режим осушенных торфяных почв, вызванный глубоким понижением грунтовых вод и отрывом капиллярной каймы от органогенных горизонтов в период летней межени (обычно в конце июня — начале августа), почти всегда завершается опустошительными пожарами и их глубокой деградацией.

Однако отрыв капиллярной каймы от торфяных горизонтов происходит не только при глубоком осушении низинных болотных почв, но очень часто — при обычной норме осушения, в тех случаях, когда осушительные системы в период летней межени не обеспечивают сохранения лугового типа водного режима\* в профиле торфяных почв.

## **2.2. ПИРОГЕННЫЕ ОБРАЗОВАНИЯ, ВОЗНИКШИЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ СГОРАНИЯ ТОРФЯНЫХ ПОЧВ**

### **2.2.1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ**

Пожары на осушенных торфяных почвах — явление весьма широко распространенное, но по ряду причин недостаточно изученное. Вместе с тем площади таких пожарищ следует рассматривать как территории экстремального экологического бедствия, поскольку при

---

\* Под луговым типом водного режима понимают такое гидрологическое состояние почв, когда капиллярная кайма, поднимающаяся от зеркала грунтовых вод, стабильно удерживается в поверхностной корнеобитаемой толще почвенного профиля.

этом происходит тотальная потеря почвенного покрова (рис. 1, 2). Осушенные торфяные почвы в этом случае замещаются преимущественно минеральными пирогенными образованиями, отличающимися полной или частичной потерей плодородия. Однако этим не исчерпывается отрицательная роль пожаров. Они ограничивают реальные ареалы местообитания и деятельности человека, снижают видовое разнообразие флоры и фауны, являются причиной огромных одномоментных выбросов в атмосферу диоксида углерода и окислов азота, миграции нитратов в грунтовый поток, усиливают парниковый эффект. Таким образом, очевидно многофакторное отрицательное влияние пожаров на экологическое состояние значительных территорий.

Изученность этого опасного явления, однако, остается весьма ограниченной. Слабо разработаны анализ причин и эффективные способы защиты органических почв от возгорания, не известны признаки оценки вторичных пирогенных образований, возникших на месте сгоревших торфяников и их классификация. Все это определяет научную и прикладную значимость проблемы.

Для того чтобы представить масштабы явления, рассмотрим некоторую информацию по осушительным самотечным и польдерным системам только Рязанской области за 1996—1997 гг. Так, в 1996 г., по нашим данным, на территории осушенных торфяных почв польдера «Макеевский мыс» интенсивные пожары привели к выгоранию торфа до минерального дна на площади не менее 60 га. В том же году, по данным Рязанского областного управления лесного хозяйства, сгорело 50 га осушенных торфяных почв на массиве «Штыга Талпега» в районе сел Деревенское и Вознесеново. В районе сел Ижевское и Городовичи на объекте Б. Ковеш полностью выгорели мощные торфа на площади 200 га. В 1997 г. продолжались пожары на объекте осушения «Болонь», погибло более 30 га на объекте «Лавронь». На объекте «Гарище» пожарами уничтожено 50 га плодородных осушенных торфяных почв. В целом за два прошедших года на осушительных системах только Рязанской области безвозвратно исчезло около 1000 га торфяных почв, в сельскохозяйственное освоение которых сравнительно недавно (20—40 лет тому назад) были вложены значительные инвестиции. Пока мы не располагаем данными о пожарах на торфяных почвах лесных угодий. Можно, однако, предполагать, что и эти потери также весьма велики.

Существенно и то, что процесс уничтожения осушенных торфяных почв имеет явную тенденцию быстрого роста. Так, было

показано, что по результатам обследования на польдере «Макеевский мыс» в 1996 г. полностью сгорели осушенные торфяные почвы на площади 60 га. Однако позднее, по данным обследования 2000 г., пирогенные образования занимали уже существенно большую территорию — 140 га. Таким образом, всего за 6 лет площадь сгоревших плодородных осушенных торфяных почв возросла более чем в два раза.

Аналогичная ситуация, часто не учтенная земельными и экологическими службами, имеет место и на многих других объектах осушения Российского Нечерноземья. При этом опасность заключается не только в том, что в настоящее время уничтожается одна из наиболее плодородных групп почв России, но и в том, что все еще сохраняются условия для существенного расширения масштабов этой экологической катастрофы в средне- и южнотаежной подзонах, в зонах широколиственных лесов и в лесостепи. Особенно опасны пожары торфяных почв в полесьях — обширных флювиогляциальных и древнеаллювиальных низменностях, почвенный покров которых образован легкими (песчаными, супесчано-песчаными) и торфяными почвами. Здесь торфяные низинные почвы после осушения образуют наиболее плодородные земли.

Опасность пожаров осушенных торфяных почв в полесьях велика еще и потому, что, по нашим наблюдениям, уровни грунтовых вод, особенно на самотечных системах или нестабильно управляемых польдерах, подвержены значительным колебаниям. В период летней межени здесь нередко происходит отрыв капиллярной каймы грунтовых вод от нижних горизонтов торфяной залежи, быстрое иссушение профиля торфяных почв и их сгорание. При этом на поверхность выходит бесплодный оглеенный кварцевый песок.

На примере типичного для условий Европейских полесий массива торфяных почв, приуроченного к крупному летнему польдеру, нами была предпринята попытка изучить структуру и морфологию вторичных пирогенных образований, возникших на месте сгоревших осушенных торфяных почв, исследовать видовой состав пионерных поселений растений, определяющих развитие вторичного почвообразования; раскрыть причины неоднородности пирогенных образований; наметить возможные мероприятия по защите органических почв от уничтожения и деградации при пожарах [Зайдельман, Банников, Шваров 1998, 1999, 1999а, 2001].

Исследования были выполнены на территории польдера «Макеевский мыс», расположенного в Спас-Клепиковском районе Ря-

занской области. Польдер в исходном состоянии характеризовался типичными для Европейских полесий почвенным покровом и гидро-геологическими условиями.

Плодородные торфяные почвы ранее, до пожара, использовались для возделывания картофеля, трав, зерновых, овощных культур; здесь размещались продуктивные пастбища. В настоящее время на части пolderной системы, не подверженной пожару, размещаются зерновые, пастбища и сенокосы.

### 2.2.2. МОРФОЛОГИЯ ПИРОГЕННЫХ ОБРАЗОВАНИЙ

Морфология исходных осушенных торфяных почв, их химические и физические свойства, гидротермический режим, другие параметры были подробно изучены нами ранее [Зайдельман, Шваров и др. 1995, 1997]. Эти сведения содержатся в главах 1, 4, 5.

Территория, охваченная пожаром, полностью лишилась плодородного почвенного органогенного слоя мощностью 0,5—1,2 м. Поверхность пожарища почти не занята растительностью и в настоящее время подвержена активной ветровой эрозии (рис. 8). Она покрыта слоем желто-охристой золы, легко развеваемой в сухом состоянии. Ее мощность колеблется от 1—2 до 10—16 см, в зависимости от типа пирогенных образований.

На месте плодородных осушенных почв, как показали полевые исследования, возникли вторичные пирогенные образования.

Вторичный пирогенный покров массива после пожара весьма неоднороден по своим свойствам. На сгоревшем торфяном массиве в пределах пolderа «Макеевский мыс» нами выделены следующие виды вторичных пирогенных образований, с которыми, в частности, может быть связана дифференциация способов восстановления их плодородия. Их морфологическое строение характеризуется следующими особенностями.

1. Пирогенно-перегнойные образования (рис. 2). Они образуют значительную (до 40%) площадь территории сгоревшего массива. Их верхний горизонт мощностью 6—10 см образован массой желто-охристой золы, содержащей значительное количество гидроокиси железа. Ниже залегает темно-окрашенный слой супеси, мощность которого варьирует от 10 до 20 см. Глубже — светло-серый оглеенный песок (рис. 5).

Морфологическое строение профиля (разрез 11) следующее.

Слой 1 0—6 (10) см. Желто-охристая зола, рыхлая, легкая, несвязанная, в сухом состоянии легко раздувается ветром; на

поверхности корочка (толщина до 5 мм), граница слабоволнистая, переход резкий по цвету и плотности.

*Слой 2* 6 (10)—11 (15) см. Масса серовато-черного цвета с включениями углистого материала; мажется, рыхлая, по нижней границе опесчаненная полоса (0,5 см) темно-серого цвета. Переход фиксируется по плотности и наличию обуглившихся растительных остатков.

*Слой 3* 11 (15)—29 (37) см. Черно-серый перегнойный горизонт; уплотнен, в нижней части значительные включения песка, граница волнистая.

*Gr* 29 (37)—63 см. Огленный, сизый в мокром состоянии, белый в сухом мелкозернистый песок с единичными ржавыми пятнами. Грунтовые воды с 63 см (17.08.97).

2. **Пирогенно-песчаные образования** (15—20% площади). Этот вид отличается от пирогенно-перегнойных отсутствием углистого и перегнойного слоев. Последний в некоторых случаях может присутствовать в профиле, но его мощность при этом не превышает 3—5 см. По всем другим признакам морфология пирогенно-песчаных образований совпадает с морфологией пирогенно-перегнойных (рис. 6, 7).

Происхождение трех горизонтов, определяющих профиль рассматриваемых образований, достаточно очевидно. Поверхностный ярко-охристый слой золы обязан своим возникновением полностью сгоревшему слою торфа. Чем мощнее был торф в исходном состоянии, тем больший слой золы аккумулирован на поверхности. Находящийся непосредственно под слоем золы материал — углистая масса не полностью сгоревшего торфа. Наконец, перегнойный горизонт унаследован вторичными пирогенными образованиями от исходных торфяных почв. Он формируется в начальной стадии их развития и затем, после накопления органического материала, залегает на контакте торфяной почвы и верхней кровли минерального дна болот.

3. **Песчаные образования.** Эти образования генетически связаны с подъемами минерального дна болотного массива. Они приподняты над окружающей поверхностью на 0,3—0,5 м. Песчаные образования занимают около 30% территории пожарища.

Морфологическое строение профиля следующее (разрез 12).

*Слой 1* 0—8 (12) см. Темно-серый, смесь песчаных зерен кварца и углистого крупитчатого материала; уплотнен, верхние 5 см более рыхлые и несколько темнее за счет большей концентрации

углистой массы в его составе. Бесструктурный, переход резкий по цвету.

Go 8 (12)—87 см. Плотный белесый однородный песок с ржавыми пятнами. Грунтовые воды на глубине 135 см.

Как следует из описания, песчаные образования, в отличие от предыдущих, не имеют зольного горизонта. В целом мощность пирогенно преобразованной толщи здесь невелика из-за отсутствия ряда слоев. Причина этого заключается в следующем. Песчаные образования возникли на наиболее повышенных элементах рельефа минерального дна сгоревшего болотного массива в условиях наиболее глубокого залегания грунтовых вод. Поэтому если на относительно пониженных отметках более высокий уровень грунтовых вод послужил препятствием для распространения пожара вглубь, то здесь, на повышениях, вся торфяная толща оказалась незащищенной от воздействия высоких температур. Во-вторых, господствующее положение этих образований в рельефе обусловило активную ветровую эрозию зольного и углистого материала (рис. 8). Этот эффект, по-видимому, усугубился и водной эрозией поверхностных слоев паводковыми водами, затопившими весной сгоревший массив.

4. Пирогенно-древесно-песчаные образования. На участках исходного торфа с большой массой погребенной древесины сформировались образования, перекрытые с поверхности слоем плотной спекшейся стволовой древесины, мощностью 0,1—0,3 м. Древесные остатки образуют своеобразный панцирь на поверхности оглеенного минерального субстрата.

Морфологическое строение профиля (разрез 13) следующее (рис. 9).

Слой 1 0—10 см. Прокаленная масса стволовой древесины; спекшаяся, очень сухая, сверху обугленная.

Слой 2 10—25 см. Темно-бурый с хорошо сохранившимися древесными остатками древесный торф; переход четкий по цвету, граница ровная.

Слой 3 25—35 см. Темно-сизый с крупными охристыми пятнами по ходам корней; средний суглинок, сырой, переход четкий, граница ровная.

Go' 47—65 см. Сочетания песчаных белесых и ржаво-охристых участков среднего суглинка серовато-сизой окраски. В тяжелом материале присутствуют трубчатые железистые конкреции.

Go'' 65—87 см. Светло-серый песок с крупными охристыми пятнами.

Отличием этих образований от остальных изученных объектов сгоревшего массива является присутствие в верхней части пирогенно преобразованной древесины, сохранившей свою структуру. Необходимо отметить неоднородность сгорания торфяной толщи этих образований. В итоге формируется специфический микро-рельеф, представляющий из себя сочетание повышенных участков (слой 1), вертикально обрывающихся и переходящих в понижения, поверхность которых покрыта слоем золы (3—5 см), сходной с золой пирогенно-перегнойных образований. Причина подобной неоднородности связана с локальным скоплением стволов погребенной древесины в исходном торфе, а также с активной дефляцией золы с повышенных участков микрорельефа в понижения. Возможно также, что неполное сгорание древесного торфа и погребенной древесины объясняется особенностями литологического строения профиля этих образований. Из описания 13 разреза следует, что в профиле этих почв возможен активный капиллярный переток влаги от зеркала грунтовых вод к поверхностным слоям профиля. За счет этого дополнительного увлажнения выгорание непосредственно прилегающего к поверхности минерального дна болота слоя древесного торфа не приобрело тотального характера.

5. Пирогенно измененные торфяные почвы. Эти почвы имеют определенное локальное распространение на осушенных массивах польдера «Макеевский мыс». Они строго приурочены к трассам открытых каналов и простираются по всей длине открытых дренажных линий узкой лентой шириной 5—8 м. Их органические горизонты могут иметь различную мощность. В исследованном нами случае она составила 0,7—0,8 м. Особенностью этих образований является интенсивное иссушение поверхностных слоев торфа (мощностью 20—25 см) в условиях высоких температур и необратимая коагуляция органических коллоидов. Торф в этом случае приобретает высокую механическую прочность. Он в значительной мере утрачивает способность к набуханию и смачиванию.

Пирогенно измененные торфяные почвы имеют следующее морфологическое строение (разрез 14).

*Слой 1* 0—11 см. Золовый темно-серый материал (песок с углистыми мелкими включениями) на маломощном красноцветном слое золы (1 см).

*Слой 2* 11—24 см. Темноокрашенный (до черного) трансформированный при пожаре торф, легкий, плотный, сухой.



*Слой 3* 24—40 см. Уплотненный коричневый торф, влажный.

*Слой 4* 40—70 см. Коричневый торф нормальной консистенции, влажный.

*Слой 5* 70—100 см. Хорошо разложившийся торф коричневого цвета, мокрый.

*Gr* 100—110 см. Оглеенный мокрый песок.

Решающее влияние на относительную сохранность исходных торфяных почв оказало то обстоятельство, что вся узкая территория на момент пожара была покрыта мощной травяной растительностью. Это определило их слабую пирогенную трансформацию. Вместе с тем центральная часть массива, на момент пожара занятая жнивьем, подверглась катастрофической деградации.

Наблюдения на территории польдера «Макеевский мыс» и на других объектах мелиорации свидетельствуют о том, что пирогенно измененные торфяные почвы получают наиболее широкое распространение на осушенных массивах, образованных мощными торфами, т. е. там, где мощность органогенной толщи существенно превышает норму осушения, а также в тех случаях, когда переувлажнение почв возникает в зонах влияния напорных вод. Кроме того пирогенно измененные торфяные почвы широко представлены и на неосушенных болотных массивах, подверженных действию пожаров.

Пространственное распределение пирогенных образований и почв на территории польдера «Макеевский мыс» показано на рис. 11. Приведенная схема отражает изменения гипсометрических уровней поверхности после сгорания торфа, а также взаимосвязь пирогенных образований и рельефа минерального дна осушенного болотного массива.

Полученные данные позволяют следующим образом классифицировать пирогенные образования полесий и характеризовать их морфологические особенности (табл. 5).

Кроме приведенных в таблице пирогенных образований в зависимости от строения ландшафта, генезиса и состава подстилающих торф минеральных пород, режима грунтовых вод могут возникать и другие их виды. Здесь следует выделить еще два дополнительных вида образований, возникновение которых имеет место в гумидных ландшафтах.

Во-первых, пирогенно-перегонные образования на толще суглинистых и глинистых отложений разного генезиса.

**Вторичные пирогенные образования, возникающие после сгорания осушенных  
низинных торфяных почв полесских ландшафтов**

| Вид вторичных пирогенных образований и почв | Исходный вид осушенной торфяной почвы (до пожара)                                    | Особенности морфологии профиля вторичных пирогенных образований и почв |                                                                                                 |                                           |
|---------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------|
|                                             |                                                                                      | мощность сохранившегося торфа                                          | мощность слоя золы, см                                                                          | минеральное дно болота                    |
| Пирогенно-перегнойно-песчаное               | торфяные низинные мало- и среднемощные                                               | нет                                                                    | 6—16 и более                                                                                    | оглеенный песок                           |
| Пирогенно-песчаное                          | низинные торфяно-глеевые                                                             | «                                                                      | 3—6                                                                                             | «                                         |
| Песчаное                                    | низинные торфянисто- и торфяно-глеевые                                               | «                                                                      | <3                                                                                              | «                                         |
| Пирогенно-древесно-песчаное                 | торфяные низинные мало- и среднемощные с включением больших масс стволовой древесины | «                                                                      | рассеянная масса золы в верхней части профиля. Самостоятельный горизонт золы не выражен или < 3 | оглеенные супесь, прослой суглинка, песок |
| Пирогенно-измененная торфяная почва         | торфяные низинные среднемощные                                                       | 70—80% исходной мощности в верхнем полуметре. Ниже — 100% сохранность  | 1—2                                                                                             | оглеенный песок                           |

Во-вторых, пирогенные образования на мощной толще аллювиальных галечниковых или валунно-галечниковых отложениях.

Пожары опасны на всех перечисленных видах осушенных торфяных почв. Однако наиболее катастрофические последствия можно ожидать при сгорании относительно маломощных торфяных почв (до 1—1,5 м), приуроченных к речным долинам горных и

предгорных территорий страны, близко подстилаемых грубым галечниковым аллювием. Такие болотные массивы часто встречаются в условиях предгорных и горных районов Кавказа, Западной и Восточной Сибири, Дальнего Востока. В связи с особенностями гидрологического режима здесь на болотных массивах возможны значительные колебания уровней грунтовых вод. На системах, где не осуществляется регулирование режима грунтовых вод, в период летней межени часто происходит отрыв капиллярной каймы от торфяной толщи и ее полное сгорание. Значительная масса пепла быстро уносится ветрами, а на дневную поверхность выходит верхняя кровля галечникового или валунно-галечникового аллювия. Ее продуктивность обычно ничтожно мала. Такие территории в перспективе не могут быть использованы в сельском хозяйстве даже в качестве низко продуктивных лугов и пастбищ.

### 2.2.3. ЕСТЕСТВЕННАЯ РАСТИТЕЛЬНОСТЬ ПИРОГЕННЫХ ОБРАЗОВАНИЙ

Особый интерес с точки зрения оценки плодородия пирогенных образований, развития первичного почвообразования и диагностики представляет анализ естественной растительности на всей площади пожарища. Сразу после пожара (1996 г.) древесная, травянистая растительность и мхи не были обнаружены на всей площади массива. После прохождения весеннего паводка на следующий год (1997 г.) началось медленное заселение пожарища. В ее расселении можно обнаружить следующие закономерности. Наиболее разнообразный видовой состав пионерной растительности был приурочен к контурам распространения пирогенно-перегонных образований. Здесь встречаются (рассеянно) следующие виды травянистых растений: одуванчик (*Taraxacum officinale* Wigg), ромашка непахучая (*Tripleurospermum inodorum* Sch. Bip.), фиалка полевая (*Viola arvensis* Murr.), щавель морская (*Pumex maritimus* L.), полынь обыкновенная (*Artemisia vulgaris* L.), желтушник левкойный (*Erysimum cheiranthoides* L.), пастушья сумка (*Capsella bursa-pastoris* L., Medic.), жерушник болотный (*Rorippa palustris* L., Bess.), мать-и-мачеха (*Tussilago farfara* L.), вейник наземный (*Calamagrostis epigeios* L., Poth).

В ареале пирогенно-перегонных образований обнаружено (единично) три вида древесных растений: ива трехтычинковая (*Salix triandra* L.), ива пепельная (*Salix cinerea*, L.), береза пушистая (*Betula pubescens*, Ehrk.).

Характерной особенностью расселения травянистой и древесной растительности является строгая приуроченность всех видов к участкам поверхности темного цвета. Эти участки отличаются повышенным содержанием органики в зонах сгоревшей погребенной древесины или неполного сгорания торфа (рис. 2). Содержание органического вещества в местах поселения этих растений, однако, весьма незначительно (не более 0,4—0,5% С).

В небольших депрессиях (5—15 см) на поверхности пирогенно-перегнойных образований встречаются сплошные ярко-зеленые поселения мха лептобрея грушевидного (*Leptobrium pyriforme* Wils; Hedw.). В целом они занимают не более 5—7% общей поверхности этих пирогенных образований.

Вместе с тем мхи не были обнаружены в ареалах всех других пирогенных образований. Пирогенно-песчаные образования отличаются единичным поселением, преимущественно полыни обыкновенной, березы и ивы. Песчаные образования на второй год не заселялись древесной и травянистой растительностью. Пирогенно-древесно-песчаные образования на второй год после сгорания торфа были покрыты (редко) травянистой растительностью, представленной чистыми ассоциациями иван-чая (*Chamaenerion angustifolium* L., Scop.) и (единично) березы пушистой.

В первые два года происходит весьма замедленное освоение территории пожарищ естественной растительностью. В значительной мере это явление объясняется неблагоприятными значениями рН. Последнее обстоятельство связано с тем, что зольные горизонты пирогенных образований обладают неблагоприятной щелочной реакцией (рН 11,0). Она обусловлена высокой концентрацией в их поверхностных горизонтах поташа ( $K_2CO_3$ ).

Постепенно под влиянием затопления поймы пресными водами, а также поступления жидких осадков и таяния снега происходит процесс выщелачивания из поверхностных горизонтов углекислого калия. рН пирогенно-перегнойных образований опускается до 8,0—7,8. После этого начитнается процесс быстрого заселения территории пожарища древесной и травянистой растительностью. На 4—5 год процесс расселения стабилизируется и тогда удастся проследить определенную закономерность распределения растений. Она проявляется прежде всего в том, что ареал каждого вида пирогенных образований заселяется преимущественно ценозами с постоянными доминантами. Так, на пирогенно-перегнойных образованиях преобладает вейник. Нередко он образует моно-

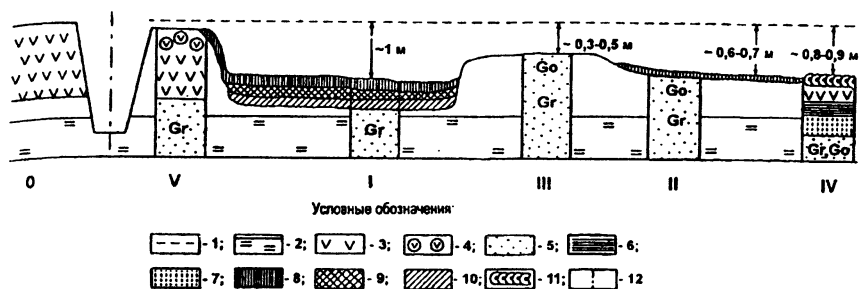


Рис. 11. Схематический профиль сгоревшего торфяного массива на территории польдера «Макеевский мыс» и структура пирогенных образований.

А. Пирогенные образования: I — пирогенно-перегнойные; II — пирогенно-песчаные; III — песчаные; IV — пирогенно-древесно-песчаные; V — пирогенно измененные торфяные почвы, 0 — торфяные маломощные почвы до пожара.

1 — поверхность до пожара; 2 — уровень грунтовых вод; 3 — торфяной горизонт; 4 — горизонт спекшегося торфа; 5 — песок оглеенный; 6 — суглинок; 7 — супесь; 8 — горизонт золы; 9 — углистый горизонт; 10 — перегнойный горизонт; 11 — плотный слой стволов обгоревшей древесины; 12 — ось осушительного канала

видовой растительный покров. В этом случае пирогенно-перегнойные образования могут быть использованы в качестве естественных сенокосов, способных производить невысокий урожай вейникового сена. Общая масса сухого сена составляет около 30—35 ц/га. Уборка сена из-за высокого уровня грунтовых вод здесь может осуществляться только вручную.

На песчаных и пирогенно-песчаных образованиях преобладает полынь. Сухая биомасса таких ценозов не превышает 3—4 ц/га. Низкие кормовые достоинства и продуктивность исключают возможность использования этих образований в качестве естественных сенокосов (рис. 10).

В границах древесно-пирогенно-песчаных образований преобладает иван-чай, а в ареалах пирогенно измененных торфяных почв — полынь, лебеда, молочай и другое разнотравье.

Таким образом, возможным для использования в качестве сенокосов невысокой продуктивности являются лишь ареалы пирогенно-перегнойных песчаных образований.

## 2.2.4. ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПИРОГЕННЫХ ОБРАЗОВАНИЙ И ПОЧВ, ИХ ПЛОДОРОДИЕ

Наибольшее внимание при исследовании свойств пирогенных образований обращали на поверхностные слои, образованные толщей охристой золы. В золе по сравнению с исходным торфом (табл. 6) высоко содержание практически всех макро-(Ca, Mg, K, Mn, P и др.) и микроэлементов, а также тяжелых металлов (Pb, Cd, Cu и др.). При этом, однако, не преодолен порог ПДК. По нашим наблюдениям (табл. 7, 8) значения pH поверхностного слоя золы непосредственно после пожара оказались сильнощелочными — 10,5...11,6. Это обусловлено высокой концентрацией в золе углекислого калия (поташа). После паводка и промывки атмосферными осадками значения pH золы снизились до 8,2—8,4. Эти величины связаны с повышенным содержанием углекислых солей щелочно-земельных металлов в золе. Естественное элювиирование оказывает существенное влияние на общее содержание в золе Ca, Mg, K, Mn и других элементов. Только за один год их валовое содержание в массе золы уменьшилось соответственно на 32, 45, 30 и 38%. Вынос фосфора был относительно невелик — 10%. Однако в случае, если вынос будет продолжаться такими темпами, его за-

Таблица 6

Валовое содержание (мг/кг) некоторых элементов в исходном торфе (до сгорания), в золе непосредственно после пожара (1996 г.) и через год (1997 г.) после пожара (анализы выполнены лабораторией тяжелых металлов ММА им. Сеченова на атомно-эмиссионном плазменном квантометре Labtest-UV-25 стандартным методом)

| Элемент | Торф<br>исходный | Зола  |       | Вынос<br>за 1-й год, % |
|---------|------------------|-------|-------|------------------------|
|         |                  | 1996  | 1997  |                        |
| Ca      | 15810            | 37648 | 25574 | 32                     |
| Mg      | 5527             | 23528 | 13041 | 45                     |
| K       | 30956            | 57451 | 40485 | 30                     |
| Mn      | 339              | 1429  | 887   | 38                     |
| P       | 6419             | 22370 | 19143 | 10                     |
| Pb      | 4                | 91    | 73    | 20                     |
| Cu      | 9                | 48    | 47    | 2                      |
| B       | 27               | 143   | 119   | 17                     |
| Co      | 11               | 31    | 27    | 13                     |
| Cd      | 0,11             | 0,36  | 0,29  | 19                     |
| Ge      | 1                | 4     | 3     | 25                     |

Таблица 7. Физико-химические свойства пирогенных образований и почв на месте сгоревших осушенных торфяных почв

| Пирогенные<br>образования и<br>почвы, № разреза        | Слой, горизонт          | Глубина, см | pH               |       | Гидролити-<br>ческая кис-<br>лотность | Обменные |      |
|--------------------------------------------------------|-------------------------|-------------|------------------|-------|---------------------------------------|----------|------|
|                                                        |                         |             | H <sub>2</sub> O | KCl   |                                       | Al       | H    |
|                                                        |                         |             |                  |       |                                       |          |      |
| Пирогенно-<br>перегнойное,<br>разр. 11                 | Зола сразу после пожара | 0—10        | 11.64            | 11.10 | —                                     | —        | —    |
|                                                        | Зола* на второй год     | 0—10        | 8.36             | 8.05  | 0.02                                  | —        | —    |
|                                                        | Углистый                | 10—15       | 7.48             | 6.86  | 0.35                                  | —        | —    |
|                                                        | Перегнойный             | 15—37       | 7.08             | 6.23  | 0.45                                  | —        | —    |
| Песчаное,<br>разр. 12                                  | G <sub>r</sub>          | 37—63       | 5.57             | 4.84  | 0.06                                  | 0.06     | 0.32 |
|                                                        | Слой 1                  | 0—5         | 7.92             | 7.46  | 0.01                                  | 0.01     | 0.06 |
|                                                        | Слой 2                  | 30—40       | 6.13             | 5.64  | 0.23                                  | 0.10     | 0.28 |
|                                                        |                         |             |                  |       |                                       |          |      |
| Пирогенно-<br>древесно-пес-<br>чаное, разр. 13         | Углистый                | 0—10        | 6.25             | 5.05  | 2.95                                  | 1.00     | 0.00 |
|                                                        | Слой 2                  | 10—25       | 5.85             | 5.05  | 4.25                                  | 3.00     | 0.50 |
|                                                        | Слой 3                  | 25—35       | 5.19             | 4.53  | 7.15                                  | 2.50     | 1.50 |
|                                                        | G <sub>o</sub>          | 35—47       | 5.46             | 4.32  | 0.44                                  | 0.03     | 0.30 |
|                                                        | G <sub>o</sub> суглинок | 47—65       | 5.82             | 4.64  | 0.56                                  | 0.25     | 0.45 |
|                                                        | G <sub>o</sub> песок    | 47—65       | 5.75             | 4.75  | 0.11                                  | 0.13     | 0.12 |
|                                                        | G <sub>ro</sub>         | 65—80       | 5.88             | 4.52  | 0.15                                  | 0.01     | 0.24 |
|                                                        |                         |             |                  |       |                                       |          |      |
| Пирогенно<br>измененная<br>торфяная<br>почва, разр. 14 | Слой 1                  | 0—11        | 8.26             | 7.07  | 0.07                                  | 0.08     | 0.00 |
|                                                        | Слой 2                  | 11—24       | 6.28             | 5.48  | 3.35                                  | 1.25     | 0.50 |
|                                                        | Слой 3                  | 24—40       | 5.21             | 4.61  | 7.75                                  | 1.00     | 1.00 |
|                                                        | Слой 4                  | 40—70       | 5.44             | 4.59  | 9.15                                  | 1.00     | 1.50 |
|                                                        | Слой 5                  | 70—100      | 5.59             | 5.07  | 3.70                                  | 1.11     | 1.39 |
|                                                        | G <sub>o</sub>          | 100—110     | 5.66             | 4.65  | 0.17                                  | 0.02     | 0.16 |

**Изменение химических свойств зольного горизонта  
пирогенно-перегнойных образований в постпирогенный период  
Аналитик Д. Ю. Морозова**

| Зола     | рН    |       | Доступный                     |                               | Обеспеченность растений |         | C <sub>орг</sub> |
|----------|-------|-------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------|---------|------------------|
|          |       |       | K <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> |                         |         |                  |
|          | водн. | сол.  | мг/100 г                      |                               | К                       | Р       |                  |
| 1996 год | 11,64 | 11,10 | 36,0                          | 18,8                          | Высокая                 | Высокая | 4,18             |
| 2000 год | 8,21  | 8,00  | 0,3                           | 6,1                           | Оч. низк.               | Высокая | 1,47             |

пасы окажутся достаточными для растений на протяжении весьма ограниченного отрезка времени. Вместе с тем нехватка калия может оказаться критической уже в первые 2—3 года. При этом нами не были учтены потери элементов питания с ветровой эрозией и их вынос с возможным урожаем.

Предположение о возможном интенсивном выщелачивании калия из зольных горизонтов пирогенных образований получило достаточно убедительное подтверждение в более поздних исследованиях, выполненных через четыре года после пожара. Абсолютное содержание доступного фосфора (в форме P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) сократилось в 3 раза, но еще удерживалось на уровне высокой обеспеченности. Вместе с тем содержание доступного калия уменьшилось более чем на два порядка и оказалось на уровне очень низкой обеспеченности (табл. 8).

Для оценки плодородия пирогенных образований была выполнена серия вегетационных исследований (табл. 9 и 10) с двумя культурами — тимopheевка луговая и овес (сорт «Скакун»). В качестве субстратов для их выращивания использовали следующие горизонты пирогенных образований: 1) зола (в чистом виде); 2) углистый материал; 3) перегнойный горизонт; 4) песок оглеенный; 5) смесь: зола, перегнойно-песчаный горизонт, оглеенный песок в соотношении 1 : 2 : 1 (смесь приблизительно отражает состав пахотного слоя на пирогенно-перегнойном образовании в случае их распашки). В качестве контроля использовали пахотные слои осушенной торфяной почвы и супесчаной бурой оподзоленной окультуренной почв.

Результаты предпринятых исследований в условиях вегетационного опыта позволяют сделать следующие выводы. Поверхнос-





**Рис. 5. Профиль пирогенно-перегнойного песчаного образования**



**Рис. 6. Поверхность пирогенно-песчаных образований, возникающих после сгорания маломощных торфяных почв на повышениях минерального дна болот**



**Рис. 8. Ветровая эрозия пирогенных образований, возникших на месте сгоревших осушенных торфяных почв**



**Рис. 7. Профиль пирогенно-песчаного образования**

**Рис. 9. Поверхность  
пирогенно-древесных  
песчаных  
образований,  
возникших на месте  
сгоревших осушенных  
древесных торфяных  
почв**



**Рис. 10. Заселение  
полюнью  
поверхности  
перегнойно-песчаных  
образований  
спустя пять лет  
после  
пожара. На заднем  
плане в контуре  
пирогенно-перегнойных  
образований —  
вейниковый луг  
(коричневатый  
оттенок)**



**Рис. 13. Профиль  
торфяной почвы  
в условиях  
покровной  
(римпауской)  
культуры  
земледелия**

**Рис. 16. Плуг  
В. Оттомайера  
и тракторный  
агрегат для  
создания  
немецкой  
песчаной  
смешенно-  
слойной  
культуры  
земледелия на  
осушенных  
торфяных  
почвах**



Таблица 9

Урожай (г/сосуд) зеленой массы овса сорта «Скакун» в вегетационном опыте на мелкоземистых пироженных образованиях (повторность 4-кратная; Р — 90%)

| Вариант                                                                          | Средний урожай | Доверительный интервал | А <sub>пах</sub> почвы, % от контроля |            |
|----------------------------------------------------------------------------------|----------------|------------------------|---------------------------------------|------------|
|                                                                                  |                |                        | торфяной                              | супесчаной |
| Без внесения удобрений                                                           |                |                        |                                       |            |
| Горизонт А <sub>пах</sub> торфяной почвы, контроль*                              | 12,6           | 11,2—14,0              | 100                                   | 103        |
| Горизонт А <sub>пах</sub> супесчаной почвы, контроль                             | 12,2           | 8,0—16,4               | 97                                    | 100        |
| Зола                                                                             | 22,5           | 21,6—23,4              | 179                                   | 184        |
| Углистый песчаный материал                                                       | 23,2           | 21,0—25,4              | 184                                   | 190        |
| Перегнойный песчаный мелкозем                                                    | 25,9           | 24,0—27,8              | 206                                   | 212        |
| Смесь (зола,перегной,песок)                                                      | 30,1           | 27,7—32,5              | 239                                   | 247        |
| Песок оглеенный                                                                  | 11,0           | 9,2—12,8               | 87                                    | 90         |
| На фоне удобрений                                                                |                |                        |                                       |            |
| Горизонт А <sub>пах</sub> торфяной почвы, контроль + NPK**                       | 24,8           | 23,7—25,9              | 100                                   | 99         |
| Горизонт А <sub>пах</sub> супесчаной почвы, контроль + NPK                       | 25,0           | 20,2—29,8              | 101                                   | 100        |
| Зола + NP                                                                        | 18,9           | 17,0—20,8              | 76                                    | 77         |
| Углистый песчаный материал + NPK                                                 | 26,3           | 23,5—29,1              | 106                                   | 105        |
| Перегнойный песчаный мелкозем + NPK                                              | 26,2           | 18,6—33,8              | 106                                   | 105        |
| Смесь (зола, перегной, песок) + NPK                                              | 21,4           | 15,8—27,0              | 86                                    | 86         |
| Смесь (зола, перегной, песок) + NPK и местное органическое удобрение (сапропель) | 25,1           | 20,1—30,1              | 101                                   | 100        |
| Песок оглеенный + NPK                                                            | 20,9           | 23,4—27,8              | 84                                    | 84         |

\* Для контроля использован пахотный слой низинной торфяной маломощной почвы, длительно находившийся под посевами зерновых культур (овса, ячменя) без внесения за последние пять лет органических и минеральных удобрений, то же для табл. 10

\*\* Во всех вариантах NPK — N240P90K120.

**Урожай (г/сосуд) зеленой массы тимopheевки луговой в вегетационном опыте  
без удобрений на мелкоземе пирогенных образований  
(повторность 4-кратная; Р — 90%)**

| Вариант                                                                         | Средний<br>урожай | Довери-<br>тельный<br>интервал | А <sub>пах</sub> почвы,<br>% от контроля |                 |
|---------------------------------------------------------------------------------|-------------------|--------------------------------|------------------------------------------|-----------------|
|                                                                                 |                   |                                | торфя-<br>ной                            | супес-<br>чаной |
| Горизонт Апах торфяной почвы, контроль*                                         | 4,0               | 2,6—5,4                        | 100                                      | 174             |
| Горизонт Апах супесчаной почвы, контроль                                        | 2,3               | 1,1—3,5                        | 58                                       | 100             |
| Зола                                                                            | 5,7               | 5,2—6,2                        | 142                                      | 248             |
| Углистый песчаный материал                                                      | 7,1               | 6,0—8,2                        | 178                                      | 309             |
| Перегнойный песчаный мелкозем                                                   | 7,5               | 6,9—9,1                        | 188                                      | 326             |
| Смесь (зола, перегной, песок)                                                   | 9,5               | 7,8—11,2                       | 238                                      | 413             |
| Песок оглеенный                                                                 | 1,1               | 0,8—1,4                        | 28                                       | 48              |
| Смесь (зола, перегной, песок) +<br>+ местное органическое удобрение (сапропель) | 5,5               | 4,4—6,6                        | 138                                      | 239             |

тные горизонты пирогенных образований в режиме вегетационного опыта обладают плодородием, причем это свойство особенно отчетливо удалось проследить в вариантах опыта без внесения удобрений (табл. 9, 10). Существенно и то, что в этом случае были зафиксированы максимальные абсолютные урожаи зеленой массы овса и тимopheевки луговой в варианте «смесь золы, перегноя и песка». Относительно высокие урожаи этих культур были получены на варианте слой «перегноя», а затем — на субстрате «углистый слой» и «слой золы». Это позволяет полагать, что в случае использования пирогенных образований для размещения луговых культур наиболее перспективными для освоения после оптимизации водного режима могут оказаться пирогенно-перегнойные виды. В этом случае с помощью обычной пахоты можно создать плодородный пахотный слой. Наименее перспективными для сельскохозяйственного освоения являются выходы оглеенного песка (нередко занимающие на пожарищах значительные площади) в случае размещения на них луговых трав как без удобрений, так и на фоне удобрений.

Следует обратить внимание и еще на одно важное обстоятельство. Оно заключается в том, что внесение удобрений в золу и в субстраты, содержащие значительные массы золы, приводит к заметному уменьшению урожая по сравнению с неудобренными вариантами. Так, в варианте «зола без удобрений» (табл. 9) был получен урожай 22,5 г/сосуд, с удобрениями 18,9; в варианте смесь «зола, перегной, песок» без удобрений 30,1 г/сосуд, с удобрениями 25,1. Причины этого явления не вполне ясны. Можно лишь предполагать, что внесение удобрений в золу пирогенных образований приводит к снижению урожая в результате появления соединений, ингибирующих рост и развитие травянистой растительности, или после внесения удобрений нарушается баланс элементов питания. Однако, очевидно, эти предположения нуждаются в проверке. Тем не менее это явление систематически повторялось на всех этапах вегетационного опыта.

Предпринятые исследования свидетельствуют и о том, что для пирогенных образований должна быть разработана адаптированная система удобрений, учитывающая особенности их свойств. Об этом свидетельствует прежде всего то обстоятельство, что на фоне внесения NPK произошло резкое увеличение (в 2,2 раза) продуктивности торфяной почвы (контрольный вариант), а также оглеенного песка и пахотного слоя супесчаной почвы (соответственно в 2,2, 1,75 и 1,27 раз). В пирогенных образованиях (на второй год их возникновения) внесение минеральных удобрений вызвало, в основном, снижение урожая овса, его незначительное повышение или не повлияло вообще на его массу. Так, в вариантах опыта «зола», «углистый песчаный мелкозем», «смесь золы, перегноя и песка», «перегнойно-песчаный мелкозем» отношение массы растений на удобренном и неудобренном фонах составило соответственно 0,81; 1,17; 0,71 и 1,01. В данном случае, по-видимому, имеет место эффект удобрения на фоне «огневой культуры» земледелия с тем лишь опасным различием, что сжигается не лесная растительность, как это имело место в глубокой старине в лесах на подзолах, а реальные органические почвы, в освоение которых был вложен значительный капитал, предназначенный для эффективного и неопределенно долгого их использования в условиях надежной экологической защиты. Эти данные позволяют также высказать предположение, что в первые годы после формирования пирогенно-перегнойных образований (по крайней мере на второй-третий год) здесь могут возделываться травы без внесения удобрений. Однако резервы минеральных элементов, концентрирую-

щиеся лишь в маломощных поверхностных слоях будут быстро использованы растениями, а также интенсивно элювируются водами речного паводка и осадками. Об этом свидетельствуют приведенные наблюдения за изменением общего содержания некоторых химических элементов, сосредоточенных в золе пирогенно-перегнойных образований (табл. 6, 8).

## СОВРЕМЕННЫЕ ПОЧВООХРАННЫЕ СИСТЕМЫ ЗЕМЛЕДЕЛИЯ НА ОСУШЕННЫХ ТОРФЯНЫХ БОЛОТАХ

На осушенных торфяных почвах в настоящее время используют четыре культуры земледелия — черную, смешанную (пескование), покровную (римпаускую) и немецкую песчаную смешанно-слоистую (рис. 12). Три последних рассматривают как почвоохранные.

Черная культура земледелия предполагает использование торфяных почв без внесения минеральных добавок.

Прямое использование торфяных почв в земледелии без дополнительных мероприятий по изменению зольности поверхностного слоя или его перекрытия минеральным субстратом получило название черной культуры земледелия на низинных осушенных болотах.

При черной культуре особенно на фоне использования почв для возделывания пропашных растений происходит интенсивное разложение органического вещества торфа.

Черный (или обыкновенный) способ культуры торфяных почв в настоящее время получил наиболее широкое применение в России при освоении низинных болот. Выращивание растений ведется на хорошо обработанном, удобренном торфянике при отрегулированном водно-воздушном режиме. Особый интерес представ-

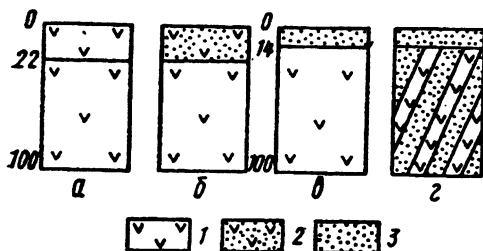


Рис. 12. Схема изменения строения почвенного профиля при применении разных культур земледелия на осушенных болотных массивах:

а — черная (обыкновенная); б — смешанная (северная); в — покровная (римпауская) или насыпная; г — немецкая песчаная смешанно-слоистая культуры земледелия  
1 — торф; 2 — торф, смешанный с песком; 3 — песок, супесь

ляют вопросы регулирования режима грунтовых вод, поскольку темпы сработки торфа резко замедляются, когда осушение болотных почв сопровождается поддержанием лугового типа водного режима, т. е. когда капиллярная кайма, поднимающаяся от зеркала грунтовых вод, устанавливается в поверхностных горизонтах почвенного профиля. Этим требованиям полнее всего отвечают мелиоративные системы с механическим водоподъемом (системы польдерного типа), в границах которых с помощью насосных станций можно активно регулировать уровни грунтовых вод.

В условиях юга таежной зоны европейской части России важным фактором стабильного использования мощных торфяных почв (горизонт Т > 1,5 м) является размещение на них травопольных севооборотов с высокой насыщенностью травами. Торфяные почвы с небольшой мощностью органических горизонтов (Т < 1,5 м) необходимо использовать в качестве культурных сенокосных угодий.

Использование мощных торфяных почв в условиях травопольного севооборота или их длительное залужение при небольшой мощности торфа в условиях южной тайги и лесостепи европейской территории страны при неглубоком залегании уровня грунтовых вод наилучшим образом отвечает их естественным свойствам и последующей эволюции после мелиорации. Такие почвы при правильной системе удобрений на фоне активного регулирования уровня грунтовых вод могут быть важным источником получения значительной массы грубых кормов (сена) высокого качества.

Песчаные культуры земледелия наиболее широкое применение получили в странах северной и средней Европы — Финляндии, Швеции, Норвегии, Дании, Германии. В России такие системы использования торфяных почв имеют ограниченное распространение. Тем не менее они были достаточно широко известны еще в начале XX столетия и получили отражение в работах В. Берша, 1912; Такке, 1930, Оношко, 1934 и др. авторов. Эти авторы рассматривали, главным образом, вопросы, связанные с пескованием торфяных почв.

Под пескованием (синонимы — северная, смешанная, шведская культуры земледелия на осушенных торфяных почвах) понимают внесение песка в пахотный горизонт при пахоте. Пескование в Германии, где этот прием рассматривается как обязательный при освоении болотных органогенных почв, называется смешанно-песчаной культурой (Sandmischkultur). Нормы внесения песка обычно равны 300—600 т/га. С этой целью песок вначале распределяют



по полю с помощью тележек или автомобилей с автоматическими разбрасывателями, дискуют тяжелыми дисковыми боронами и затем тщательно перемешивают с торфом пахотного горизонта в процессе многолетней систематической пахоты.

Этот способ агромелиорации содействует улучшению физических и химических свойств, водного, теплового и питательного режимов торфяных почв.

Сравнительно небольшие добавки минерального грунта значительно повышают урожайность и качество урожая зерновых, многолетних трав и других культур.

Длительные исследования смешанного способа, выполненные Шведским обществом по культуре болот, показали значительное улучшение физических свойств и теплового режима, лучшие условия обработки таких почв, более быстрое созревание выращиваемых культур. Особенно эффективным оказался метод пескования при освоении болот под пашню [Такке 1930].

Следует, однако, отметить, что в последние годы появилась информация о том, что смешанная культура (пескование) может содействовать не только повышению урожая растений, но и известному ускорению темпов биохимической сработки торфа пахотного горизонта в результате усиления его аэрации и окисления [Бамбалов, 1984].

При создании покровной культуры на поверхности торфяной почвы формируют пахотный песчаный горизонт мощностью 14—16 см с последующей припашкой 2—3 см торфа для его обогащения органической массой (рис. 13). Этот прием получил название покровной (Sanddeckkultur) или римпауской культуры (по фамилии Rimrau, землевладельца, впервые в 1887 году предложившего такой способ использования осушенных торфяных почв). В России, по-видимому, впервые сообщение о покровной культуре земледелия на осушенных торфяных почвах было опубликовано в 1899 г. в энциклопедическом словаре Брокгауза и Ефрона в специальной статье «Римпау».

Для формирования песчаного пахотного слоя на поверхности осушенных торфяных почв необходимо разместить 1800—2200 т/га песка. Бурты вывезенного на поле песка тщательно распределяют по спланированной территории грейдерами.

Очевидно, процесс формирования песчаного горизонта весьма дорог и трудоемок. Но он быстро (через 2—3 года) окупается значительным дополнительным урожаем (до 20—30% и более). Кроме того, продолжительность последствий этого эффектив-

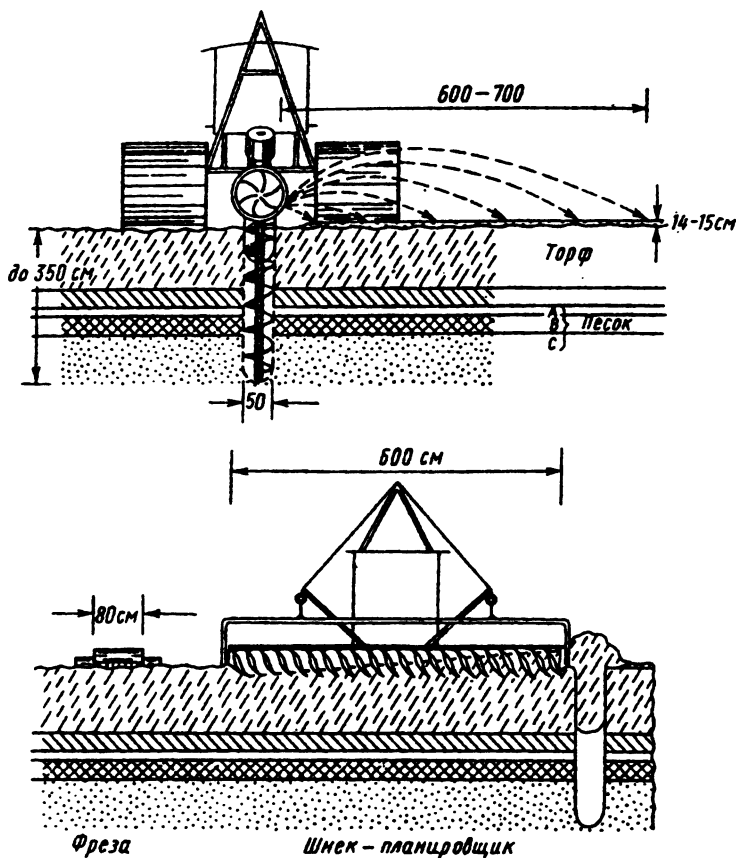


Рис. 14. Машина для извлечения на поверхность осушенных торфяных почв песка (супеси) и формирования насыпного минерального пахотного горизонта. Планировка и фрезерование поверхности после прохода машины. Римпауская культура осушенных торфяных почв (по Götlich, Kuntze, 1980)

ного агромелиоративного мероприятия остается неопределенно долгой. Покровная культура осушенных торфяных почв имеет и ряд других существенных преимуществ. Так, резко повышается несущая способность почв, улучшаются условия работы сельскохозяйственной техники и транспортных средств, снижается или полностью исключается угроза пожаров и сокращается опасность эрозии. Наконец, покровная культура существенно снижает вынос органической массы торфа с урожаем. Известен положительный опыт полной механизации этих работ. Так, в последние годы в Германии

предложена и широко используется шнековое устройство, смонтированное на тракторе. Особенность такой машины (кульмашина) заключается в том, что шнеком на поверхность извлекают песок, непосредственно подстилающий толщу торфа (рис. 14). С помощью специального устройства песок выбрасывается на поверхность почвы лентой шириной 6—7 м за один проход машины. Затем глубокая борозда, возникающая после прохода шнека, заполняется торфом с помощью фрезы.

Существенно и то, что покровная (римпауская) культура расширяет возможность использования осушенных торфяных почв. В условиях этой культуры могут возделываться не только многолетние травы, но и пропашные, а также зерновые растения.

В северных странах европейского континента (в Швеции, Дании, Германии и др.) в условиях покровной культуры используются сотни тысяч гектаров таких земель, на которых размещаются сенокосы, пастбища, пропашные (кукуруза, турнепс, свекла, картофель и др.), зерновые. В России опыт использования торфяных почв в покровной культуре пока ограничен масштабом выборочных небольших экспериментальных полигонов опытных хозяйств.

Наконец, немецкая песчаная смешаннослойная культура земледелия на осушенных торфяных почвах. В конце 30-х годов в странах средней и западной Европы (особенно в Голландии, Дании и Германии) получил широкое распространение новый весьма своеобразный способ сельскохозяйственной культуры болотных органогенных почв, чаще всего применяемый на ранее осушенных массивах. Такой способ был назван немецкой смешаннослойной песчаной культурой земледелия на осушенных торфяных почвах. Он используется на



Рис. 15. Профиль торфяной низинной среднемощной почвы после ее обработки плугом Вильгельма Оттомайера по системе немецкой смешаннослойной культуры земледелия [Eggelsmann 1981]

болотных почвах с мощностью торфа от 0,5 до 2,4 м, осушенных систематической сетью открытых каналов, врезаемых в мощную толщу подстилающего песка. Такие болотные почвы глубоко вспахивают плугами специальной конструкции инженера В. Оттомайера с удлиненным винтовым отвалом. Плуг позволяет производить глубокую вспашку с оборотом всего торфяного слоя (рис. 16). В результате такой обработки торфяные горизонты устанавливаются в почву в виде отдельных пластов под углом  $45^\circ$ , между которыми залегает мощная прослойка песка (рис. 15). На поверхности таких торфяных почв одновременно создают так же, как и при римпауской культуре, песчаный пахотный горизонт мощностью 14—16 см. В этот горизонт вносят органические и минеральные удобрения. Полагают, что преимущества смешаннослойной песчаной культуры торфяных почв заключаются в том, что в этом случае тормозится разложение органики, погребенной под слоем песка; в торфяных, косо поставленных слоях, растения находят доступную влагу, а пограничные песчаные блоки обеспечивают быстрый дренаж избыточной воды в открытую сеть каналов или в закрытый дренаж.

Такая обработка дает торфяным почвам все преимущества римпауской культуры и одновременно исключает ее существенную негативную особенность. Именно смешаннослойная культура предотвращает возможность вторичного переувлажнения почв в результате их переуплотнения при систематической обработке.

В настоящее время в северных районах Германии фермерами в условиях немецкой песчаной смешаннослойной культуры используется в общей сложности более 300 тыс. га таких плодородных осушенных почв [Эггельсманн 1981]. Этот способ нашел применение и в других странах Европейского континента — в Дании, Голландии. В России пока этот прием обработки осушенных торфяных почв не применялся.

Пескование (или смешанная культура земледелия) снижает опасность возгорания с поверхности осушенных торфяных почв, а покровная (или римауская культура) практически исключает эту угрозу.

Все эти агромелиоративные мероприятия нередко объединяют под общим, не вполне удачным названием — «структурные мелиорации» [Белковский 1985]. Очевидно, внесение минеральных масс грунта в или на пахотный горизонт в принципе не может изменить структурного состояния осушенных торфяных почв. Однако такие мероприятия могут оказать существенное влияние

на их гидротермический режим, на условия роста и развития сельскохозяйственных растений.

Смешанную и покровную культуры земледелия на осушенных торфяных почвах, казалось бы, следует рассматривать как весьма эффективные способы их защиты от пирогенного воздействия. Однако несмотря на широкое применение покровной культуры за рубежом и продолжительное, но весьма ограниченное по площади использование пескования в России, как в нашей, так и в других странах практически повсеместно отсутствуют сведения о влиянии этих способов агромелиорации на их гидрологический, температурный режимы и темпы разложения органического вещества. Как правило, известные в этом отношении сведения дают представление об изменении режимов лишь пахотного и подпахотного горизонтов, общая мощность которых не превышает 20—40 см [Иванов, Куликов, Кудло 1992; Петрова 1997; Белковский 1982, 1986 и др.]. Полнопрофильные исследования гидротермического режима осушенных торфяных почв и послойная оценка влияния различных способов внесения песка на темпы биохимического разложения органического вещества от поверхности до грунтовых вод остаются неизвестными. Из этого следует, что в настоящее время неизвестны реальные почвообразовательные процессы, возникающие в торфяных почвах под влиянием современных гидротехнических и агромелиоративных мероприятий, связанных с внесением минерального грунта в поверхностные горизонты торфяных почв.

Предпринятые нами исследования свойств и режимов осушенных торфяных почв в условиях смешанной и покровной культур земледелия позволяют раскрыть их особенности при использовании этих способов агромелиорации, оценить влияние песчаных культур земледелия на темпы сработки органогенных почв и выявить возможность возникновения деградационных явлений во всех горизонтах почвенного профиля.

## **ГИДРОТЕРМИЧЕСКАЯ ДЕГРАДАЦИЯ, ИЗМЕНЕНИЯ ФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ, ВОДНОГО И ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМОВ ОСУШЕННЫХ ТОРФЯНЫХ ПОЧВ В УСЛОВИЯХ СМЕШАННОЙ И ПОКРОВНОЙ КУЛЬТУР ЗЕМЛЕДЕЛИЯ**

### **4.1. ГИДРОТЕРМИЧЕСКАЯ ДЕГРАДАЦИЯ**

Гидротермическая деградация осушенных торфяных почв определяет их эволюцию в постмелиоративный период и сложную систему взаимосвязанных защитных мероприятий. Она возникает сразу после сброса дренажной сетью гравитационной влаги из поверхностных горизонтов почвенного профиля и продолжается до полного исчезновения торфяных почв. Этот процесс особенно опасен в условиях полесских ландшафтов, в ареалах которых все торфяные почвы подстилаются оглеенным кварцевым песком.

Эволюция осушенных торфяных почв, таким образом, осуществляется в условиях постоянного действующего процесса их гидротермической деградации. Из этого следует, что система освоения таких почв не может быть направлена только на получение в данный момент максимальной прибыли. Напротив, разумная система использования осушенных торфяных почв должна исходить из необходимости, прежде всего, осуществления мероприятий по поддержанию стабильного баланса углерода в их профиле и только затем — получения сельскохозяйственной продукции. К сожалению, к этой очевидной истине необходимо вернуться сегодня, поскольку в нашей стране практически на всех осушительных системах все еще не реализуются актуальные мероприятия по защите торфяных почв от гидротермической деградации, которая проявляется в ускоренном разложении их органического вещества.

Выше нами было сформулировано положение о том, что гидротермической деградацией следует называть такие изменения водного и температурного режимов, которые вызывают биохимическое разложение органического вещества осушенных торфяных почв, сработку торфа и, в конечном итоге, снижение их плодородия. Эти изменения осуществляются не синхронно, а поэтапно. На первом этапе обычно доминирует разложение органического вещества, при котором возможен рост урожайности практически всех культур за счет увеличения доступных запасов эле-

ментов питания (главным образом азота), образованных в результате разложения органического вещества торфа. Только затем, по прошествии ряда лет, сработка торфа начинает оказывать непосредственное активное влияние на продуктивность районированных культур, вызывая существенное снижение их урожая. С. Г. Скоропанов [1961] приводит следующие данные (табл. 11), свидетельствующие о том, что уменьшение урожая зерновых и кормовых культур в условиях полесских ландшафтов южнотаежной подзоны значительно начинает проявляться тогда, когда мощность горизонтов органического профиля сокращается до 50 см или оказывается меньше этой критической величины. С этого момента оба деградационных феномена — уменьшение мощности торфяной толщи и снижение урожайности — проявляются одновременно.

Заключительным этапом существования торфяных почв является полная сработка органогенных горизонтов, выпаживание бесплодной кварцевой массы оглеенного песка, подстилающего торфяную залежь. Наступает фаза исчезновения торфяных почв и их замещения легкими почвами на подстилающей кварцевой песчаной основе. Такие почвы отличаются низким плодородием. В целом весь этот процесс следует рассматривать как гидротермическую деградацию осушенных торфяных почв. Ее диагностика на первом этапе осуществляется путем оценки темпа распада органического вещества. Этот критерий следует дополнить затем изменением продуктивности почв в связи с сокращением мощности торфяных горизонтов.

Естественна постановка вопроса о том, в какой мере пескование и покровная культура земледелия (римпауская культура) спо-

Т а б л и ц а 11

Зависимость урожая сельскохозяйственных растений от мощности торфяного слоя.

Данные С. Г. Скоропанова, 1961

| Мощность торфяного слоя, см | Урожай, ц/га            |             |                       | Кормовые единицы |     |
|-----------------------------|-------------------------|-------------|-----------------------|------------------|-----|
|                             | кукуруза, зеленая масса | овес, зерно | сено многолетних трав | ц/га             | %   |
| 20—30                       | 466                     | 25          | 88                    | 135              | 100 |
| 30—50                       | 503                     | 25          | 92                    | 141              | 109 |
| 50—80                       | 503                     | 28          | 124                   | 162              | 123 |
| 80—100                      | 526                     | 28          | 118                   | 162              | 123 |
| > 100                       | 526                     | 27          | 122                   | 167              | 124 |

способны повлиять на ускорение темпа разложения органической массы торфяных почв. Ранее мы отмечали, что несмотря на широкое применение песчаных культур земледелия в ряде европейских стран, их влияние на свойства и режимы торфяных почв изучено весьма неполно. В России эти способы земледелия пока еще не получили необходимого распространения. Основные массивы осушенных торфяных почв используют в сельском хозяйстве в виде черной культуры земледелия, без защитного минерального покрытия.

Как правило в литературе содержатся лишь сведения о влиянии пескования на свойства и режимы только поверхностных (0—20, 0—40 см) слоев этих почв. Они отражены в работах ряда исследователей [Белковский, Зоткин 1986; Вознюк, Оленевич, Лыко 1978; Бурматов, Емельянова, Петрова 1974; Барсуков, Трибис 1973; Барановский 1981 и др].

Многие авторы полагают, что внесение песка в пахотные горизонты осушенных торфяных почв вызывает незначительную активизацию темпов сработки органического вещества пахотного горизонта. Но при этом тормозится его разложение в более глубоких горизонтах торфяных почв.

В настоящем разделе нами предпринята попытка оценить влияние песчаных культур земледелия на гидротермический режим всех горизонтов почвенного профиля таких почв и урожайность сельскохозяйственных культур.

## **4.2. МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ**

Обычно при песковании в пахотный горизонт торфяной почвы вносили песок в объеме 300—600 м<sup>3</sup> на гектар, который перемешивали при пахоте с торфяной массой поверхностного горизонта. При покровной песчаной культуре на поверхности почвы создавали слой песка мощностью 14—16 см, который обрабатывали на глубину 18 см с одноразовым припахиванием небольшой (2—3 см) массы торфа.

Исследования выполняли в условиях полевого опыта на экспериментальных участках. Опыты были заложены в 3-кратной повторности в 1991 г. Размер участков 144 м<sup>2</sup>. В варианте с пескованием внесено песка из расчета 300 т/га. На варианте покровной песчаной культуры на поверхности органогенных почв был создан слой песка 14—16 см. С этой целью на поверхности торфя-



ной почвы было размещено 2200 т песка из расчета на 1 гектар. В пахотный горизонт покровной песчаной культуры в год закладки основного опыта были внесены органические удобрения 100 т/га. Песок вывозили из карьера, находящегося в 4 км от экспериментальных участков. Окупаемость этих мероприятий за счет прибавки урожая составила 2,0—3,0 года.

Влажность почв определяли термостатно-весовым методом с отбором образцов через каждые 10 см до грунтовых вод. В верхнем слое 0—10 см образцы отбирали через каждые 5 см. Замеры температуры выполняли в пахотном горизонте термометрами Саввинова; глубже — стационарными электротермометрами АФИ ПТЭТ-56 и вытяжными «заленивленными» ртутными термометрами.

Плотность сложения торфяных горизонтов устанавливали бумом Зайделямана [1955]. Коэффициент фильтрации — методом Хануса [1965]. Наименьшую влагоемкость — на горизонтальном капилляриметре Шварова [1982]. Дыхание почвы исследовали по эмиссии диоксида углерода с использованием модифицированного метода Штатнова [1952].

#### **4.3. ВЛИЯНИЕ СМЕШАННОЙ И ПОКРОВНОЙ КУЛЬТУР ЗЕМЛЕДЕЛИЯ НА ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА, ГИДРОТЕРМИЧЕСКИЙ РЕЖИМ ОСУШЕННЫХ ТОРФЯНЫХ ПОЧВ ЮЖНО-ТАЕЖНОЙ ПОДЗОНЫ И ИХ ПРОДУКТИВНОСТЬ**

Внесение песка в поверхностные горизонты профиля торфяных почв оказывает существенное воздействие на их свойства и режимы. Очевидно, прежде всего, происходит изменение их важнейших физических свойств — плотности почв и твердой фазы, пористости.

##### **4.3.1. ИЗМЕНЕНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ. ВЕРОЯТНОСТЬ МЕХАНИЧЕСКОЙ ДЕГРАДАЦИИ**

В результате предпринятых исследований [Зайдельман, Батраков, Шваров и др. 2002] было установлено, что пахотный горизонт торфяной почвы (глубина 0—10 см) в условиях черной культуры земледелия имеет повышенную плотность сложения ( $0,30 \text{ г/см}^3$ ) относительно нижних горизонтов профиля ( $0,26$ ;  $0,25$ ;  $0,22$ ;  $0,17 \text{ г/см}^3$  в горизонтах 25—30; 33—38; 39—49 и 50—60 см соответственно). Очевидно, это можно объяснить тем, что на протяжении длитель-

ного периода использования сельскохозяйственная техника уплотняла пахотный горизонт черной культуры. В этот слой поступали известь, пыль, минеральные удобрения. Интересен и тот факт, что плотность осушенной торфяной почвы в отличие от минеральных суглинистых и песчаных подзолистых почв с глубиной уменьшается. Эта тенденция отмечена и другими исследователями. Так, по мнению К. П. Лундина, в осушенной низинной залежи по мере продвижения вниз имеет место не возрастание, а скорее снижение плотности [1969].

При рассмотрении плотности сложения пахотных горизонтов почв, находящихся в условиях трех культур земледелия, можно наблюдать закономерное увеличение данной величины в ряду почв в черной ( $0,30 \text{ г/см}^3$ ), смешанной ( $0,46 \text{ г/см}^3$ ) и покровной ( $1,03 \text{ г/см}^3$ ) культурах земледелия (табл. 12),

Прослеживается тенденция увеличения плотности подпахотного горизонта осушенной торфяной почвы в условиях покровной культуры земледелия (достоверное отличие от контроля — пахотного горизонта черной культуры — при вероятности  $p = 0,9$ ).

Плотность этого горизонта составила  $0,34 \text{ г/см}^3$ . Уплотненный слой образовался в результате воздействия сельскохозяйственной техники. Его присутствие связано с тем, что покровная культура препятствует подпахотному слою принять исходный объем, оказывая на него постоянное давление.

Существенно и то, что уплотненный подпахотный горизонт, возникший в условиях покровной культуры земледелия через 5—7 лет после ввода в эксплуатацию, обладает низкой водоотдачей ( $0,07$ ) и весьма незначительными величинами коэффициента фильтрации ( $0,05—0,06 \text{ м/сутки}$ ). По классификации R. Eggelsmann (1981) столь низкие значения  $K_f$  свидетельствуют о том, что подпахотный горизонт почв в условиях покровной культуры земледелия приобрел свойства водоупора. Поэтому на нем может длительно удерживаться гравитационная влага. Здесь во влажные периоды года (в том числе и после затяжных летних дождей в период вегетации растений) можно ожидать формирования нежелательных кратковременных очагов верховодки, негативно влияющих на продуктивность сельскохозяйственных культур, а также на выполнение цикла сельскохозяйственных работ. Улучшить гидрологическое состояние пахотного горизонта в этом случае можно с помощью кротования почв.

Физические свойства осушенных торфяных почв в разных культурах земледелия

| Глубина, см                     | Плотность<br>твёрдой<br>фазы, г/см <sup>3</sup> | Плотность<br>почвы, г/см <sup>3</sup> | Пористость<br>общая, % | Наименьшая<br>влагоёмкость (НВ)<br>в объёмных % | Воздухоносная<br>пористость<br>в объёмных % при НВ | Коэффициент<br>водоотдачи |
|---------------------------------|-------------------------------------------------|---------------------------------------|------------------------|-------------------------------------------------|----------------------------------------------------|---------------------------|
| ЧЕРНАЯ КУЛЬТУРА                 |                                                 |                                       |                        |                                                 |                                                    |                           |
| 0—10                            | 1,60                                            | 0,30                                  | 81,3                   | 46                                              | 35,3                                               | 0,35                      |
| 25—30                           | 1,49                                            | 0,26                                  | 82,5                   | 60                                              | 22,5                                               | 0,23                      |
| 33—38                           | 1,50                                            | 0,25                                  | 83,3                   | 55                                              | 28,3                                               | 0,28                      |
| 39—49                           | 1,60                                            | 0,22                                  | 86,3                   | 55                                              | 31,3                                               | 0,31                      |
| 50—60                           | 1,60                                            | 0,17                                  | 89,4                   | 55                                              | 34,4                                               | 0,34                      |
| СМЕШАННАЯ КУЛЬТУРА (ПЕСКОВАНИЕ) |                                                 |                                       |                        |                                                 |                                                    |                           |
| 0—26                            | 1,87                                            | 0,46                                  | 75,4                   | 45                                              | 30,4                                               | 0,30                      |
| 26—33                           | 1,51                                            | 0,24                                  | 84,1                   | 63                                              | 21,1                                               | 0,21                      |
| 33—46                           | 1,51                                            | 0,23                                  | 84,7                   | 55                                              | 29,7                                               | 0,30                      |
| 46—60                           | 1,58                                            | 0,15                                  | 90,5                   | 55                                              | 35,5                                               | 0,36                      |
| ПОКРОВНАЯ КУЛЬТУРА (РИМПАУСКАЯ) |                                                 |                                       |                        |                                                 |                                                    |                           |
| 0—16                            | 2,55                                            | 1,03                                  | 59,7                   | 25                                              | 34,7                                               | 0,35                      |
| 16—37                           | 1,62                                            | 0,34                                  | 79,0                   | 72                                              | 7,0                                                | 0,07                      |
| 37—42                           | 1,50                                            | 0,25                                  | 83,3                   | 55                                              | 28,3                                               | 0,28                      |
| 42—60                           | 1,50                                            | 0,24                                  | 84,0                   | 55                                              | 29,0                                               | 0,29                      |

## 4.3.2. ИЗМЕНЕНИЯ ГИДРОТЕРМИЧЕСКОГО РЕЖИМА

### 4.3.2.1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Внесение песка, субстрата, обладающего низкой теплоемкостью, высокой температуропроводностью и теплоотдачей, независимо от зональных особенностей климата, всегда оказывает отопляющее влияние на горизонты почвенного профиля. Это мероприятие повышает плотность почв, снижает их общую пористость, полную и наименьшую влагоемкости. Вторично приобретенные свойства пахотных горизонтов изменяют режимы нижележащих горизонтов почв в пределах метрового профиля, т. е. в рассматриваемом нами часто встречающемся случае, до уровня грунтовых вод.

Эффективность добавок песка в поверхностные слои торфяных почв как теплоулучшающего фактора в лесной зоне России и, особенно, в ее северных областях, исследуется давно. Эти работы были начаты на Волховском опытном пункте (Чугунов, 1931), Архангельском опытном болотном поле (Беневолинский, 1950), Кемском опорном пункте (Попов, 1931)

В дальнейшем исследования были продолжены в Припятском полесье (Загурский, Белковский, Даутина, 1975; Белковский, 1981 и др.), на Карельском перешейке (Калинина, 1966), на Убинской опытно-мелиоративной станции (Бурматов, Логинов, 1970), на Украине (Вознюк, Оленевич, Лыко, 1978), в других регионах России и странах СНГ.

Было установлено, что в результате пескования осушенных торфяных почв даже сравнительно небольшими нормами может быть получен весьма ощутимый тепловой эффект. В частности, В. Н. Ефимов (1980) приводит следующие величины накопления дополнительных температур от внесения 400 м<sup>3</sup>/га песка в пахотный горизонт осушенных торфяных почв (табл. 13).

По данным В. Н. Ефимова внесение песка повышает в климатических условиях Беларуси температуру почвы на глубине 10 см на 2—3°, обеспечивая значительный тепловой эффект.

В. И. Белковский и В. М. Горошко (1991) (Беларусь) установили, что температура пахотного слоя, обогащенного минеральными компонентами, в течение вегетационного периода значительно выше, чем на контроле. Прогревание торфяных почв происходило наиболее интенсивно на глубинах внесения песка.

В среднем за вегетационный период температура почвы при внесении песка была выше по сравнению с контролем на глубине 5 см на 1,8; 10 см — на 1,5; на 15 см — на 0,9; 20 см — на 0,7 °С.

Таблица 13

**Тепловой эффект от внесения минеральных добавок  
в пахотный горизонт торфяных почв  
(по данным В. Н. Ефимова, 1986 г.)**

| Глубина, см | Сумма дополнительных температур<br>за вегетационный период<br>от внесения 400 м <sup>3</sup> /га песка, °С |
|-------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 5           | 250,5                                                                                                      |
| 10          | 190,6                                                                                                      |
| 15          | 115,3                                                                                                      |
| 20          | 95,3                                                                                                       |

Увеличение температуры происходило постепенно, достигая максимума к середине лета и снижаясь к осени, а тепловой эффект возрастал с увеличением нормы песка. Добавление в торфяную почву 400 и, особенно, 600 м<sup>3</sup>/га песка делает ее почти равноценной, по данным В. И. Белковского и В. М. Горошко, по тепловому режиму дерново-подзолистой почве.

В условиях южно-таежной подзоны обогащение торфяных почв минеральными грунтами предотвращает заморозки или сводит их к минимуму. Их внесение оказывает значительное влияние на температуру приземного слоя воздуха. По данным этих авторов, средняя минимальная температура за вегетационный период на высоте 20 см была выше, чем на контроле: при внесении 200 м<sup>3</sup>/га песка на 0,8 °С, 400 м<sup>3</sup>/га песка на 2,2 °С, 200 м<sup>3</sup>/га глины на 1,5 °С.

Следует подчеркнуть, что внесение песка в поверхностные слои профиля оказывает комплексное и существенное воздействие на другие свойства и режимы осушенных торфяных почв.

Торф благодаря темному цвету обладает высокой способностью поглощать солнечную энергию. В результате в ясные солнечные дни максимальная температура на поверхности торфяной почвы достигает 60...70 °С. Внесение минеральных компонентов в значительной мере снижает неблагоприятный температурный максимум. Вместе с тем вызванное их внесением изменение тепловых свойств торфяной почвы оказывает существенное влияние на ее промерзание и оттаивание. Глубина промерзания при этом увеличивается, а интенсивность его возрастает с увеличением нормы песка. В среднем за 5 лет торфяные почвы Белоруссии, обогащенные минеральными добавками, промерзают в феврале глубже на 3,1...7,7 см.

Внесение добавок минерального грунта способствует более интенсивному оттаиванию торфяной почвы. В годы наблюдений, по данным тех же авторов, в вариантах с внесением песка оно происходило на 4...6 дней раньше, чем в контроле.

Вся сумма рассмотренных данных показывает, что проблемам внесения песка в осушенные торфяные почвы (пескования) в последние десятилетия было уделено значительное внимание. Однако оценки изменения температурного и водного режимов в результате внесения песка в горизонт  $A_{\text{пах}}$  были сосредоточены, во-первых, на исследовании верхнего горизонта и не отражали происходящие изменения во всем профиле осушенных торфяных почв от поверхности до уровня грунтовых вод. Во-вторых, изучалось влияние минеральных добавок в условиях преимущественно смешанной культуры земледелия. Действие покровной (римпауской) культуры оставалось практически не исследованным. Такая ситуация, естественно, ограничивала представления о влиянии на режимы органогенных почв, их свойства и продуктивность песчаных культур земледелия, а также возможность их целесообразного использования в качестве защитных мероприятий.

В этой связи нами были предприняты специальные почвенно-гидрологические стационарные многолетние исследования, цель которых заключалась в сравнительном изучении температурного, водного режимов торфяных почв и их продуктивности в условиях черной, смешанной и покровной культур земледелия во всех горизонтах профиля от дневной поверхности до первого горизонта грунтовых вод [Зайдельман, Шваров 1995; Зайдельман, Шваров, Банников 1995; Зайдельман, Шваров, Павлова и др. 1997].

#### 4.3.2.2. ОСОБЕННОСТИ ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМА

Внесение различных доз песка привело к существенному изменению теплоемкости, температуропроводности и теплоотдачи пахотных горизонтов осушенных торфяных почв. На рис. 17 показана зависимость коэффициента температуропроводности от соотношения торфа и песка. Торф имеет величину  $\chi$   $(1,19—1,34) \times 10^{-3} \text{ см}^2/\text{с}$ ; песок  $(5,56—5,76) \times 10^{-3} \text{ см}^2/\text{с}$ . При добавлении песка к торфу наблюдается рост величины коэффициента температуропроводности, причем наиболее резкий при содержании более 50% песка от общей массы смеси. Коэффициент температуропроводности поверхностных слоев оказался выше на 25% на варианте с пескованием и на 352% на варианте покровной культуры

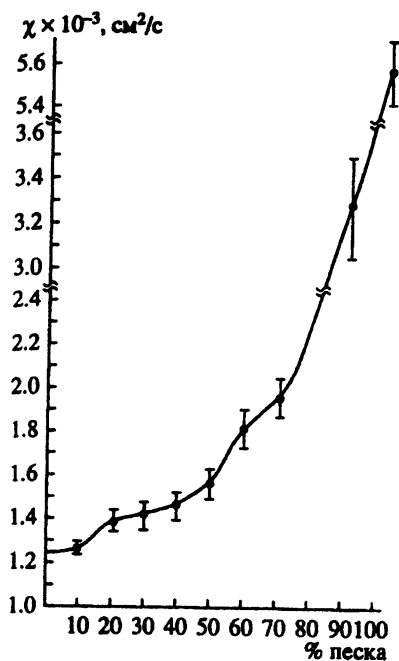


Рис. 17. Зависимость коэффициента температуропроводности от содержания песка в смеси торф-песок.

по сравнению с контролем. Их влияние распространяется на нижележащую толщу.

На температурный режим почв с внесением различных доз песка оказали заметное влияние особенности погодных условий 1992 г. В течение вегетационного периода в 1992 г. метровая толща торфяных почв в вариантах с пескованием и покровной культуры отличалась большим иссушением профиля. К началу зимнего периода эти профили имели меньшие запасы влаги. Это привело к их более интенсивному промерзанию, формированию мерзлоты и ее замедленному оттаиванию весной 1993 г.\* К началу мая на контроле (черная культура) во всех слоях метровой толщи профиля были зафиксированы положительные температуры.

Однако на песковании в этот же период на глубине 80 см сохранялся мерзлотный горизонт. На варианте с покровной культурой льдистая мерзлота была обнаружена на глубине 50 см. В целом торфяные почвы в условиях покровной культуры обладают особым термическим режимом. Он отличается от режима черной культуры не только глубоким промерзанием почв, но еще и тем, что здесь в конце весеннего периода (в мае) имеет место наиболее глубокий прогрев ее поверхностных слоев (рис. 18). На 10-ти сантиметровой глубине месячная сумма дневных температур в мае на 100 °С превышала контроль. Однако в конце весны на глубине 30 см влияние покровной культуры на температурный режим ока-

\* Относительно замедленное оттаивание мерзлотных горизонтов торфяных почв в вариантах «пескование» и «покровная культура» в 1993 г. было обусловлено еще и непродолжительным затоплением в эти годы почв пойменной террасы р. Пры, заболоченных намывными русловыми и грунтовыми водами.

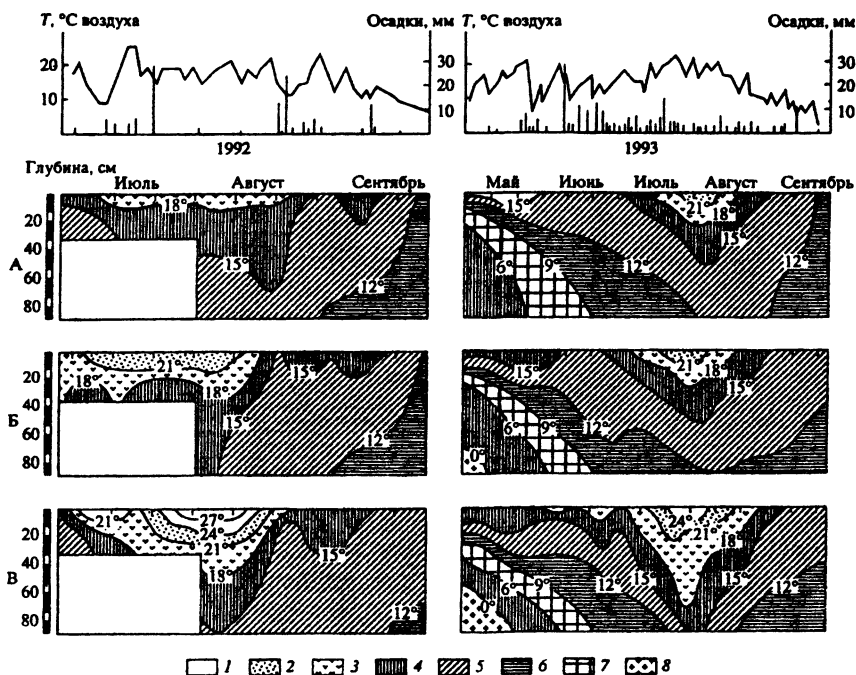


Рис. 18. Хроноизоплеты температуры осушенных торфяных почв польдера «Макевский мыс» 1992—1993 гг.

А — черная культура (контроль); Б — пескование; В — покровная культура

залось заметно сглаженным. Глубже 30 см происходит резкое уменьшение суммы температур из-за близко расположенной мерзлоты. В целом по сумме дневных температур мая на глубине 90 см контроль более чем на  $100^\circ\text{C}$  превышал вариант покровной культуры и на  $31^\circ\text{C}$  — пескование.

В июне наблюдалось увеличение зоны воздействия мощной тепловой волны с поверхности, вызванное внесением разных доз песка. Максимальный прогрев метрового профиля отмечен в июле. На контроле (черная культура) хроноизоплета  $15^\circ\text{C}$  в этот период опустилась до глубины 50 см. На варианте «пескование» она также была приурочена к глубине 50 см, но охватывала значительно более широкую зону во времени. На фоне покровной культуры прогревание оказалось наиболее глубоким. Температуры, равные  $15^\circ\text{C}$  и выше, проникли до 90 см. В июле отмечены абсолютные максимумы суммы дневных температур по всем глубинам.



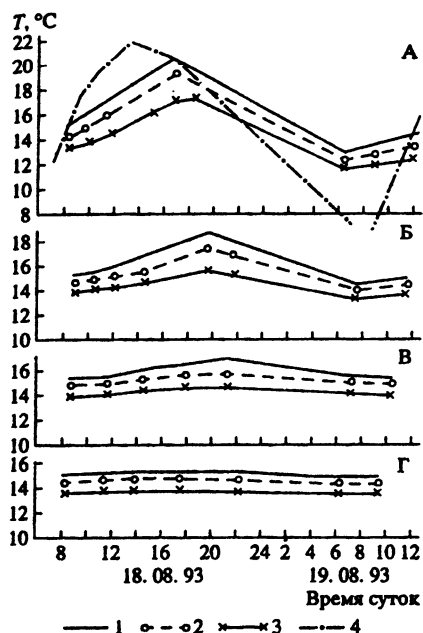


Рис. 19. Суточный ход температур осушенных торфяных почв полейдера «Макеевский мыс». Зерновые культуры. 1993 г. Температура почвы на глубинах: А — 5 см; Б — 10 см; В — 20 см; Г — 30 см. Варианты: 1 — покровная культура; 2 — пескование; 3 — черная культура; 4 — температура воздуха

В августе и сентябре происходит постепенное снижение температуры в верхних слоях профиля, однако незначительные различия по вариантам опыта в этот период еще сохраняются.

Определенный интерес представляет суточная амплитуда колебаний температуры почвы (рис. 19).

Максимальные изменения во времени и по вариантам обнаружены на глубине 0—20 см. С глубины 30 см абсолютные различия температур сглаживаются и мало зависят от времени суток и температуры воздуха.

#### 4.3.2.3. ОСНОВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ ГИДРОЛОГИЧЕСКОГО РЕЖИМА

Предпринятые исследования позволили обнаружить существенные различия режима влажности торфяных почв в условиях трех культур земледелия (рис. 20).

Причины столь резкого изменения режима влажности всего профиля осушенных торфяных почв в результате внесения песка в их пахотные горизонты или на поверхность связаны, прежде всего, с изменением их температурного режима.

Анализ режима влажности позволяет обратить внимание на две важные особенности гидрологии осушенных торфяных почв, свя-

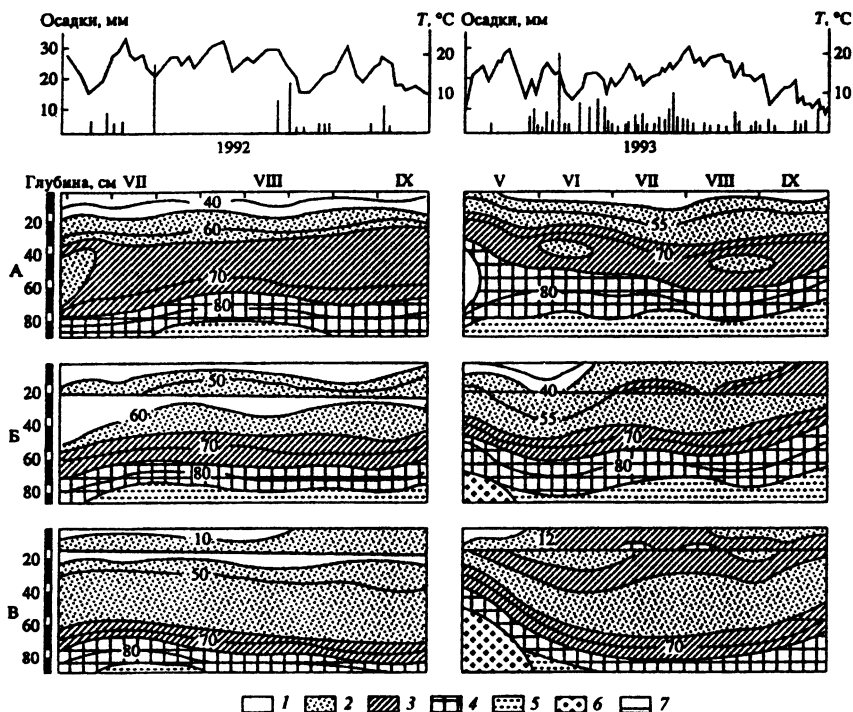


Рис. 20. Категории и хроноизоплеты влажности (в % от объема) осушенных торфяных почв полидера «Макеевский мыс». Варианты А — черная культура (контроль); Б — пескование; В — покровная культура. Категория влаги; 1 — менее 0,7 НВ; 2 — 0,7 НВ—НВ; 3 — НВ—0,9 ПВ; 4 — 0,9 ПВ—ПВ; 5 — грунтовые воды; 6 — мерзлота; 7 — нижняя граница пахотного горизонта

занные с внесением минерального субстрата. Они проявляются независимо от влажности года, хотя их абсолютное влияние неодинаково и обусловлено погодными условиями.

Во-первых, внесение песка (как при песковании, так и покровной песчаной культуре) всегда вызывает общее абсолютное уменьшение влажности практически всех горизонтов почвенного профиля в толще мощностью 1 м.

Это уменьшение влагозапасов пропорционально объему песка, использованному для изменения зольности поверхностного горизонта. Так, верхняя граница интервала влажности НВ (наименьшая влагоемкость) — 0,9 ПВ (полная влагоемкость) в 1992—1993 гг. в вариантах контроль (черная культура), пескование и покровная

песчаная культура на осушенных торфяных почвах находились соответственно на глубинах 0,3—0,35, 0,45—0,50 и 0,70 м и ниже.

Во-вторых, пропорциональное объемам внесенного песка уменьшение общих запасов влаги по профилю почв сопровождалось более благоприятным содержанием продуктивной влаги в пахотном горизонте на вариантах пескования и покровной культуры. Это явление можно было наблюдать на протяжении большей части теплого периода.

Так, пахотный горизонт в слое 0—20 см контрольного варианта (черная культура) в сухой 1992 г. имел влажность менее 0,7 НВ на протяжении всего теплого периода. В среднем по осадкам 1993 г. такая влажность была свойственна этому горизонту в толще 0,15—0,25 м на протяжении значительной части вегетационного периода. На варианте «пескование» категория влажности менее 0,7 НВ в сухой 1992 г. наблюдалась в вегетационный период в значительно меньшей толще — 0,10—0,20 м. В 1993 г. влага < 0,7 НВ практически отсутствовала во всей толще пахотного горизонта. При этом в начале и конце вегетации в пахотном слое влажность на короткие периоды возрастала до НВ—0,9 ПВ.

Наконец, в варианте покровной песчаной культуры влажность основной толщи пахотного горизонта находилась в оптимальном диапазоне (0,7 НВ—НВ). 1993 г. был средним по влажности. Вся толща пахотного горизонта обладала влажностью на коротком отрезке вегетации в интервале 0,7 НВ—НВ, т. е. оптимальной влажностью для роста и развития растений. В остальной период она соответствовала значениям НВ—0,9 ПВ. Существенно, что здесь в период выпадения наиболее интенсивных осадков наблюдалось незначительное накопление влаги выше 0,9 ПВ. Кроме того, в подпахотных слоях на фоне общей влажности 0,7 НВ—НВ формировались маломощные зоны с влажностью НВ—0,9 ПВ.

В конечном итоге более высокое содержание продуктивной влаги в вариантах «пескование» и «покровная культура» по сравнению с черной благоприятно отразилось на влагообеспеченности и урожайности большинства культур.

#### **4.3.2.4. ВЛИЯНИЕ СМЕШАННОЙ И ПОКРОВНОЙ КУЛЬТУР ЗЕМЛЕДЕЛИЯ НА УРОЖАЙ И ЕГО КАЧЕСТВО**

Поскольку агроэкологическое состояние корнеобитаемых горизонтов почв всех трех исследуемых вариантов (черная, покровная и смешанная культуры земледелия) было сопоставимо по агрохими-

**Влияние пескования и покровной песчаной культуры земледелия  
на урожай овощных и зерновых растений на осушенных торфяных почвах  
полюдера «Макеевский мыс». 1992—1993 гг.**

| Вариант культуры<br>земледелия | Средний<br>урожай,<br>ц/га | Прибавка<br>к контролю |    | Доверительный<br>интервал,<br>ц/га |      |
|--------------------------------|----------------------------|------------------------|----|------------------------------------|------|
|                                |                            | ц/га                   | %  |                                    |      |
| 1992 г. Ячмень ( $P = 0,95$ )  |                            |                        |    |                                    |      |
| Черная культура (контроль)     | 28                         | —                      | —  | 24,6                               | 31,4 |
| Пескование                     | 50                         | 22                     | 78 | 39,6                               | 60,4 |
| Покровная культура             | 39                         | 11                     | 39 | 34,0                               | 44,0 |
| 1992 г. Свекла столовая        |                            |                        |    |                                    |      |
| Черная культура (контроль)     | 252                        | —                      | —  | 212                                | 292  |
| Пескование                     | 346                        | 94                     | 37 | 296                                | 396  |
| 1993 г. Ячмень ( $P = 0,90$ )  |                            |                        |    |                                    |      |
| Черная культура (контроль)     | 18,3                       | —                      | —  | 10,4                               | 26,2 |
| Пескование                     | 24,6                       | 6,3                    | 34 | 18,6                               | 30,6 |
| Покровная культура             | 23,0                       | 4,7                    | 20 | 16,8                               | 29,2 |
| 1993 г. Капуста                |                            |                        |    |                                    |      |
| Черная культура (контроль)     | 258                        | —                      | —  | 204                                | 312  |
| Покровная культура             | 370                        | 112                    | 43 | 341                                | 399  |

ческим, агрономическим и другим показателям, следует признать, что различия урожайности зерновых и овощных (табл. 13) обусловлены особенностями гидротермического режима осушенных торфяных почв в результате внесения разных доз песка.

Данные, полученные по зерновым культурам (ячмень) в условиях засушливого 1992 г., позволяют утверждать, что покровная культура и, особенно, пескование способствовали существенному повышению урожая ячменя. Он составил на черной культуре — 28; на песковании — 50; на покровной культуре — 39 ц/га. Различия достоверны при вероятности  $P_{0,95}$ . Прибавка урожая относительно контроля — 22 и 11 ц/га или 79 и 39%.

Благоприятно сказалось влияние применяемых песчаных технологий на структуре урожая: возросла озерненность колоса, его длина, увеличился вес тысячи зерен, повысился коэффициент кустистости и число продуктивных стеблей. В среднем по влажности 1993 г. урожайность зерновых в целом была резко снижена по сравнению с 1992 г. из-за засухи в мае в период появления всхо-

дов и в начале вегетации, а также в связи с прохладным и сырым летом. Тем не менее, на песковании и, особенно, на покровной культуре в засушливый период весной вследствие большего содержания легкодоступной влаги состояние растений было значительно лучше. В дальнейшем в процессе вегетации наблюдались заметные различия по фазам развития. На вариантах пескования и покровной культуры растения на 5—7 дней опережали в своем развитии контроль. Максимальный урожай был получен на варианте с пескованием — 24,6 ц/га; на покровной культуре — 23,0 и на черной культуре — 18,3 ц/га. Так же, как и в 1992 году, пескование и покровная культура благоприятно повлияли на структуру урожая.

Учет урожая овощных культур на рассматриваемых вариантах показал положительное влияние пескования и покровной песчаной культуры земледелия на плодородие осушенных торфяных почв. Так, в 1992 г. на фоне пескования была получена прибавка урожая столовой свеклы 94 ц/га или 37% (табл. 13). В дополнительном опыте с капустой в 1993 г. на фоне покровной культуры, получена достоверная прибавка урожая 112 ц/га (43%) к контролю.

Одним из положительных условий возделывания сельскохозяйственных культур при применении пескования и покровной песчаной культуры является значительное подавление развития сорной растительности. Так, в 1992 г. в первый год эксплуатации пескование в 2 раза, покровная культура в 16 раз снизили засоренность почв. На варианте с покровной культурой практически вся территория была свободна от сорной растительности.

Следует отметить, что прибавка урожая на фоне покровной культуры была получена на 1-й и 2-й годы эксплуатации торфяных почв с новым и, несомненно, недостаточно окультуренным минеральным горизонтом, образованным кварцевым пылеватым карьерным песком. Его последующее использование, инокуляция микрофлоры, гумификация, обогащение микро- и макроэлементами позволит в дальнейшем повысить плодородие этого вновь образованного пахотного горизонта.

Естественна постановка вопроса о том, в какой мере установленные закономерности применения гидротермического режима осушенных торфяных почв в результате внесения песка в их поверхностные слои справедливы для органогенных почв других природных подзон, в частности, для подзон средней и северной тайги. В этой связи рассмотрим данные по гидротермическому режиму и продуктивности осушенных торфяных почв в условиях черной, смешанной и покровной культур земледелия, полученных нами на

территории Северо-Двинского почвенно-гидрологического стационара [Зайдельман, Рыдкин, Агарков 1990, 1991, 1993, 1995].

#### **4.4. ВЛИЯНИЕ СМЕШАННОЙ И ПОКРОВНОЙ КУЛЬТУР ЗЕМЛЕДЕЛИЯ НА ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА И ГИДРОТЕРМИЧЕСКИЙ РЕЖИМ ОСУШЕННЫХ ТОРФЯНЫХ ПОЧВ СЕВЕРОТАЕЖНОЙ ПОДЗОНЫ И ИХ ПРОДУКТИВНОСТЬ**

##### **4.4.1. ИЗМЕНЕНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ**

Исследование режимов и свойств осушенных торфяных почв на фоне смешанной (пескование) и покровной культур земледелия в условиях северной тайги осуществляли в дельте р. Северная Двина на территории Северо-Двинского стационара. Особенности этой территории и свойства почв рассмотрены нами выше (см. 1.2).

С целью оптимизации гидротермического режима осушенных торфяных почв и улучшения их водно-физических свойств было проведено пескование дозами 300 и 600 т/га, а также создана покровная песчаная культура с мощностью покрытия торфяных почв песком 14—16 см. Следует иметь в виду, что успешные опыты с пескованием малыми дозами проводились и ранее [Беневолинский 1931; Кошев, Галдина, Лагутина 1987], но впервые в условиях Севера нами была предпринята попытка исследовать эффект внесения больших доз (600 т/га) песка и создания покровной песчаной культуры.

В 1988 г. были начаты такие работы по пескованию маломощных, а в 1989 г. — среднемощных торфяных почв. Результаты агрохимической съемки и уравнильные посевы однолетних трав на маломощных и капусты на среднемощных торфяных почвах на территории опытных участков до внесения песка показали их однородность. На характер залегания депрессионной кривой уровня грунтовых вод существенное влияние оказывают осушительные каналы, поэтому пескование осуществлялось от осушительного канала к центру поля полосами шириной 12 м и длиной 190 м.

На опытных участках был внесен мелкий песок. В его минералогическом составе преобладает кварц (около 70%) и полевые шпаты (кислые плагиоклазы), встречаются также гранит, эпидот и рудные минералы (ильменит и магнетит). Зерна песка хорошо окатаны.

Водно-физические и физико-химические свойства торфяных и дерновых глееватых почв, их изменение при внесении разных доз песка в гор. Ар торфяных почв (совхоз «Беломорский» Архангельской обл.)

| Горизонт,<br>глубина, см                                                     | $\rho_b$ | $\rho_s$ | ОП | ППВ         | ВП | ВЗ      | рН          |              | ГК           | ПО  | Степень<br>насыщен-<br>ности, % |
|------------------------------------------------------------------------------|----------|----------|----|-------------|----|---------|-------------|--------------|--------------|-----|---------------------------------|
|                                                                              |          |          |    |             |    |         | вод-<br>ный | соле-<br>вой |              |     |                                 |
| 1                                                                            | 2        | 3        | 4  | 5           | 6  | 7       | 8           | 9            | 10           | 11  | 12                              |
|                                                                              |          |          |    | % от объема |    |         |             |              |              |     |                                 |
|                                                                              |          |          |    |             |    |         |             |              | мг-экв/100 г |     |                                 |
| Черная культура. Торфяная маломощная осушенная почва                         |          |          |    |             |    |         |             |              |              |     |                                 |
| $T_{max}$                                                                    | 0,24     | 1,74     | 83 | 47          | 36 | 16      | 5,6         | 4,4          | 62           | 85  | 58                              |
| $T_I$                                                                        | 0,22     | 1,63     | 87 | 55          | 32 | Не опр. | 5,5         | 4,3          | 88           | 93  | 51                              |
| Слой 3                                                                       | 0,54     | 2,13     | 75 | 48          | 26 | «       | 5,2         | 4,3          | 47           | 67  | 59                              |
| $G_o$                                                                        | 0,70     | 2,27     | 69 | 49          | 20 | «       | 4,3         | 3,4          | 40           | 61  | 60                              |
| $G_r$                                                                        | 0,75     | 2,53     | 70 | 48          | 22 | «       | 4,0         | 3,2          | 38           | 58  | 60                              |
| Пескование дозой 300 т/га. Торфяная маломощная осушенная почва               |          |          |    |             |    |         |             |              |              |     |                                 |
| $T_{max}$                                                                    | 0,42     | 1,90     | 78 | 44          | 34 | Не опр. | «           | 4,5          | 52           | 41  | 44                              |
| Пескование дозой 600 т/га. Торфяная маломощная осушенная почва               |          |          |    |             |    |         |             |              |              |     |                                 |
| $T_{max}$                                                                    | 0,65     | 2,00     | 68 | 38          | 30 | Не опр. | «           | 4,6          | 48           | 28  | 37                              |
| Покровная песчаная культура (2000 т/га). Торфяная маломощная осушенная почва |          |          |    |             |    |         |             |              |              |     |                                 |
| $T_{max}$                                                                    | 1,16     | 2,51     | 54 | 29          | 25 | Не опр. | «           | 4,7          | 30           | 13  | 31                              |
| Черная культура. Торфяная маломощная осушенная почва                         |          |          |    |             |    |         |             |              |              |     |                                 |
| $T_{max}$                                                                    | 0,35     | 1,80     | 81 | 52          | 29 | 16      | 6,0         | 5,3          | 41           | 139 | 77                              |
| $T_I$                                                                        | 0,28     | 1,66     | 83 | 56          | 27 | Не опр. | 5,3         | 4,1          | 85           | 67  | 44                              |
| 50—70                                                                        | 0,24     | 1,66     | 86 | 65          | 21 | «       | 5,4         | 4,1          | 85           | 89  | 51                              |
| 70—90                                                                        | 0,33     | 1,90     | 83 | 53          | 30 | «       | 5,5         | 4,8          | 56           | 89  | 61                              |
| 90—100                                                                       | 0,33     | 1,90     | 83 | 54          | 29 | «       | 5,5         | 4,8          | 59           | 95  | 62                              |

Таблица 14 (продолжение)

| 1                                      | 2      | 3    | 4    | 5  | 6       | 7  | 8       | 9   | 10  | 11 | 12 |    |
|----------------------------------------|--------|------|------|----|---------|----|---------|-----|-----|----|----|----|
| Дерново-глеевая осушенная почва        |        |      |      |    |         |    |         |     |     |    |    |    |
| $A_{\text{пах}}$                       | 0—27   | 1,14 | 2,53 | 55 | 40      | 15 | 25      | 7,6 | 6,6 | 1  | 47 | 98 |
| AB                                     | 27—48  | 1,32 | 2,50 | 47 | 35      | 12 | Не опр. | 7,6 | 6,9 | 11 | 46 | 80 |
| Слой 3                                 | 48—60  | 0,98 | 2,27 | 57 | 40      | 17 | «       | 6,6 | 6,0 | 6  | 44 | 88 |
| B1g                                    | 60—75  | 1,34 | 2,65 | 49 | 33      | 16 | «       | 5,7 | 5,0 | 7  | 26 | 79 |
| B2g                                    | 75—100 | 1,56 | 2,67 | 42 | 33      | 9  | «       | 5,5 | 4,3 | 8  | 24 | 74 |
| Торфяная болотная (целина неосушенная) |        |      |      |    |         |    |         |     |     |    |    |    |
| T1                                     | 5—15   | 0,08 | 1,60 | 95 | Не опр. |    | 5,0     | 3,5 | 97  | 71 | 43 |    |
| T2                                     | 15—30  | 0,08 | 1,60 | 95 | »       |    | 4,9     | 3,5 | 100 | 71 | 42 |    |

Примечание.  $\rho_b$  — плотность сложения сухой почвы,  $\rho_s$  — плотность твердой фазы, ОП — общая пористость, ППВ — предельная полевая влагемкость, ВП — воздухоносная пористость при влажности, равной ППВ, ВЗ — влажность завядания, ГК — гидролитическая кислотность, ПО — сумма поглощенных оснований.



При внесении песка на осушенные торфяные почвы их водно-физические свойства в пахотном горизонте меняются тем значительнее, чем больше доза песка (табл. 14). Наблюдается увеличение плотности почв. При внесении 300 т/га песка плотность пахотного горизонта повышается до  $0,42 \text{ г/см}^3$ , на покровной культуре плотность составила  $1,16 \text{ г/см}^3$ . Соответственно увеличивается плотность твердой фазы почв. Вместе с тем отмечается уменьшение общей пористости и предельной полевой влагоемкости. Воздухоносная пористость также несколько уменьшается, но обеспеченность корневых систем растений воздухом остается высокой.

#### 4.4.2. ОСОБЕННОСТИ ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМА

Результаты исследований температурного режима почв (рис. 21) показали, что торфяные целинные почвы вследствие их высокой теплоемкости промерзают на меньшую глубину, чем их осушенные аналоги. Например, в марте—апреле 1990 г. мощность промерзшего слоя на болоте составляла 14 см, в то время как глубина промерзания осушенных торфяных почв была равна 30 см, а дерновых глееватых — 40—45 см (Зайдельман, Рыдкин, Агарков 1993).

Сроки промерзания и оттаивания на торфяных осушенных почвах смещены по сравнению с неосушенными торфяными почвами и зональными минеральными почвами. С наступлением морозов осушенные торфяные почвы промерзают позднее, а весной позднее оттаивают. Верхний слой торфа весной быстро подсыхает и превращается в теплоизолятор, препятствующий проникновению тепла к мерзлотному горизонту. Таким образом, мерзлотная прослойка может сохраняться продолжительное время. Это явление наблюдалось нами в 1988 г., когда до 10 июня фрагментарно сохранялся мерзлотный горизонт мощностью 5—10 см. Полученные данные свидетельствуют о том, что в средние по обеспеченности теплом и осадками годы полное оттаивание осушенных торфяных почв происходит на 15—20 дней позднее, чем минеральных почв.

Внесение песка способствует сокращению этого периода. Так, даже небольшая доза песка (300 т/га) сокращает период оттаивания мерзлоты на 3—5 дней. Покровная культура гарантирует сокращение сроков схода мерзлоты на 12—15 дней в средние по обеспеченности теплом и осадками годы. Необходимо отметить, что в мае и июне в северных широтах растения значительную часть суток используют световую солнечную энергию и развиваются с мак-

симальной интенсивностью. Поэтому здесь возможность более ранней посадки растений способствует их лучшему вызреванию к моменту уборки урожая.

Но эффект пескования проявляется не всегда в полной мере. Например, после многоснежной и теплой зимы, когда промерзание почвы было невелико, ранняя теплая весна способствует быстрому оттаиванию маломощного мерзлотного горизонта. Таким был

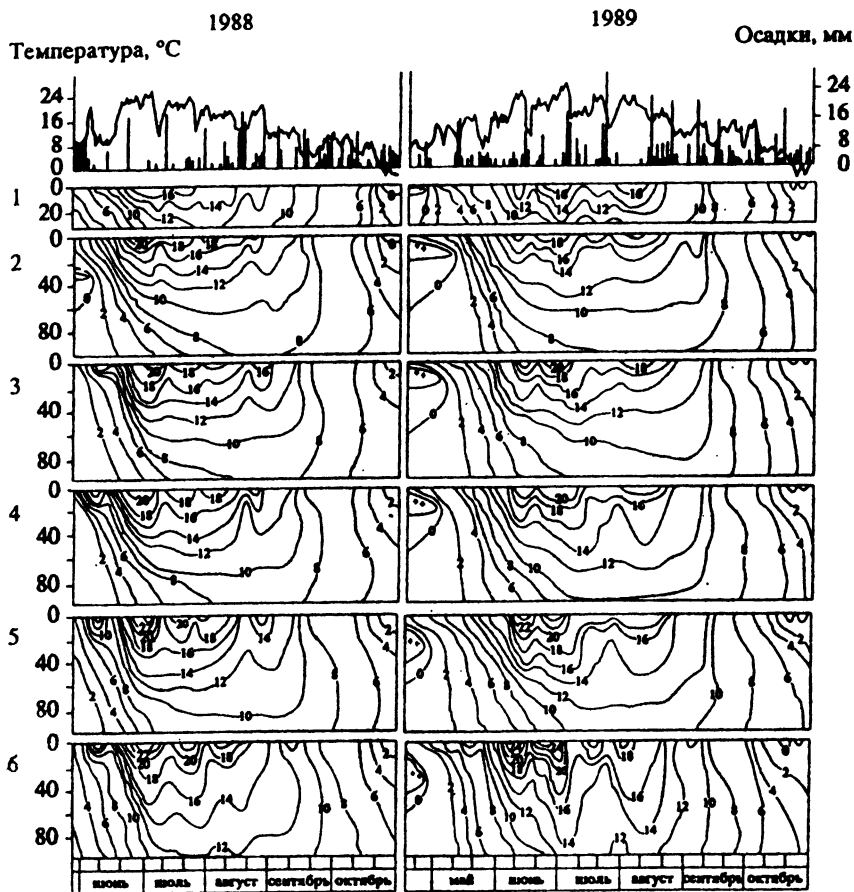


Рис. 21. Температурный режим торфяных и минеральных почв и его изменение при песковании. Условные обозначения: 1 — торфяная неосушенная почва; 2 — черная культура (торфяная глееватая осушенная почва); 3 — 300 т/га песка; 4 — 600 т/га песка; 5 — покровная песчаная культура; 6 — дерновая глееватая суглинистая почва; ++мерзлота

1989 г., когда температура воздуха в апреле и мае была значительно выше средней многолетней (в апреле в 5 раз, в мае в 2 раза). Однако и в этом случае сохраняется разница в несколько дней в сроках оттаивания торфяных почв на черной и песчаной покровной культурах земледелия. На интенсивность оттаивания мерзлоты влияет и мощность торфяной залежи. Обычно мерзлотный горизонт на среднемощной торфяной почве сохраняется весной на 3—4 дня дольше, чем на маломощной.

При анализе теплового режима можно сделать вывод о том, что с увеличением дозы песка наблюдается стабильное повышение температуры в профиле торфяных почв. Тепловая волна распространяется на большую глубину. Так, в 1988 и 1990 гг., близких по обеспеченности осадками и теплом, изоплета 10 °C на варианте с черной культурой торфяной маломощной почвы проходила в середине лета на глубине 60 см. При внесении песка температура 10 °C опускалась до глубины 70—85 см. На варианте с покровной культурой в летние месяцы практически весь профиль торфяной почвы до глубины одного метра имел температуру выше 10 °C. Аналогичная картина наблюдалась и на среднемощной торфяной почве.

Повышение температуры торфяных почв при песковании наиболее заметно в верхнем 30-сантиметровом слое. Средние температуры на глубинах 10 и 20 см на участках с песком в летние месяцы выше, чем на черной культуре обычно на 1—4 °C. С наступлением холодов осенью эти различия нивелируются. Пескование, и особенно, покровная культура способствуют существенному дополнительному (на 10—20%) накоплению суммы активных температур выше 10 °C как на маломощных, так и на среднемощных торфяниках (табл. 15). Существенно, что пахотный слой покровной песчаной культуры накапливает примерно такое же количество тепла, что и пахотный слой дерновой глееватой суглинистой почвы.

Максимальные температуры на поверхности пескованных участков под покровом растительности в среднем на 1,5—2,0 °C выше, чем на черной культуре. В то же время и минимальные температуры в вегетационный период здесь были выше, чем на черной культуре на 1,0—1,5 °C. Пескование существенно снижает вероятность возникновения небольших заморозков на почве в вегетационный период. Например, во второй декаде июня в 1988 и 1989 гг. на поверхности почвы черной культуры были зафиксированы минимальные температуры -0,7 и -1,0 °C. В то же время на покровной

## Влияние пескования на изменение суммы температур выше 10 °С

| Показатель                                                                | Болото, осушен-<br>ная торфяная поч-<br>ва (контроль) | Маломощная<br>торфяная почва |      |      |                       | Среднемощная<br>торфяная почва |      |      |                       | Дерновая глеева-<br>тая почва |
|---------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|------------------------------|------|------|-----------------------|--------------------------------|------|------|-----------------------|-------------------------------|
|                                                                           |                                                       | черная<br>культура           | 300  | 600  | покровная<br>культура | черная<br>культура             | 300  | 600  | покровная<br>культура |                               |
|                                                                           |                                                       |                              | т/га |      |                       |                                | т/га |      |                       |                               |
| 1. Сумма температур<br>выше 10 °С на глуби-<br>не 10 см<br>(1.06—30.9.89) | 1287                                                  | 1427                         | 1481 | 1452 | 1646                  | 1602                           | 1625 | 1672 | 1735                  | 1601                          |
| 2. Превышение сум-<br>мы температур по<br>сравнению с черной<br>культурой |                                                       | 0                            | 54   | 28   | 219                   | 0                              | 22   | 70   | 133                   |                               |
| 3. Сумма температур<br>выше 10 °С на глуби-<br>не 20 см<br>(1.06—30.9.89) | 1133                                                  | 1334                         | 1414 | 1423 | 1557                  | 1616                           | 1577 | 1629 | 1639                  | 1545                          |
| 4. Превышение сум-<br>мы температур по<br>сравнению с черной<br>культурой |                                                       | 0                            | 80   | 89   | 223                   | 0                              | -38  | 13   | 23                    |                               |

культуре температура не опускалась ниже +2,0 °С. На варианте с дозой песка 600 т/га минимальная температура была выше 0 °С. Доза 300 т/га песка не всегда оказывала существенное влияние на минимальные температуры поверхности почвы.

Таким образом, внесение песка в осушенные торфяные почвы северотаежной подзоны способствует повышению теплопроводности и накоплению тепла в корнеобитаемом слое, повышению температуры профиля осушенных торфяных почв в целом, снижает вероятность возникновения заморозков на их поверхности в вегетационный период, сокращает длительность присутствия мерзлотных горизонтов.

#### 4.4.3. ОСНОВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ ВОДНОГО РЕЖИМА

Сведения об основных элементах водного режима торфяных и минеральных почв приведены на рис. 22. Количество осадков в летние периоды 1988 и 1990 гг. (за исключением августа 1990 г.) было

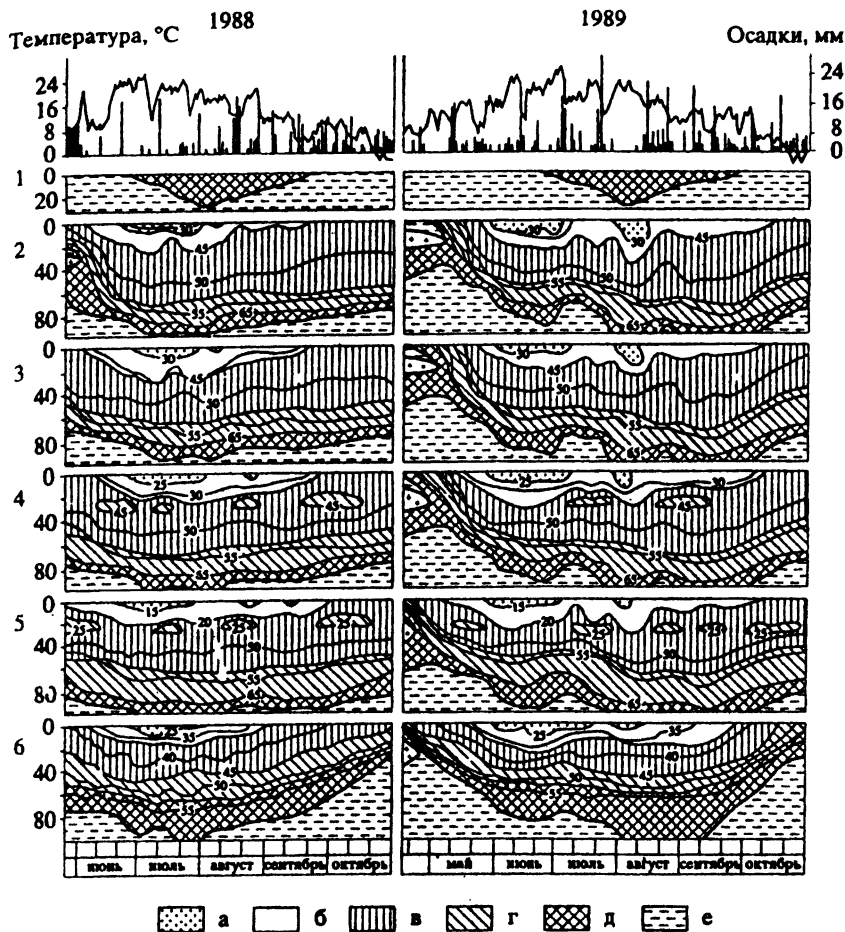


Рис. 22. Режим влажности торфяных и минеральных почв и его изменение при песковании. Условные обозначения: 1—6 — см. подписи к рис. 21; категории влажности: а —  $< 0,7$  ППВ (предельной полевой влагоемкости); б —  $0,7—0,95$  ППВ; в —  $0,95—1,05$  ППВ; г —  $1,05$  ППВ —  $0,9$  ПВ (полной влагоемкости); д —  $0,9$  ПВ — ПВ; е — ПВ (полная влагоемкость)

близко к средним многолетним значениям. В 1989 г. осадков выпало на 10% выше нормы.

В ранневесенний период по мере оттаивания мерзлотного горизонта над ним происходит формирование надмерзлотной верховодки. Внесение песка способствовало уменьшению ее мощности на вариантах 300 и 600 т/га. На покровной культуре верховод-

ки практически не было. Это обстоятельство, во-первых, создает благоприятные условия для более ранней обработки поверхности, во-вторых, снимает необходимость мероприятий по организации и ускорению поверхностного стока и, в-третьих, существенно увеличивает период вегетации. Кроме того, при внесении песка на 10—15 дней увеличивается период оптимальной влажности (0,7 ППВ — ППВ) в верхнем слое почвы. В периоды выпадения интенсивных осадков на вариантах с внесением 600 т/га песка и покровной культуры под слоем мульчирующего песка отчетливо выражена аккумуляция гравитационной влаги. Такое явление отсутствует на черной культуре и варианте с малой дозой песка.

В профиле минеральной дерновой глееватой почвы из-за близкого залегания грунтовых вод в летние месяцы отмечалась влажность в пределах ППВ — 0,9 ПВ, т. е. даже в сухие периоды в их профиле на глубине 40 см присутствует гравитационная влага.

Таким образом, результаты исследований режима влажности рассматриваемых почв показывают, что пескование существенно снижает, а покровная песчаная культура почти полностью ликвидирует горизонт надмерзлотной верховодки. Оно способствует увеличению периода оптимальной влажности в ризосфере. Внесение песка вызывает образование доступных растениям очагов гравитационной влаги на контакте пахотного и подпахотного горизонтов.

#### **4.4.4. ВЛИЯНИЕ СМЕШАННОЙ И ПОКРОВНОЙ КУЛЬТУР ЗЕМЛЕДЕЛИЯ НА УРОЖАЙ**

Оценка агроэкологической эффективности разных доз пескования и покровной песчаной культуры выполнялась на фоне картофеля, капусты и однолетних трав (табл. 16).

На внесение песка лучше всего реагирует картофель. Так, в 1988 г. на маломощных торфяных почвах урожай его составил на черной культуре 156 ц/га. На вариантах с дозами песка 300, 600 т/га и на покровной культуре прибавки урожая в сравнении с черной культурой составили соответственно 11, 41 и 36%. Некоторое снижение урожая на покровной культуре объясняется, по-видимому, недостаточной окультуренностью песчаного пахотного горизонта в первый год эксплуатации. На окультуривание песчаного слоя в наших условиях потребовалось два года. На второй и третий годы на варианте с покровной культурой были получены максимальные прибавки. Пескование дозами 300 и 600 т/га во

**Продуктивность сельскохозяйственных культур и засоренность полей (ц/га)  
на осушенных торфяных и дерновых глееватых почвах Архангельской обл.  
при разных видах внесения песка**

| Год                               | Черная<br>культура | 300<br>т/га песка | 600<br>т/га песка | Покровная<br>культура | Дерновая<br>глееватая<br>почва |
|-----------------------------------|--------------------|-------------------|-------------------|-----------------------|--------------------------------|
| Картофель                         |                    |                   |                   |                       |                                |
| 1988                              | 156 ± 43           | 173 ± 37          | 220 ± 44          | 212 ± 29              | 202 ± 31                       |
| 1989                              | 236 ± 17           | 242 ± 47          | 271 ± 54          | 365 ± 28              | 260 ± 36                       |
| 1990                              | 173 ± 29           | 191 ± 36          | 220 ± 41          | 256 ± 32              | 236 ± 28                       |
| 1990*                             | 198 ± 28           | 231 ± 34          | 232 ± 37          | 263 ± 33              |                                |
| Капуста                           |                    |                   |                   |                       |                                |
| 1988                              | 312 ± 49           | 354 ± 67          | 433 ± 71          | 414 ± 77              | 738 ± 87                       |
| 1989                              | 155 ± 23           | 187 ± 19          | 233 ± 28          | 353 ± 30              | 709 ± 78                       |
| 1990                              | 344 ± 32           | 380 ± 28          | 410 ± 31          | 441 ± 34              | 644 ± 67                       |
| 1990*                             | 354 ± 41           | 370 ± 30          | 401 ± 36          | 458 ± 29              |                                |
| Однолетние травы (зеленая масса)  |                    |                   |                   |                       |                                |
| 1988                              | 273 ± 39           | 307 ± 46          | 307 ± 38          | 363 ± 42              | Не опр.                        |
| 1990                              | 337 ± 36           | 378 ± 38          | 390 ± 37          | 409 ± 39              | «                              |
| 1990*                             | 307 ± 41           | 313 ± 37          | 310 ± 35          | 332 ± 40              | «                              |
| Биомасса сорняков (зеленая масса) |                    |                   |                   |                       |                                |
| 1988                              | 179 ± 28           | 100 ± 25          | 104 ± 27          | 30 ± 11               | Не опр.                        |
| 1990                              | 143 ± 24           | 123 ± 27          | 116 ± 28          | 45 ± 14               | «                              |

\* Продуктивность культур на среднемощных торфяных почвах. Доверительный интервал при вероятности 95%.

все годы также способствовало увеличению продуктивности картофеля на торфяных почвах. Урожай картофеля на дерновой глееватой почве оказывался равным или был ниже на 5—40%, чем на покровной культуре. В наиболее благоприятном по погодным условиям 1989 г. мерзлотный горизонт оттаял уже в начале мая и были получены максимальные урожаи картофеля как на черной культуре, так и на участках с внесением песка.

В 1988 г. на черной культуре средний урожай капусты составил 312 ц/га. На варианте с внесением 600 т/га песка урожай капусты повысился до 433 ц/га, а на покровной культуре составил 414 ц/га. В 1989 г. вследствие поздней высадки капусты урожай ее на опытных участках был низким в целом на всех вариантах. Но и в этих условиях наблюдалась определенная зависимость от дозы внесенного песка. Прибавки урожая на вариантах 300, 600 т/га

песка и покровной культуре в сравнении с черной культурой составили соответственно 21, 50 и 95%. Урожайность капусты на дерновой глееватой почве в эти годы была значительно выше: 640—830 ц/га. По-видимому, эти почвы с нейтральной реакцией среды, высокогумусированные, насыщенные основаниями, с приемлемым гидротермическим режимом, являются наиболее благоприятными для выращивания капусты в этой зоне.

В 1988 и 1990 гг. отмечалось повышение урожайности зеленой массы однолетних трав на пескованных вариантах осушенных торфяных почв. Прибавки урожая на покровной культуре в эти годы составили 33 и 21%.

Следует подчеркнуть, что торфяные почвы отличаются высокой засоренностью посевов. Внесение песка уменьшает биомассу сорняков. Так, в 1988 г. зеленая масса сорняков на контроле составила 179 ц/га, а на покровной песчаной культуре не превышала 30 ц/га. На третий год после проведения пескования этот эффект уменьшился, но все же остался весьма заметным.

Таким образом, смешанная (пескование) и особенно покровная (римауская) песчаные культуры земледелия оказывают комплексное положительное воздействие на свойства осушенных торфяных почв европейского севера России, их гидротермический режим и на условия земледелия в этом регионе в целом. Они способствуют существенному уменьшению, а в условиях покровной культуры — полной ликвидации мерзлотного горизонта в верхней части профиля. Внесение песка повышает температуру профиля торфяных почв и снижает вероятность возникновения заморозков на поверхности почвы. Установлена различная реакция сельскохозяйственных культур на пескование. Лучше всего на внесение песка реагирует картофель. Покровная песчаная культура дает максимальный положительный эффект только после интенсивного окультуривания минерального пахотного горизонта. Необходимо также подчеркнуть, что пескование и покровные культуры земледелия торфяных почв в поймах рек и в полесьях экономически весьма целесообразно из-за близкого расположения сельскохозяйственных угодий к местам добычи песка.

В заключении раздела, посвященном песчаным культурам земледелия на осушенных торфяных почвах, необходимо остановиться и еще на одном мало изученном вопросе — о возможности просачивания песка из верхних пахотных горизонтов в более глубокие слои профиля осушенных торфяных почв. Можно предполагать вероятность такой «утечки» песка, поскольку, во-первых, торфяные



почвы в засушливые периоды подвержены весьма значительной усадке. В результате в их профиле образуются крупные трещины. Во-вторых, эти почвы даже после осушения обладают значительной общей пористостью (80—85%).

#### **4.5. ВОЗМОЖНА ЛИ МИГРАЦИЯ ПЕСКА, ИСПОЛЬЗУЕМОГО В СМЕШАННОЙ И ПОКРОВНОЙ КУЛЬТУРАХ ЗЕМЛЕДЕЛИЯ?**

Вопрос о возможности миграции песка из верхних слоев почвенного профиля в более глубокие горизонты осушенных торфяных почв на фоне смешанной и покровной культур земледелия практически не исследован. Вместе с тем он имеет актуальное практическое значение.

Если такое явление действительно имеет место, если возможно «просачивание» песка в нижние слои профиля, то тогда, очевидно, можно предполагать, что со временем произойдет исчезновение его мелиорирующего эффекта. В этом случае окажется необходимым предусматривать регулярное внесение поддерживающих масс песка в или на пахотный горизонт торфяных почв.

По-видимому, впервые предположение о возможности миграции песка в этих условиях на фоне смешанной культуры земледелия было высказано при исследовании эффекта пескования на осушенных низинных торфяных почвах поймы р. Северная Двина. В дальнейшем нами были предприняты исследования возможной миграции песка по профилю торфяных почв в условиях полевого опыта на территории Окско-Мещерского почвенно-гидрологического стационара на торфяных почвах польдера «Макеевский мыс». Полученные данные показали, что крупные трещины, по которым возможно движение песка при обычных нормах осушения (70—100 см), в максимальной степени развиты в условиях черной культуры [Зайдельман, Батраков, Шваров и др. 2002]. Их глубина, однако, не превышает мощности пахотного горизонта (18—21 см). В условиях пескования (смешанная культура) глубины крупных трещин не превышают 9—15 см (табл. 17). Такие трещины, очевидно, не могут являться каналами просачивания песка вглубь профиля. Это подтверждают и прямые наблюдения за распространением массы песка, внесенного в пахотный горизонт при создании смешанной культуры земледелия (табл. 18). Из этих данных следует, что в подпахотном горизонте глубже 33 см песок вообще не обнаружен при тщательной отмывке торфа.

Таблица 17

**Параметры трещин, возникших на поверхности осушенных торфяных почв  
при разных культурах земледелия**

| Вариант            | Ширина,<br>см | Глубина,<br>см | Кол-во,<br>шт./м <sup>2</sup> | Доля объема пахотного<br>горизонта, занимаемого<br>трещинами, % |
|--------------------|---------------|----------------|-------------------------------|-----------------------------------------------------------------|
| Черная культура    | 1—11          | 18—21          | 4—5                           | 30—40                                                           |
| Смешанная культура | 1—2,5         | 9—15           | 2                             | ~ 15                                                            |
| Покровная культура | 1—1,5         | 5—6            | еди-<br>нично                 | < 1                                                             |

Таблица 18

**Оценка возможности миграции песка из пахотного горизонта  
в глубокие слои почвенного профиля при разных культурах земледелия**

| Глубина, см                | Масса песка, г/100 г | Масса песка в горизонте, т/га |
|----------------------------|----------------------|-------------------------------|
| Черная культура (контроль) |                      |                               |
| 0—25                       | 1,51                 | 11,35                         |
| 25—33                      | 0,59                 | 1,23                          |
| 33—38                      | 0                    | 0                             |
| Смешанная культура         |                      |                               |
| 0—26                       | 21,55                | 257,74                        |
| 26—33                      | 4,38                 | 7,36                          |
| 33—38                      | 0                    | 0                             |

Вместе с тем при осушении торфяных почв глубокими каналами и отрыве капиллярной каймы от органогенных горизонтов, по данным Д. П. Головки (1972), действительно возникают глубокие трещины, пронизывающие значительную часть почвенного профиля. Однако этот случай нами не исследовался. Можно предполагать, что в таких условиях в принципе возможна миграция песка из пахотного горизонта в глубокие слои торфяных почв. Вместе с тем способ глубокого осушения низинных торфяных болот в связи с его очевидной экологической опасностью и экономической нецелесообразностью в настоящее время повсеместно не используется в реальной практике. По-видимому, единственной реаль-

ной угрозой расхода песка из пахотного горизонта может являться ветровая эрозия, способная нарушить баланс минерального субстрата, использованного при песковании или при создании покровной культуры земледелия на осушенных торфяных почвах.

#### **4.6. ПРЕИМУЩЕСТВА ПЕСЧАНЫХ КУЛЬТУР ЗЕМЛЕДЕЛИЯ И НЕИЗВЕСТНЫЕ ДЕГРАДАЦИОННЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ**

Подведем некоторые итоги. Вся сумма известных данных, рассмотренных в этой монографии и полученных другими авторами, свидетельствует о том, что песчаные культуры обладают несомненными преимуществами по сравнению с черной культурой земледелия. Действительно, в случае их применения резко ослабевает или полностью исчезает опасность пожаров и пирогенная деградация торфяных почв. В результате внесения песка увеличивается теплопроводность, уменьшается теплоемкость торфяной почвы. Как следствие этого улучшается температурный режим почвы; повышается сумма активных температур за вегетационный период; значительно снижается амплитуда колебания температур в пределах пахотного слоя и амплитуда температур в течение суток; увеличивается глубина прогревания, сокращаются сроки оттаивания и уменьшается вероятность поздневесенних и раннеосенних заморозков. Существенно возрастает урожайность практически всех возделываемых сельскохозяйственных растений. Многочисленные данные свидетельствуют о том, что в результате использования песчаных культур земледелия улучшается качество сельскохозяйственной продукции — увеличивается содержание протеина в многолетних травах, возрастают содержание сахара в капусте, крахмала в картофеле, изменяется в лучшую сторону соотношение зерна и соломы у зерновых, снижается полегаемость трав, а также засоренность полей сорняками.

В условиях песчаных культур земледелия увеличивается ресурс продуктивной влаги. Наконец, повышается несущая способность осушенных торфяных почв, уменьшается или прекращается вынос торфа с полей с картофелем и овощами в результате налипания на колеса уборочной техники и транспорта.

Таким образом, казалось бы, внесение песка в или на поверхностный горизонт осушенных торфяных почв существенно улучшает их свойства и режимы, повышает продуктивность земледелия. Однако при этом остается один весьма существенный аспект,

который не получил должного отражения почти во всех исследовательских работах, связанных с этой проблемой. Оптимизация водного и температурного режимов, благоприятно влияющих на рост, развитие и продуктивность высших растений, оказывает одновременно стимулирующее воздействие на жизнедеятельность микробиоты, в том числе и на целлюлозолитические аэробные микроорганизмы [Зименко, Гаврилкина 1982; Зименко 1991]. Из этого следует, что внесение песка может иметь своим следствием ускорение процесса разрушения органического вещества торфа и его сработку до простых окислов — воды, нитратов и диоксида углерода. При этом полагают, что внесение песка ускоряет распад торфа пахотного горизонта.

Впоследствии это дало основание многим исследователям утверждать, что песчаные культуры земледелия способствуют ускоренному разложению органического вещества пахотного горизонта, но при этом тормозят его распад в более глубоких слоях почвенного профиля и в целом во всей толще торфяной почвы. Так, В. И. Белковский (1986) подчеркивает, что «обогащение пахотного слоя торфяной почвы песком ... способствует усилению минерализации органического вещества в 1,5—2,0 раза. В торфяном горизонте ... ниже пескованного пахотного слоя скорость минерализации органического вещества замедляется примерно в 2 раза по отношению к такому же слою на контроле... Поэтому, несмотря на то, что в обогащенных песком горизонтах скорость минерализации значительно выше, чем на контроле, суммарные объемы потерь органического вещества в них существенно ниже, так как разложению здесь подвергается намного меньшее количество торфа» (с. 31).

Аналогичные суждения встречаются и в других работах. Однако рассмотренные нами материалы по характеристике гидротермического режима позволяют утверждать, что внесение песка в поверхностные горизонты вызывает увеличение температуры не только всех слоев профиля осушенных торфяных почв, но и грунтовых вод. Эти различия по абсолютным величинам в теплый период составляют до 6—8 °С в пахотном, 2—4 °С в более глубоких слоях профиля и, наконец, в грунтовых водах — 1—2 °С. Таким образом идет интенсивный прогрев всего профиля на фоне благоприятной влажности для жизнедеятельности аэробной микрофлоры. Это обстоятельство позволяет признать, что внесение песка может оказаться причиной существенного роста биологической активности не только в пахотном горизонте, но и вообще во

всех слоях почвенного профиля. Если это предположение подтверждают экспериментальные данные, то должен быть изменен подход к оценке общего баланса углерода в торфяных почвах, в том числе и после внесения песка. Кроме того вполне вероятно, что реальные абсолютные потери углерода в результате распада органического вещества торфяных почв существенно больше тех величин, которые приняты многими исследователями в настоящее время.

## **БИОЛОГИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ ОСУШЕННЫХ ТОРФЯНЫХ ПОЧВ В УСЛОВИЯХ ЧЕРНОЙ, СМЕШАННОЙ И ПОКРОВНОЙ КУЛЬТУР ЗЕМЛЕДЕЛИЯ**

### **5.1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ**

Рассмотренные данные свидетельствуют о том, что внесение песка в пахотный горизонт (смешанная) или на его поверхность (покровная культуры земледелия) создает не только более благоприятные условия для ведения сельскохозяйственного производства, но и способствует существенному повышению урожайности практически всех культур. Вместе с тем выполненные нами исследования гидротермического режима почв показали, что после внесения песка на мелиорированных почвах значительно усиливается прогрев всех горизонтов почвенного профиля от поверхности до грунтовых вод. Вследствие этого общие влагозапасы в профиле осушенных торфяных почв до глубины 0,8 м оказались максимальными на черной культуре земледелия.

Все это позволило предполагать, что внесение песка в поверхностные горизонты осушенных торфяных почв может существенно изменять их биологическую активность, оказывать заметное влияние на темпы биохимического разложения органического вещества торфа и устойчивость агроландшафта на осушенных болотах.

В этой связи следует подчеркнуть, что баланс углерода и органического вещества — основной вопрос эволюции осушенных торфяных почв. При осушении и сельскохозяйственном использовании коренным образом меняются условия их существования. Выше было показано, что непрерывное торфонакопление (1—2 мм/год) в естественных условиях после дренажа сменяется разложением органического вещества, потерей торфа в результате биохимической сработки, дефляции и пожаров, а также отчуждения его за пределы поля с урожаем пропашных и других культур. Отрицательный баланс органического вещества в осушенных почвах непрерывно уменьшает мощность торфяных горизонтов в климатических условиях северной, средней и, особенно, южной тайги. В полесьях и других ландшафтах возникает реальная угроза выхода на дневную поверхность подстилающих минеральных субстратов,

например оглеенного песка, луговой извести, мергеля и других почвообразующих и подстилающих пород, обладающих низким плодородием или неплодородных вообще.

Среднегодовая минерализация торфа в основных сельскохозяйственных регионах европейской территории Нечерноземной зоны составляет от 1—2 до 4 см в год [Скоропанов, Барсуков 1974; Белковский, Зоткин 1986; Зайдельман, Шваров 1995 и др.]. Очевидно, ежегодное исчезновение такого слоя торфа возможно при разложении его весьма значительной массы — соответственно от 20—40 до 80 т/га (при плотности сложения  $0,2 \text{ г/см}^3$ ). Проблема уменьшения потерь торфа в результате биохимического разложения и других факторов до сих пор остается дискуссионной, а способы защиты осушенных торфяных почв от деградации и разложения весьма неполно используемыми или не применяемыми вообще в современном аграрном производстве на мелиорированных болотных массивах.

В этой главе предпринята попытка оценить биологическую активность осушенных низинных торфяных почв в условиях черной, смешанной и покровной песчаной культур земледелия. Различные виды внесения песка как защитные мероприятия в настоящее время получили широкое распространение в практике земледелия на осушенных массивах за рубежом [Gottlich, Kuntze, 1980; Kuntze, Vetter 1980; Kuntze 1987]. В России эти способы обработки торфяных почв практически не используются. Тем не менее изучение их воздействия на торфяные почвы, в частности, на сработку торфа, весьма актуально, поскольку эти приемы обычно рассматриваются как эффективные и, часто, единственные способы защиты органических почв от деградации, как действенные факторы «структурной» мелиорации.

## **5.2. МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ БИОЛОГИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ И БИОХИМИЧЕСКОГО РАЗЛОЖЕНИЯ ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА ТОРФА**

В полевых условиях исследования биологической активности и темпов биохимического разложения органического вещества торфяных почв выполняли на экспериментальном полигоне Окско-Мещерского почвенно-гидрологического стационара.

В ходе работы интенсивность биологических процессов оценивали аппликационными методами (с использованием льяных

полотен и фотопленок) в 3—4-кратной повторности до глубины 80—90 см [Гельцер 1986]. Исследовали целлюлозолитическую, протеолитическую активности и накопление свободных аминокислот на ткани. Концентрацию углекислого газа определяли в пробах воздуха, которые отбирали из медных трубок, заложенных в 2-кратной повторности послойно до глубины 80 см на всех вариантах опыта. Анализ почвенного воздуха проводили на газовом хроматографе 3700. Исследования эмиссии углекислого газа выполняли по методу Штатнова в 3-кратной повторности. При структурно-функциональной характеристике биоценоза пахотных слоев использовали метод мультисубстратного тестирования (МСТ) [Gorlenko, Majorova, Kozevin 1997] и метод стекол обрастания по Холодному с расчетом темпа размножения бактерий по числу микроколоний, учитываемых с помощью люминесцентной микроскопии.

Перед закладкой опыта на варианте черной (обыкновенной) культуры была проведена зондировка торфяной залежи. В полевых условиях для оценки скорости разложения органического вещества торфяных почв был использован метод капсул. С этой целью из разрезов торфяных почв в условиях пескования, покровной песчаной и черной культур земледелия с глубин 10—15, 35—40, 65—70 см были отобраны образцы торфа. После тщательной гомогенизации образцов и получения однородных значений по зольности и влажности торф помещали в капроновые капсулы. Повторность определений по каждому слою — 10-кратная. Массу торфа определяли взвешиванием на технических весах с точностью до 0,01 г. Одновременно определяли влажность и зольность образцов торфа. Капсулы помещали в ниши на стенках разрезов на соответствующие глубины таким образом, чтобы исключить нарушение миграции капиллярной и парообразной влаги. После экспозиции в разрезе в течение 90 суток капсулы извлекали, взвешивали, определяли новые значения влажности и зольности торфа и рассчитывали потери органического вещества в результате биохимического разложения. Расчет потерь органического вещества выполняли по разнице абсолютно сухой массы торфа в начале и в конце опыта с введением соответствующих поправок на влажность и зольность торфа.

Эмиссию  $\text{CO}_2$  в атмосферу с поверхности осушенных торфяных почв определяли абсорбционным методом Штатнова. В качестве поглотителя использовали 0,01 н. раствор  $\text{NaOH}$ . После 30-минутной экспозиции остаток щелочи оттитровывали 0,01 н.



НСІ по фенолфталеину. Учетную площадь (196 см<sup>2</sup>) изолировали от атмосферы пластмассовым колпаком. Повторность — трехкратная.

### **5.3. БИОЛОГИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ ТОРФЯНЫХ ПОЧВ НА ФОНЕ РАЗНЫХ СПОСОБОВ ВНЕСЕНИЯ ПЕСКА**

Вегетационный период 1995 г. в течении опыта характеризовался следующими погодными условиями. Среднесуточная температура воздуха за период май—август составила 18,6 °С (выше средне-многолетней). Год исследования оказался весьма сухим. Осадки за теплый период составили 154,3 мм (или 61,3% от среднемного-летней суммы). Вегетационный период 1995 г. в целом можно характеризовать как теплый и недостаточно влажный, 1996 г. — близкий по погодным условиям к засушливому (рис. 23, 24).

Почвы польдерной системы «Макеевский мыс» в середине июля 1995 г. находились в условиях заметного дефицита влаги. Сброс воды в р. Пра насосными станциями был прекращен из-за снижения грунтовых вод до критических уровней в середине вегетационного периода. Полученные нами в этих условиях данные свидетельствуют о следующем [Зайдельман, Кожевин, Шваров и др. 2001].

#### **5.3.1. ЦЕЛЛЮЛОЗОЛИТИЧЕСКАЯ И ПРОТЕОЛИТИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ ТОРФЯНЫХ ПОЧВ**

Исследования биологической активности в вегетационный период 1995 г. были проведены на трех вариантах опыта до глубины 80—100 см. Срок экспозиции льняных полотен при оценке целлюлозолитической активности составил 18—22 дня. Активность протеолитических ферментов верхней и нижней частей профиля в отдельные периоды исследований значительно различалась, поэтому сроки экспозиции фотопленки в слое 0—40 см находились в пределах 7—11 дней, в слое 40—80 см. — 10—15 дней. Особенности температурного и водного режима в теплый период 1995 г. показаны на рисунках 23 и 24.

Установлено, что наиболее интенсивно биологические процессы протекали в верхней части профиля до глубины 40—50 см (табл. 19, 20). Ниже их напряженность постепенно уменьшалась. Тем не менее весьма часто (особенно на фоне покровной культуры) по

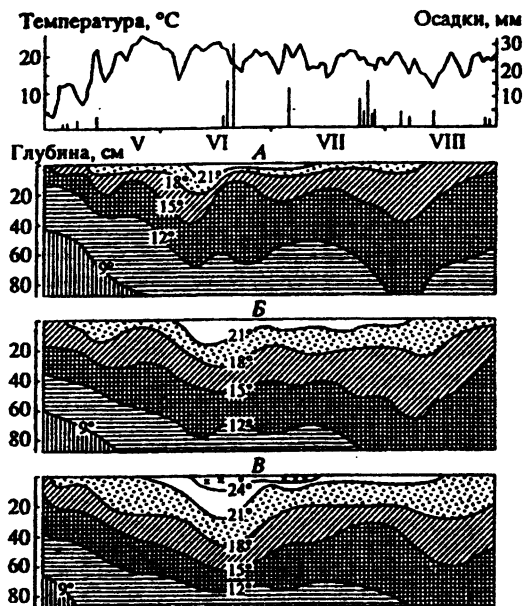


Рис. 23. Хроноизоплеты температуры осушенных торфяных почв. 1995 г. Варианты здесь и на рис. 24: *A* — «черная» культура (контроль); *Б* — пескование (смешанная культура); *В* — покровная (римпауская) культура

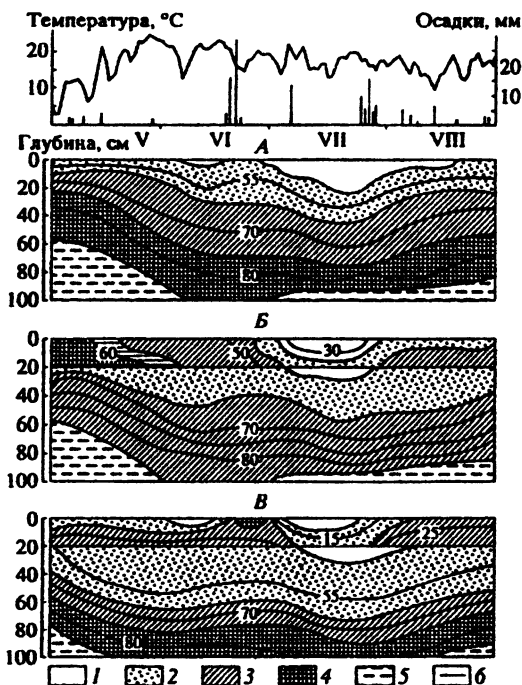


Рис. 24. Категории и хроноизоплеты влажности (% от объема) осушенных торфяных почв. 1995 г. Категории вла- ги: 1 — < 0,7 НВ; 2 — 0,7 НВ— НВ; 3 — НВ—0,9 ПВ; 4 — 0,9 ПВ—ПВ; 5 — грунтовые воды; 6 — нижняя граница па- хотного горизонта

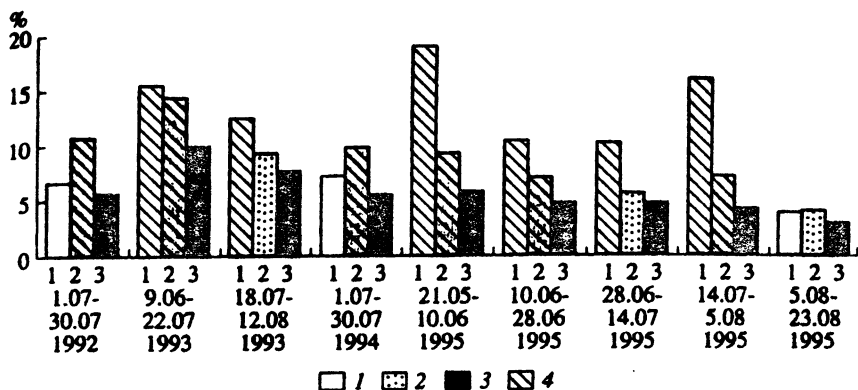


Рис. 25. Среднедекадное разложение льняной ткани в слое 0—40 см в торфяной почве в условиях разных культур земледелия. Условные обозначения: 1 — покровная культура; 2 — пескование; 3 — черная культура (контроль); 4 — выше контроля с вероятностью 0,9

сравнению с контролем наблюдаются резкие (в несколько раз) подъемы целлюлозолитической и протеолитической активности во всех горизонтах почв, обогащенных песком.

На рис. 25 показано влияние пескования и покровной культуры на целлюлозолитическую активность почвы до глубины 40 см в среднем за 4 года исследований. Внесение песка в торфяные почвы достоверно повысило их целлюлозолитическую активность до глубины 90 см практически во все сроки определений. В среднем по отношению к контролю (черной культуре) при доверительной вероятности 0,9 она составила на песковании 150, на покровной культуре — 200 и более %.

Процесс разложения целлюлозы в исследованных почвах вызывают как бактериальные, так и грибные организмы. Отличительной особенностью вариантов с внесением песка являлось интенсивное окрашивание экспонированной ткани продуктами микробного метаболизма. Выраженные грязно-серые разводы и пятна, свидетельствующие о наличии грибов, в основном были приурочены к верхнему 10-сантиметровому слою на вариантах черной и смешанной культур земледелия. Зоны интенсивной бактериальной деятельности были разнообразных цветов (желтые, зеленые, фиолетовые, оранжевые). Наиболее значительно они выражены в пахотных слоях почв с внесенным песком (особенно на покровной культуре), где их развитие чаще всего сопровождалось сильным истончением ткани или полной ее переработкой. При бла-

полотен и фотопленок) в 3—4-кратной повторности до глубины 80—90 см [Гельцер 1986]. Исследовали целлюлозолитическую, протеолитическую активности и накопление свободных аминокислот на ткани. Концентрацию углекислого газа определяли в пробах воздуха, которые отбирали из медных трубок, заложенных в 2-кратной повторности послойно до глубины 80 см на всех вариантах опыта. Анализ почвенного воздуха проводили на газовом хроматографе 3700. Исследования эмиссии углекислого газа выполняли по методу Штатнова в 3-кратной повторности. При структурно-функциональной характеристике биоценоза пахотных слоев использовали метод мультисубстратного тестирования (МСТ) [Gorlenko, Majorova, Kozevin 1997] и метод стекол обрастания по Холодному с расчетом темпа размножения бактерий по числу микроколоний, учитываемых с помощью люминесцентной микроскопии.

Перед закладкой опыта на варианте черной (обыкновенной) культуры была проведена зондировка торфяной залежи. В полевых условиях для оценки скорости разложения органического вещества торфяных почв был использован метод капсул. С этой целью из разрезов торфяных почв в условиях пескования, покровной песчаной и черной культур земледелия с глубин 10—15, 35—40, 65—70 см были отобраны образцы торфа. После тщательной гомогенизации образцов и получения однородных значений по зольности и влажности торф помещали в капроновые капсулы. Повторность определений по каждому слою — 10-кратная. Массу торфа определяли взвешиванием на технических весах с точностью до 0,01 г. Одновременно определяли влажность и зольность образцов торфа. Капсулы помещали в ниши на стенках разрезов на соответствующие глубины таким образом, чтобы исключить нарушение миграции капиллярной и парообразной влаги. После экспозиции в разрезе в течение 90 суток капсулы извлекали, взвешивали, определяли новые значения влажности и зольности торфа и рассчитывали потери органического вещества в результате биохимического разложения. Расчет потерь органического вещества выполняли по разнице абсолютно сухой массы торфа в начале и в конце опыта с введением соответствующих поправок на влажность и зольность торфа.

Эмиссию  $\text{CO}_2$  в атмосферу с поверхности осушенных торфяных почв определяли абсорбционным методом Штатнова. В качестве поглотителя использовали 0,01 н. раствор NaOH. После 30-минутной экспозиции остаток щелочи оттитровывали 0,01 н.

НСІ по фенолфталеину. Учетную площадь (196 см<sup>2</sup>) изолировали от атмосферы пластмассовым колпаком. Повторность — трехкратная.

### **5.3. БИОЛОГИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ ТОРФЯНЫХ ПОЧВ НА ФОНЕ РАЗНЫХ СПОСОБОВ ВНЕСЕНИЯ ПЕСКА**

Вегетационный период 1995 г. в течении опыта характеризовался следующими погодными условиями. Среднесуточная температура воздуха за период май—август составила 18,6 °С (выше средне-многолетней). Год исследования оказался весьма сухим. Осадки за теплый период составили 154,3 мм (или 61,3% от среднемного-летней суммы). Вегетационный период 1995 г. в целом можно характеризовать как теплый и недостаточно влажный, 1996 г. — близкий по погодным условиям к засушливому (рис. 23, 24).

Почвы польдерной системы «Макеевский мыс» в середине июля 1995 г. находились в условиях заметного дефицита влаги. Сброс воды в р. Пра насосными станциями был прекращен из-за снижения грунтовых вод до критических уровней в середине вегетационного периода. Полученные нами в этих условиях данные свидетельствуют о следующем [Зайдельман, Кожевин, Шваров и др. 2001].

#### **5.3.1. ЦЕЛЛЮЛОЗОЛИТИЧЕСКАЯ И ПРОТЕОЛИТИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ ТОРФЯНЫХ ПОЧВ**

Исследования биологической активности в вегетационный период 1995 г. были проведены на трех вариантах опыта до глубины 80—100 см. Срок экспозиции льняных полотен при оценке целлюлозолитической активности составил 18—22 дня. Активность протеолитических ферментов верхней и нижней частей профиля в отдельные периоды исследований значительно различалась, поэтому сроки экспозиции фотопленки в слое 0—40 см находились в пределах 7—11 дней, в слое 40—80 см. — 10—15 дней. Особенности температурного и водного режима в теплый период 1995 г. показаны на рисунках 23 и 24.

Установлено, что наиболее интенсивно биологические процессы протекали в верхней части профиля до глубины 40—50 см (табл. 19, 20). Ниже их напряженность постепенно уменьшалась. Тем не менее весьма часто (особенно на фоне покровной культуры) по

гоприятных гидротермических условиях окрашивание полотна наблюдалось здесь до глубины 30—40 см.

В пахотных слоях наблюдалась корреляция между целлюлозолитической активностью и накоплением свободных аминокислот на ткани. Коэффициент корреляции — 0,7—0,8.

Максимальная напряженность биологических процессов была приурочена к концу мая—июня и к концу июля — началу августа. Последнее связано с высокими значениями температуры и влажности почвы в эти периоды. Благоприятные гидротермические условия оказали заметное влияние на биологические процессы в почвах с внесенным песком. В конце мая-июне за 20 дней экспозиции разложение льняного полотна в слое 0—10 см на контроле не превышало 15%, на песковании оно достигло 30%, на покровной культуре — 51%. Накопление свободных аминокислот составило соответственно — 76, 116, 262 мкг лейцина/г ткани. Протеолитическая активность, определенная по степени разложения желатины за 10 дней, составила соответственно 41, 72, 96%. Интенсивная засуха в июле и уменьшение прогрева в августе способствовали подавлению биологических процессов во всех почвах. При этом исследованные показатели в верхних горизонтах почв с внесением песка опускались до контрольных величин (или ниже). Однако в нижних частях профиля различия с контролем, как правило, сохранялись. На покровной культуре это наблюдалось по всем показателям, на песковании — по протеолитической активности и накоплению свободных аминокислот.

В целом полученные данные показали, что применение пескования в течение большей части вегетационного периода усиливало накопление аминокислот и процессы разложения целлюлозы. При благоприятном сочетании высоких температур и достаточном увлажнении (конец мая—июнь) различия в целлюлозолитической активности могут увеличиться, особенно в слое 0—10 см. Одновременно по сравнению с контролем наблюдается значительное повышение протеолитической активности и интенсивное накопление аминокислот до глубины 80 см.

Наиболее существенным является то, что интенсивная целлюлозолитическая активность была обнаружена нами не только в поверхностных (0—30 см), но и в глубоких (30—50, 50—70, 70—90 см) слоях почвенного профиля. Как правило, это отчетливо можно наблюдать в условиях покровной культуры. Однако и на фоне пескования по сравнению с контролем почти по всем срокам определений имели место длительные периоды повышенной в 1,5—3,5 и

**Целлюлозолитическая активность  
в профиле торфяной почвы на фоне разных культур земледелия, 1995 г.  
(% разложения льняного полотна в расчете на 20 дней экспозиции)**

| Культура       | Черная          | Смешанная<br>(пескование) |     | Покровная       |     | Смешан-<br>ная | Покров-<br>ная |
|----------------|-----------------|---------------------------|-----|-----------------|-----|----------------|----------------|
| глубина,<br>см | M <sub>ср</sub> | M <sub>ср</sub>           | T W | M <sub>ср</sub> | T W | % от контроля  |                |
| 21.05—10.06    |                 |                           |     |                 |     |                |                |
| 0—20           | 14,2            | 26,7                      | + + | 48,2            | + + | 188            | 339            |
| 20—30          | 9,8             | 16,9                      | + + | 26,3            | + + | 173            | 268            |
| 30—50          | 7,3             | 7,9                       | — — | 21,8            | + + | 108            | 300            |
| 50—80          | 6,4             | 5,0                       | — — | 12,8            | + + | 78             | 201            |
| 10.0—28.06     |                 |                           |     |                 |     |                |                |
| 0—20           | 14,2            | 19,1                      | + + | 23,9            | + + | 134            | 168            |
| 20—30          | 7,1             | 11,4                      | + + | 19,1            | + + | 160            | 270            |
| 30—50          | 5,6             | 5,9                       | — — | 11,7            | + + | 105            | 210            |
| 50—80          | 2,9             | 3,7                       | — — | 5,4             | + + | 127            | 185            |
| 28.06—14.07    |                 |                           |     |                 |     |                |                |
| 0—20           | 14,0            | 14,3                      | — — | 18,2            | — — | 102            | 130            |
| 20—30          | 6,5             | 10,4                      | — — | 25,1            | + + | 160            | 383            |
| 30—50          | 2,9             | 4,3                       | — — | 15,8            | + + | 148            | 542            |
| 50—80          | 1,4             | 2,1                       | — — | 7,9             | + + | 150            | 563            |
| 14.07—5.08     |                 |                           |     |                 |     |                |                |
| 0—20           | 11,2            | 20,9                      | + + | 45,2            | + + | 187            | 403            |
| 20—30          | 5,1             | 10,1                      | + + | 25,4            | + + | 198            | 496            |
| 30—50          | 5,4             | 6,9                       | — — | 13,2            | + + | 128            | 244            |
| 50—80          | 2,9             | 4,7                       | — — | 7,4             | + + | 162            | 252            |
| 5.08—23.08     |                 |                           |     |                 |     |                |                |
| 0—20           | 7,0             | 10,1                      | — — | 10,9            | — — | 144            | 156            |
| 20—30          | 5,1             | 5,9                       | — — | 5,4             | — — | 116            | 106            |
| 30—50          | 4,7             | 5,9                       | — — | 4,1             | — — | 121            | 87             |
| 50—80          | 3,3             | 2,8                       | — — | 3,1             | — — | 85             | 94             |
| 21.05—10.06    |                 |                           |     |                 |     |                |                |
| 0—20           | 81,7            | 117,9                     | + + | 212,3           | + + | 144            | 260            |
| 20—30          | 44,0            | 73,1                      | + + | 112,7           | + + | 166            | 256            |
| 30—50          | 26,4            | 31,9                      | — — | 69,4            | + + | 121            | 262            |
| 50—70          | 16,7            | 20,2                      | — — | 28,8            | + + | 121            | 172            |
| 70—90          | 7,8             | 21,1                      | + + | 16,3            | + + | 270            | 209            |

| Культура       | Черная          | Смешанная<br>(пескование) |   | Покровная |                 |   | Смешанная | Покровная     |
|----------------|-----------------|---------------------------|---|-----------|-----------------|---|-----------|---------------|
| глубина,<br>см | M <sub>ср</sub> | M <sub>ср</sub>           | T | W         | M <sub>ср</sub> | T | W         | % от контроля |
| 10.06—28.06    |                 |                           |   |           |                 |   |           |               |
| 0—20           | 99,6            | 150,3                     | + | +         | 186,1           | + | +         | 151           |
| 20—30          | 50,3            | 90,1                      | + | +         | 172,0           | + | +         | 179           |
| 30—50          | 38,0            | 53,4                      | + | +         | 151,8           | + | +         | 141           |
| 50—70          | 24,4            | 27,3                      | — | —         | 92,6            | + | +         | 119           |
| 70—90          | 9,1             | 11,2                      | — | —         | 32,0            | + | +         | 123           |
| 28.06—14.07    |                 |                           |   |           |                 |   |           |               |
| 0—20           | 155,4           | 10,9                      | + | +         | 169,8           | — | —         | 70            |
| 20—30          | 78,6            | 52,7                      | + | +         | 101,9           | — | —         | 67            |
| 30—50          | 39,9            | 22,9                      | + | +         | 54,9            | — | —         | 57            |
| 50—70          | 17,9            | 15,4                      | — | —         | 65,0            | + | +         | 86            |
| 70—90          | 1,8             | 14,9                      | + | +         | 73,9            | + | +         | 850           |
| 14.07—5.08     |                 |                           |   |           |                 |   |           |               |
| 0—20           | 99,1            | 141,5                     | + | +         | 151,7           | + | +         | 143           |
| 20—30          | 70,2            | 78,5                      | — | —         | 160,2           | + | +         | 112           |
| 30—50          | 82,3            | 77,5                      | — | —         | 164,2           | + | +         | 94            |
| 50—70          | 61,2            | 57,8                      | — | —         | 118,5           | + | +         | 94            |
| 70—90          | 33,6            | 40,5                      | — | —         | 70,3            | + | +         | 120           |
| 5.08—23.08     |                 |                           |   |           |                 |   |           |               |
| 0—20           | 84,8            | 47,3                      | + | +         | 99,1            | — | —         | 56            |
| 20—30          | 75,9            | 29,7                      | + | +         | 75,7            | — | —         | 39            |
| 30—50          | 19,4            | 21,8                      | — | —         | 30,9            | + | +         | 112           |
| 50—70          | 15,9            | 42,4                      | + | +         | 42,8            | + | +         | 267           |
| 70—90          | 11,1            | 38,9                      | + | +         | 40,9            | + | +         | 350           |

Примечание. Т — тест; W — тест по Уилкоксоу; «+» — есть различия с контролем ( $P = 0,9$ ); «—» — нет различий с контролем ( $P = 0,9$ ).

более раз целлюлозолитической активности торфяных почв в зоне капиллярной каймы на глубинах 70—90 см (табл. 19).

При этом наблюдается высокая интенсивность разложения белка. Здесь на протяжении практически всего периода исследований протеолитическая активность с глубины 50 см, а суммарное накопление аминокислот с глубины 70 см — в несколько раз превышают контроль.



**Среднедекадная протеелитическая активность торфяных почв  
(% разложения желатина), 1995 г.**

| Культура    | Черная          | Смешанная (пескование) |   | Покровная |                 |   | Смешанная | Покровная           |
|-------------|-----------------|------------------------|---|-----------|-----------------|---|-----------|---------------------|
| глубина, см | M <sub>ср</sub> | M <sub>ср</sub>        | T | W         | M <sub>ср</sub> | T | W         | % от контроля       |
| 10.06—20.06 |                 |                        |   |           |                 |   |           |                     |
| 0—20        | 34,9            | 69,2                   | + | +         | 93,8            | + | +         | 198                 |
| 20—30       | 24,7            | 58,3                   | + | +         | 80,7            | + | +         | 237                 |
| 30—40       | 21,2            | 38,4                   | + | +         | 66,6            | + | +         | 181                 |
| 40—50       | 9,4             | 24,1                   | + | +         | 38,6            | + | +         | 258                 |
| 50—80       | 1,6             | 2,1                    | — | —         | 9,9             | + | +         | 131                 |
| 29.06—9.07  |                 |                        |   |           |                 |   |           |                     |
| 0—20        | 48,1            | 73,0                   | + | +         | 30,0            | + | +         | 152                 |
| 20—30       | 39,2            | 72,6                   | + | +         | 39,2            | — | —         | 185                 |
| 30—40       | 20,7            | 32,3                   | + | +         | 31,7            | + | +         | 156                 |
| 40—50       | 7,3             | 8,9                    | — | —         | 19,0            | + | +         | 122                 |
| 50—80       | 0,0             | 3,8                    | + | +         | 7,5             | + | +         | —                   |
| 11.07—22.07 |                 |                        |   |           |                 |   |           |                     |
| 0—20        | 21,7            | 29,3                   | — | —         | 5,7             | + | +         | 135                 |
| 20—30       | 7,6             | 27,9                   | + | +         | 3,3             | + | +         | 367                 |
| 30—40       | 3,0             | 11,9                   | + | +         | 7,3             | + | +         | 398                 |
| 28.07—4.08  |                 |                        |   |           |                 |   |           |                     |
| 0—20        | 76,6            | 41,6                   | + | +         | 49,5            | + | +         | 54                  |
| 20—30       | 44,6            | 69,0                   | + | +         | 62,4            | + | +         | 155                 |
| 30—40       | 1,5             | 27,6                   | + | +         | 33,7            | + | +         | 1,8x10 <sup>3</sup> |
| 28.07—12.08 |                 |                        |   |           |                 |   |           |                     |
| 40—50       | 8,9             | 11,9                   | — | —         | 12,1            | — | —         | 134                 |
| 50—80       | 0,2             | 3,6                    | + | +         | 11,0            | + | +         | 1,7x10 <sup>3</sup> |
| 4.08—12.08  |                 |                        |   |           |                 |   |           |                     |
| 0—20        | 100,0           | 61,3                   | + | +         | 54,6            | + | +         | 61                  |
| 20—30       | 58,2            | 44,7                   | — | —         | 40,6            | + | +         | 77                  |
| 30—40       | 26,6            | 32,6                   | — | —         | 27,9            | — | —         | 122                 |
| 4.08—17.08  |                 |                        |   |           |                 |   |           |                     |
| 40—50       | 10,5            | 11,8                   | — | —         | 9,4             | — | —         | 112                 |
| 50—80       | 1,3             | 6,5                    | + | +         | 5,2             | + | +         | 487                 |
| 12.08—23.08 |                 |                        |   |           |                 |   |           |                     |
| 0—20        | 50,5            | 19,3                   | + | +         | 37,2            | — | —         | 38                  |
| 20—30       | 45,7            | 20,3                   | + | +         | 36,8            | — | —         | 44                  |
| 30—40       | 2,6             | 12,9                   | + | +         | 33,2            | + | +         | 486                 |
| 40—50       | 3,4             | 14,6                   | + | +         | 8,9             | + | +         | 436                 |
| 50—80       | 1,2             | 9,0                    | + | +         | 7,3             | + | +         | 733                 |

Условные обозначения см. табл. 19.

При создании на поверхности торфяной почвы слоя песка мощностью 14—16 см (покровная культура) в течение большей части исследованного периода наблюдается значительное (в 2—4 раза) увеличение целлюлозолитической активности и накопление свободных аминокислот во всем профиле (до глубины 90 см). В отдельные периоды различия увеличивались до 500%.

Протеолитическая активность пахотного слоя в целом близка (а в отдельные периоды меньше) контроля (табл. 20). По-видимому, это связано с очень низким содержанием органического вещества в данном слое, где зольность достигает 90—96%. Однако, как и при песковании, в нижних горизонтах усиление протеолиза достоверно фиксируется в течение всего исследованного периода.

Таким образом пескование и покровная культура оказывают большое влияние на биохимические процессы в торфяных почвах, в частности, на их целлюлозолитическую и протеолитическую активности, что значительно меняет их функциональные характеристики.

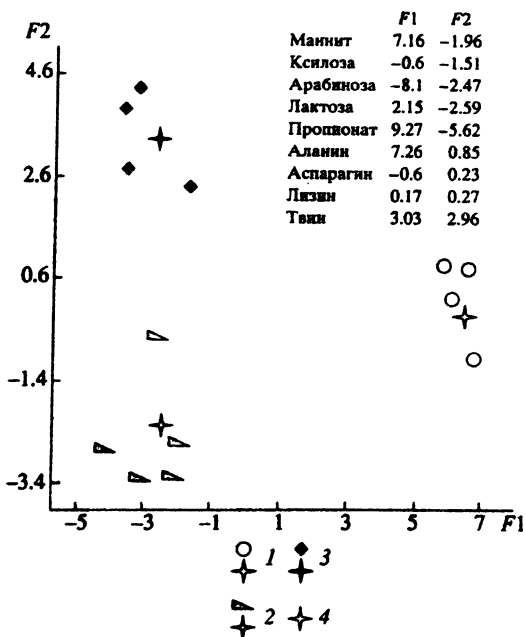
### **5.3.2. МУЛЬТИСУБСТРАТНОЕ ТЕСТИРОВАНИЕ ПОВЕРХНОСТНЫХ ГОРИЗОНТОВ ТОРФЯНЫХ ПОЧВ**

Исследования образцов пахотных слоев методом мультисубстратного тестирования (МСТ) позволили установить значительные различия в спектре ассимиляции субстратов по трем вариантам опыта. В координатах дискриминантных функций произошло четкое разделение центроидов (рис. 26). Их положение по оси F2, разделяющей варианты пескования и черной культуры, свидетельствуют, что при внесении песка значительно повышается интенсивность поглощения микрофлорой углеводов (в частности маннита, ксилозы, лактозы, арабинозы) и органических кислот (пропионовой кислоты). Аналогичное явление наблюдается на покровной культуре. Здесь наблюдается повышенное поглощение маннита, лактозы, пропионовой кислоты, аланина и твина.

Методом прямой люминесцентной микроскопии стекол обростания установлено, что агромеритирующие мероприятия вызывают изменения в структуре микробного сообщества пахотного слоя торфяных почв. После внесения песка доля «активных» микромицетов (гифы с яркой люминесценцией после окрашивания акридином оранжевым на нуклеиновые кислоты) уменьшилась с 13% на черной культуре до 5% на песковании и 9% на покровной культуре. Время генерации бактерий сократилось с 22 суток на черной куль-

**Рис. 26.** Мультисубстратное тестирование образцов поверхностных горизонтов торфяных почв при разных культурах земледелия (дискриминантный анализ).

Условные обозначения: 1 — покровная культура; 2 — пескование; 3 — черная культура (контроль); 4 — центроид



туре до 19 суток на покровной и до 10 суток на песковании. На песковании отмечено также общее увеличение количества бактериальных клеток.

Полученные данные позволяют предполагать, что повышение минерализационной активности в пахотных слоях торфяных почв после проведенной агрономелиорации с внесением песка, возможно, связано с увеличением роли бактериального комплекса в структуре микробного сообщества.

### 5.3.3. ДИНАМИКА УГЛЕКИСЛОГО ГАЗА В ПОЧВЕННОМ ПРОФИЛЕ И ЕГО ЭМИССИЯ В АТМОСФЕРУ

Активизация биохимических процессов разложения органического вещества, наблюдаемая практически во всем профиле почв на вариантах с внесением песка, оказывает существенное влияние на интенсивность продуцирования углекислого газа. В связи с этим на всех вариантах опыта нами были исследованы динамика углекислого газа в почвенном воздухе от поверхности до грунтовых вод и его эмиссия в атмосферу. Эти показатели имеют важное значение для оценки общего баланса углерода в почве.

Наблюдения за вегетационные периоды 1995—1996 гг. позволили обнаружить ряд закономерностей динамики концентраций углекислого газа на торфяных почвах в условиях разных культур земледелия.

В поверхностном слое (0—5 см) концентрации углекислого газа в почвах с внесенным песком близки к контролю и в среднем составили 0,3—0,5%, увеличиваясь после дождей до 1—1,5% (рис. 27). Ниже в пределах пахотных слоев концентрации и запасы углекислого газа на всех культурах земледелия возрастают (табл. 21). При этом на песковании и покровной культуре рост концентрации  $\text{CO}_2$  с глубиной существенно выше, чем на контроле.

Отличительной особенностью почв после внесения песка является значительное превышение концентрации и запасов углекислоты в подпахотных горизонтах над показаниями контроля. Величина различий и область их распространения в профиле почв зависят от гидротермических условий. Наиболее резко они наблюдались во влажные периоды, когда значительно повышались запасы влаги в пахотных слоях. При этом содержание и запасы  $\text{CO}_2$

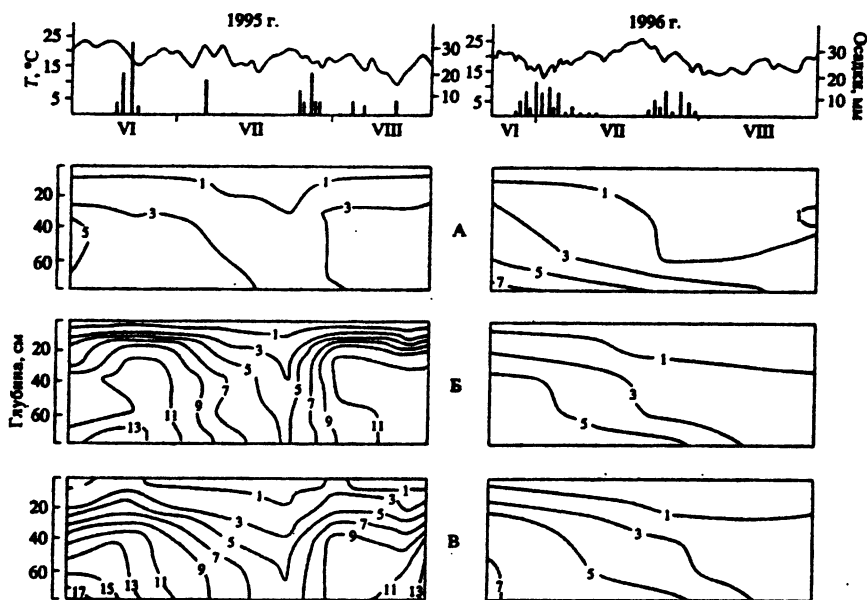


Рис. 27. Влияние пескования и покровной культуры на концентрацию  $\text{CO}_2$  (%) в профиле осушенных торфяных почв. Условные обозначения: А — черная культура (контроль); Б — пескование; В — покровная культура.

интенсивно увеличивались на всех вариантах опыта (рис. 27). Так, в 1995 г. концентрация углекислоты на глубине 20—30 см на вариантах с внесением песка в 2—4 раза превышала показания на контроле. На черной культуре ее величина составляла 3—3,5, на песковании 10—12, на покровной культуре 6—9%. Вниз по профилю различия с контролем увеличивались. На глубине 80 см концентрация углекислоты достигала на покровной культуре 18—14, на песковании — 12—14, на контроле — 5—7%.

Наибольшие количества углекислоты (в кг/га) на черной культуре и песковании накапливались в средней части профиля до глубины 60 см (табл. 21). При этом максимальные значения наблюдались в слое 30—40 см, на покровной культуре — в слое 40—60 (80) см. В среднем за исследованный период 1995 г. общие запасы углекислоты в профиле на контроле составили 102, на песковании 231, на покровной культуре 274 кг/га. Таким образом, полученные данные позволяют признать, что после внесения песка в торфяных почвах происходит увеличение продуцирования углекислого газа.

Повышение влажности подпахотных горизонтов в результате высокого положения уровня грунтовых вод уменьшало запасы и концентрации углекислоты в исследованных почвах. Это явление наблюдалось в июне 1996 г. В этот период на всех вариантах опыта зона с влажностью более 0,9 ПВ находилась на 20—25 см выше, чем в предыдущем году, а прогревание профиля уменьшилось. В результате произошло снижение биологической активности и запасы  $\text{CO}_2$  (кг/га) во всем профиле и в слое 30—80 см уменьшились по сравнению с предыдущим годом на черной культуре в 1,5—1,7 раз, на песковании в 2—3 раза, на покровной культуре в 2,5—3,5 раза.

В засушливые периоды в результате увеличения воздухоносной пористости и газообмена концентрации и запасы углекислоты в исследованных почвах уменьшались по всему профилю. Однако обнаруженные различия по вариантам в основном сохранялись. Так, в июльскую засуху 1995 г. концентрации  $\text{CO}_2$  на вариантах с внесением песка до глубины 20 см не превышали 1—2, а в нижней части профиля 4—5%. На контроле соответствующие величины составили 0,6 и 2%. В августе 1996 г. на фоне высоких значений воздухоносной пористости наблюдалось также увеличение газопроводящей толщи за счет резкого падения уровня грунтовых вод (на 0,5 м ниже прошлогодней отметки). В результате концентрации углекислого газа на всех вариантах опыта до глубины 80 см не

поднимались выше 2—2,5%. Однако и в этом случае общие запасы углекислого газа за 1996 г. составили в среднем на черной культуре 48, на песковании — 64, на покровной культуре — 113 кг/га.

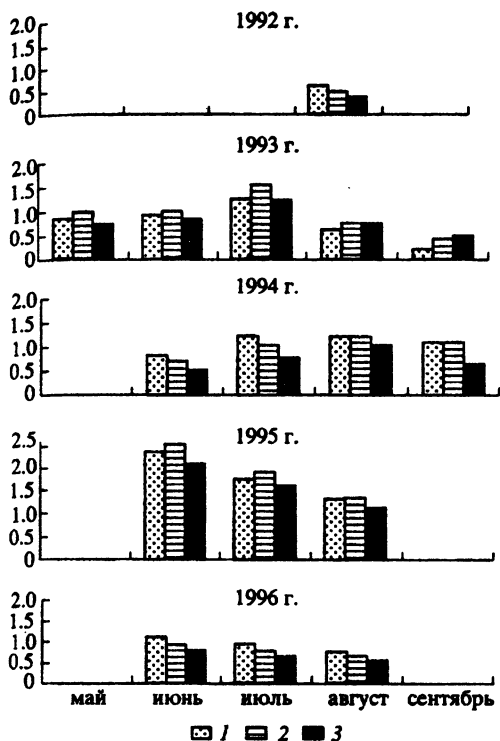
Одновременно была исследована эмиссия углекислого газа на трех вариантах опыта в течение 5 лет. Установлено, что при внесении песка в торфяную почву усиливается интенсивность дыхания почвы и возрастает поступление углерода в атмосферу (рис. 28).

В среднем за все годы исследований потери углерода в результате эмиссии на покровной культуре превысили контроль на 23%, на песковании на 18%. В целом максимальные величины потоков углекислого газа с поверхности наблюдались в июне-июле, когда гидротермические условия оказывались наиболее благоприятными для протекания микробиологических процессов. В начале и в конце вегетационного периода эмиссия всегда была несколько понижена в связи с недостаточным прогревом или (и) избыточным увлажнением. Наблюдается тенденция уменьшения величины эмиссии и в периоды длительного иссушения почвы (август 1992, 1993, июль-август 1996 годов).

Динамика эмиссии диоксида углерода за вегетационные периоды 1995—1996 гг. также подтверждает общие закономерности, полученные нами ранее.

За исследованный период 1995 г. суммарные потери органического вещества торфа по объему эмиссии составили на покровной культуре 113%, на песковании 120% от контроля. Максимальная эмиссия наблюдалась в июне—июле, что соответствует периоду наиболее интенсивного прогрева. Средняя величина потока в атмосферу в июне составила на покровной культуре 4,2, на песковании — 4,5, на контроле — 3,6 кг/га в час. При этом потери органического вещества торфа (по объему эмиссии) составили соответственно 2,37, 2,55 и 2,10 т/га (рис. 28). Июльская засуха не оказала тормозящего влияния на биологическую активность. Величина эмиссии оставалась высокой до конца июля (в среднем 3,8; 4,2; 3,6 кг/га в час соответственно). В августе величина эмиссии на всех песчаных культурах земледелия уменьшилась в 1,5—2 раза по сравнению с величинами в середине лета, потери органического вещества составили на покровной культуре 1,33, на песковании 1,35, на черной культуре 1,13 т/га. Это связано с замедлением биохимических процессов на фоне растущей влажности и уменьшения температур к концу вегетационного периода.

В 1996 г. суммарные потери органического вещества торфа по объему эмиссии составили на покровной культуре 139, на пескова-



**Рис. 28.** Потери органического вещества в результате эмиссии  $\text{CO}_2$  с поверхности осушенной торфяной почвы в разные годы исследований (т/га).

Условные обозначения: 1 — покровная культура; 2 — пескование; 3 — черная культура (контроль)

нии — 117% от контроля. Максимальные значения потока углекислого газа были зафиксированы в июне, в среднем на покровной культуре они составили 2,40, на песковании — 2,06, на черной культуре — 1,76 кг/га в час. Это определило наибольшие за весь период потери органического вещества — 1,12; 0,94; 0,80 т/га соответственно. К концу июля эмиссия постепенно снизилась по всем вариантам, достигнув в начале августа минимальных за весь период исследований показаний. На покровной культуре они составили 1,7, на песковании — 1,4, на черной культуре — 1,2 кг/га в час. К концу августа на фоне высокой воздухоносной пористости и несколько возросшей концентрации углекислого газа в профиле эмиссия несущественно увеличилась. Это может свидетельствовать о некоторой активизации биологических процессов в результате повышения температуры к концу лета. Потери органического вещества с эмиссией в августе были минимальны за весь период: на покровной культуре — 0,76, на песковании — 0,65, на контроле — 0,56 т/га органического вещества.

Запасы углекислого газа (кг/га) в почвенном воздухе осушенных торфяных почв при разных культурах земледелия за вегетационный период 1995 и 1996 гг.

| ЧЕРНАЯ КУЛЬТУРА |            |            |            |           |            |            |            |            |            |            |           |            |  |
|-----------------|------------|------------|------------|-----------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|-----------|------------|--|
| 1995 г.         |            |            |            |           |            |            | 1996 г.    |            |            |            |           |            |  |
| Глубина, см     | 11<br>июня | 22<br>июня | 28<br>июня | 9<br>июля | 22<br>июля | 31<br>июля | 13<br>авг. | 17<br>авг. | 20<br>июня | 24<br>июля | 8<br>авг. | 21<br>авг. |  |
| 0—5             | 1,9        | 1,2        | 2,3        | 1,8       | 1,3        | 1,7        | 1,5        | 2,2        | 5,0        | 0,8        | 0,5       | 2,1        |  |
| 5—10            | 4,0        | 3,9        | 4,9        | 2,8       | 1,6        | 2,8        | 2,9        | 3,8        | 5,2        | 1,0        | 0,5       | 1,8        |  |
| 10—20           | 13,4       | 19,2       | 18,3       | 10,0      | 4,1        | 9,1        | 8,0        | 10,1       | 16,7       | 2,6        | 1,2       | 3,7        |  |
| 20—30           | 14,2       | 20,1       | 21,5       | 11,8      | 5,3        | 14,9       | 12,0       | 13,9       | 16,6       | 4,0        | 1,3       | 7,4        |  |
| 30—40           | 18,9       | 19,6       | 24,6       | 12,3      | 6,6        | 21,3       | 19,0       | 19,3       | 11,1       | 4,4        | 1,6       | 6,0        |  |
| 40—60           | 42,6       | 40,8       | 44,0       | 25,9      | 12,8       | 35,6       | 33,2       | 35,0       | 22,4       | 7,7        | 5,9       | 9,0        |  |
| 60—80           | 28,2       | 27,3       | 23,6       | 19,1      | 9,3        | 17,2       | 18,1       | 18,9       | 18,4       | 13,2       | 11,9      | 8,8        |  |
| Сумма           | 123,2      | 132,2      | 139,3      | 83,6      | 40,9       | 102,7      | 94,7       | 103,0      | 95,4       | 33,7       | 23,0      | 38,8       |  |

| ПЕСКОВАНИЕ  |            |            |            |           |            |            |            |            |            |            |           |            |  |
|-------------|------------|------------|------------|-----------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|-----------|------------|--|
| Глубина, см | 11<br>июня | 22<br>июня | 28<br>июня | 9<br>июля | 22<br>июля | 31<br>июля | 13<br>авг. | 17<br>авг. | 20<br>июня | 24<br>июля | 8<br>авг. | 21<br>авг. |  |
| 0—5         | 1,4        | 0,9        | 1,1        | 1,8       | 1,5        | 2,4        | 0,6        | 1,0        | 3,9        | 0,3        | 0,7       | 1,6        |  |
| 5—10        | 2,4        | 2,4        | 2,4        | 3,0       | 1,9        | 3,9        | 1,5        | 1,8        | 5,2        | 0,4        | 0,6       | 1,6        |  |
| 10—20       | 14,5       | 21,9       | 24,6       | 14,3      | 6,6        | 19,3       | 9,6        | 8,3        | 13,1       | 1,1        | 1,8       | 3,0        |  |
| 20—30       | 27,6       | 51,5       | 53,2       | 26,4      | 12,1       | 47,9       | 38,0       | 40,0       | 15,7       | 4,6        | 3,5       | 4,2        |  |
| 30—40       | 41,0       | 63,3       | 63,0       | 38,4      | 17,5       | 68,7       | 69,4       | 77,2       | 18,9       | 11,5       | 6,2       | 6,8        |  |
| 40—60       | 70,5       | 81,4       | 89,0       | 65,6      | 36,4       | 96,6       | 96,4       | 108,7      | 31,6       | 20,6       | 16,7      | 16,3       |  |
| 60—80       | 46,8       | 40,2       | 42,6       | 35,4      | 22,8       | 41,8       | 42,0       | 44,5       | 13,6       | 22,8       | 19,0      | 13,1       |  |
| Сумма       | 204,3      | 261,5      | 275,8      | 185,0     | 98,9       | 280,7      | 257,5      | 281,4      | 98,3       | 61,3       | 48,6      | 46,4       |  |



| ПОКРОВНАЯ КУЛЬТУРА |            |            |            |           |            |            |            |            |            |            |           |            |
|--------------------|------------|------------|------------|-----------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|-----------|------------|
| Глубина,<br>см     | 11<br>июня | 22<br>июня | 28<br>июня | 9<br>июля | 22<br>июля | 31<br>июля | 13<br>авг. | 17<br>авг. | 20<br>июня | 24<br>июля | 8<br>авг. | 21<br>авг. |
| 0—5                | 1,4        | 0,9        | 0,7        | 1,2       | 0,8        | 1,3        | 0,5        | 0,9        | 4,4        | 0,8        | 0,6       | 1,4        |
| 5—10               | 2,3        | 2,6        | 1,8        | 1,5       | 0,9        | 1,9        | 0,9        | 1,4        | 4,9        | 0,7        | 0,9       | 1,7        |
| 10—20              | 7,6        | 10,0       | 6,5        | 4,4       | 2,8        | 8,8        | 5,2        | 7,4        | 18,7       | 4,0        | 3,8       | 5,0        |
| 20—30              | 20,1       | 22,2       | 18,8       | 12,4      | 7,2        | 25,3       | 17,9       | 23,4       | 26,1       | 8,6        | 7,2       | 9,4        |
| 30—40              | 45,3       | 56,1       | 45,7       | 26,8      | 16,2       | 48,5       | 36,5       | 52,0       | 24,9       | 13,8       | 14,2      | 17,2       |
| 40—60              | 134,5      | 139,1      | 110,7      | 82,3      | 52,1       | 124,9      | 103,1      | 138,2      | 44,2       | 39,5       | 36,0      | 33,1       |
| 60—80              | 143,6      | 107,6      | 92,1       | 81,5      | 53,7       | 90,4       | 88,7       | 102,0      | 26,5       | 53,3       | 30,8      | 19,0       |
| Сумма              | 354,8      | 338,5      | 276,4      | 210,1     | 133,9      | 301,1      | 252,7      | 325,3      | 149,7      | 120,7      | 93,5      | 86,7       |

В целом общие потери торфа в результате эмиссии за июнь—август 1995 г. составили на черной культуре 4,8, на песковании 5,8, на покровной культуре 5,4 т/га. В 1996 г. — соответственно 2, 2,4 и 2,8 т/га.

Значительное влияние на динамику эмиссии оказывают гидротермические условия (рис. 23, 24).

Так, в 1995 г. значительные изменения интенсивности газообмена в связи с осадками обусловили резко выраженные колебания эмиссионных потоков. Между величиной эмиссии и воздухоносной пористостью нижней части пахотных слоев (глубина 10, 20 см) была установлена прямая зависимость, коэффициент корреляции 0,7—0,9. В 1996 г. в течение всего периода на фоне высокой воздухоносной пористости эмиссия коррелировала с концентрацией  $\text{CO}_2$  по всему профилю. Коэффициент корреляции составил 0,98—0,99.

Таким образом различные направления изучения основных показателей биологической активности осушенных торфяных почв согласно свидетельствуют о том, что внесение песка в поверхностные горизонты, независимо от вида культуры земледелия, всегда сопровождается их четко выраженной интенсификацией. Существенно, что в отличие от распространенного представления о приуроченности этих изменений только к пахотному горизонту, нами установлена интенсификация всех параметров биологической активности во всех горизонтах почвенного профиля — от поверхности до грунтовых вод. Достоверно показано, что после внесения песка существенно возрастает целлюлозолитическая и протеолитическая активности, концентрация диоксида углерода во всех горизонтах почвенного профиля, возрастает общая эмиссия  $\text{CO}_2$  в атмосферу. Это явление, связанное с жизнедеятельностью почвенной микробиоты, находит объяснения в установленных нами в результате стационарных исследований закономерностях трансформации гидротермического режима осушенных торфяных почв после внесения песка. Как следует из полученных данных, песчаные культуры земледелия способствуют оптимизации водного и температурного режимов всех горизонтов почвенного профиля. Последние в свою очередь оказывают благоприятное влияние на условия жизнедеятельности и увеличение численности микробиоты. Об этом, в частности, свидетельствуют и установленное нами сокращение сроков генерации микроорганизмов и увеличение роли бактериального комплекса в структуре микробного сообщества.

Все изложенное свидетельствует о том, что внесение песка в поверхностные слои осушенных торфяных почв не только оптимизирует их гидротермический режим, но и активизирует жизнедеятельность почвенной микробиоты как в верхних, так и во всех слоях почвенного профиля от поверхности до грунтовых вод.

Изложенное позволяет предполагать, что интенсификация биологической активности торфяных почв в условиях песчаных культур земледелия должно иметь своим следствием ускорение процесса распада органического вещества по всему профилю. Однако это предположение, естественно следующее из анализа всей суммы полученных данных, нуждается в дополнительной экспериментальной проверке.

## **БИОХИМИЧЕСКОЕ РАЗЛОЖЕНИЕ ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА ОСУШЕННЫХ ТОРФЯНЫХ ПОЧВ В УСЛОВИЯХ РАЗНЫХ КУЛЬТУР ЗЕМЛЕДЕЛИЯ**

### **6.1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ**

Минерализация органического вещества в значительной мере определяется особенностями термического режима. Внесение песка в пахотный горизонт торфяных почв (пескование) и на его поверхность (покровная культура) определяет формирование мощной тепловой волны, проникающей до грунтовых вод. С этим явлением связаны различия в температурных режимах осушенных торфяных почв в условиях черной культуры и в пескованных вариантах. Так, зона температур выше 15 °С оказывается основной на покровной культуре для всего профиля. На контроле (черная культура) ее ареал практически ограничен пахотным горизонтом (рис. 18, 23).

Изменение температурного режима осушенных торфяных почв в результате внесения песка вызвало значительное уменьшение абсолютной влажности всех слоев почвенного профиля и мощности капиллярной каймы, особенно на покровной культуре. Вместе с тем в их пахотных горизонтах наблюдается увеличение содержания доступной влаги благодаря повышенной зольности (рис. 20, 24).

### **6.2. БИОХИМИЧЕСКОЕ РАЗЛОЖЕНИЕ ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА**

Использованный нами метод капсул позволил максимально приблизить изучение скорости минерализации органического вещества осушенных торфяных почв к естественным условиям и оценить его потери в различных слоях профиля. Установлено, что в условиях полевого эксперимента в максимальной степени минерализация органического вещества выражена в поверхностных слоях торфяных почв, в частности, на глубине 10—15 см. Она составила на вариантах черной культуры 4,1, пескования 5,1, покровной песча-

ной культуры 9,6%. Значительное увеличение интенсивности минерализации органического вещества на покровной песчаной культуре в слое 0—15 см по сравнению с другими вариантами опыта оказалось статистически достоверным при вероятности  $P = 0,90$ . Отмеченные выше результаты объясняются тем, что в условиях покровной песчаной культуры в результате глубокого изменения тепловых свойств поверхностного горизонта наблюдаются более высокие температуры по сравнению с контролем (черной культурой) во всех слоях профиля от поверхности до грунтовых вод. Это подтверждают данные исследований гидротермического режима осушенных торфяных почв в 1992—1995 гг. Независимо от погодных условий эти различия температур между контролем и почвами в условиях смешанной и покровной культур земледелия составляют до 6—8 °С в пахотном горизонте и 2—4 °С на глубине около 70—80 см на протяжении всего вегетационного периода. Поскольку в варианте покровной культуры происходит максимальный прогрев всего профиля, то сумма дневных температур (табл. 22) в июне—августе здесь значительно превышает контроль (черная культура). Вместе с тем в поверхностных слоях покровной культуры формируются более благоприятные условия увлажнения по сравнению с другими вариантами опыта.

Поскольку поверхностные слои торфяных почв в условиях пескования, покровной песчаной и черной культур земледелия резко различаются по водно-физическим свойствам, особенно по вододерживанию, оценка степени их увлажнения оказывается наиболее наглядной при характеристике значений влажности в относительных величинах (% от наименьшей влагоемкости почв). В течение всего вегетационного периода влажность слоя 10—15 см в этом варианте находилась в оптимальных для почвенной биоты пределах — от 85 до 125% НВ (рис. 29). По-видимому, это также способствовало ускоренной минерализации органического вещества торфа. Его меньшая минерализация в поверхностных горизонтах в вариантах черная культура и пескование по сравнению с покровной культурой определяется гидротермическими условиями. По сравнению с последним вариантом поверхностные слои прогревались не столь интенсивно и несколько худшими были условия увлажнения почвы. Запасы доступной влаги были также ниже, чем на покровной культуре. Относительно НВ эти горизонты были значительно суше. Повышенное биохимическое разложение органического вещества в поверхностном горизонте торфяных почв в условиях покровной культуры (9,6%) связано, по-видимому, еще и со

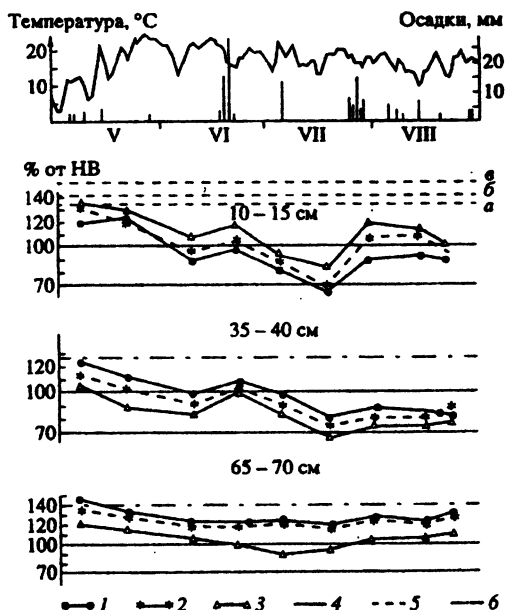


Рис. 29. Послойная динамика запасов влаги (% от НВ) и некоторые гидрофизические параметры осушенных торфяных почв на вариантах разных культур земледелия: 1 — черная; 2 — смешанная (пескование); 3 — покровная; 4 — НВ (100%); 5 — полная влагоемкость пахотного горизонта на вариантах «черная» культура (а), «смешанная» (пескование, б) и «покровная» (в); 6 — полная влагоемкость слоев 35—40 и 65—70 см.

значительно более высокой аэрацией минерального субстрата, содержащего лишь 6% торфа.

В средней части профиля на глубине 35—40 см наблюдались значительные различия его потерь (%) по вариантам опыта. Минимальные потери из слоя 35—40 см произошли на вариантах покровная и черная культуры. В первом случае это связано с высокой влажностью в начале вегетационного периода и минимальным прогревом, во втором — с особенностями гидротермического режима. По сравнению с другими вариантами опыта здесь наблюдался максимальный прогрев почвы, возникал относительный дефицит влаги, запасы которой находились на уровне 0,7—0,85 НВ и оставались значительно ниже, чем в других вариантах. Максимальные потери органического вещества торфа в средней части профиля отмечены в варианте пескование (4,6%). Все полученные значения достоверны по сравнению с контролем при вероятности 0,90.

Нами был установлен второй статистически достоверный максимум разложения органического вещества торфяных почв в варианте покровная культура (4,5%). Он приурочен к открытой капиллярной кайме. Этот слой отличался весьма благоприятной влаж-

ностью (0,9—1,2 НВ) и интенсивным прогревом. В остальных вариантах не установлены достоверные различия по темпам сработки торфа на глубине 65—70 см. Таким образом на песковании наблюдается отчетливая тенденция возрастания потерь от минерализации органического вещества торфа в пахотном горизонте по сравнению с черной культурой и достоверное увеличение их в подпахотном горизонте (35—40 см). В нижних слоях профиля (глубже 65 см) между черной и смешанной (пескование) культурами различия по темпам минерализации органического вещества торфа практически исчезают.

Полученные данные отражают две важные закономерности. Во-первых, пескование и покровная культура усиливают приток тепла во все слои торфяных почв от дневной поверхности до грунтовых вод (табл. 22). Поэтому при прочих равных условиях эти приемы должны ускорять минерализацию органического вещества торфяных почв по сравнению с черной культурой. Во-вторых, разные способы обогащения верхних горизонтов торфяных почв песком оказывают различное влияние на интенсивность теплового потока. При этом на песковании активность минерализации органического вещества максимальна в пахотном и, особенно, в подпахотном горизонтах. В подпахотных слоях варианта «пескование» ее темпы выше в связи с рассмотренными причинами, чем на черной и покровной культурах.

Однако в условиях покровной культуры формируются два максимума биохимической активности: в нижней части пахотного го-

Таблица 22

Сумма дневных температур осушенных торфяных почв  
на фоне разных культур земледелия в полевом опыте

| Глубина, см | Культура земледелия |      |        |            |      |        |           |      |        |
|-------------|---------------------|------|--------|------------|------|--------|-----------|------|--------|
|             | черная              |      |        | пескование |      |        | покровная |      |        |
|             | июнь                | июль | август | июнь       | июль | август | июнь      | июль | август |
| 2           | 780                 | 686  | 534    | 804        | 728  | 572    | 836       | 746  | 580    |
| 10          | 556                 | 518  | 471    | 614        | 567  | 523    | 635       | 534  | 514    |
| 20          | 526                 | 480  | 447    | 571        | 544  | 503    | 590       | 520  | 484    |
| 30          | 478                 | 446  | 445    | 537        | 520  | 591    | 568       | 489  | 487    |
| 50          | 401                 | 429  | 444    | 443        | 469  | 485    | 502       | 461  | 488    |
| 60          | 352                 | 380  | 419    | 378        | 420  | 447    | 406       | 427  | 454    |
| 90          | 307                 | 339  | 376    | 334        | 367  | 406    | 351       | 387  | 424    |

ризонта и в верхней зоне капиллярной каймы. На вариантах «контроль», «пескование» и «покровная культура» минерализация торфа в слое 0—20 см составляла 4,1, 5,1 и 9,6%, в слое 50—80 см — 2,7, 2,5 и 4,5% соответственно.

Таким образом, в нижней части профиля осушенной торфяной почвы на глубине 50—80 см на контроле и песковании величины минерализации торфа оказались весьма близкими и равными 2,5 и 2,7%. Это объясняется, очевидно, тем, что здесь торфяной горизонт находится в условиях постоянного капиллярного насыщения или полного обводнения (закрытая капиллярная кайма). При определении потерь в результате минерализации торфа в контактной зоне на варианте покровной культуры для глубины 80—95 см была установлена величина, равная 2,6%.

Вывод о том, что в нижних слоях профиля осушенных торфяных почв происходит усиление биохимического распада, подтверждает также равное и высокое значение темпа минерализации торфа на вариантах «пескование» и «покровная» культура — 4,6 и 4,5% соответственно.

Таблица 23

**Запасы органического вещества в профиле осушенных торфяных почв на фоне разных культур земледелия в полевом опыте. 1995 г.**

| Культура земледелия.<br>Глубина, см | Плотность,<br>г/см <sup>3</sup> | Зольность,<br>% | Запасы ОВ,<br>т/га |
|-------------------------------------|---------------------------------|-----------------|--------------------|
| Черная (контроль)                   |                                 |                 |                    |
| 0—20                                | 0,31                            | 16,0            | 521                |
| 20—50                               | 0,21                            | 11,7            | 556                |
| 50—80                               | 0,18                            | 8,5             | 494                |
| 0—80                                |                                 |                 | 1571               |
| Пескование*                         |                                 |                 |                    |
| 0—20                                | 0,76                            | 76,0            | 365                |
| 20—50                               | 0,23                            | 16,0            | 579                |
| 50—85                               | 0,18                            | 9,0             | 573                |
| 0—85                                |                                 |                 | 1517               |
| Покровная*                          |                                 |                 |                    |
| 0—20                                | 1,26                            | 94,0            | 151                |
| 20—50                               | 0,26                            | 17,0            | 647                |
| 50—80                               | 0,20                            | 12,0            | 528                |
| 80—95                               | 0,16                            | 8,0             | 221                |
| 0—95                                |                                 |                 | 1547               |

\* Мощность почвенного профиля с учетом вносимых доз песка,



Важное значение имеют сведения об абсолютных величинах потерь органического вещества торфа. Абсолютные запасы органического вещества в почвах трех вариантов опыта в конце 4-го года наблюдений приведены в табл. 23.

Пахотные горизонты торфяных почв в условиях опыта имеют значительные различия по плотности сложения, зольности и запасам органического вещества (ОВ).

Для расчета абсолютных потерь торфа в результате минерализации учитывалось, что первоначальная мощность профиля почвы, равная 80 см, после внесения песка при песковании (600 т/га) увеличилась до 85 см и до 95 см — на покровной культуре (2000 т/га песка). В слоях такой мощности для каждого варианта опыта были рассчитаны запасы органического вещества (табл. 24).

Анализ валовых запасов органического вещества и скорости их сработки (по капсулам) в профиле осушенных торфяных почв выявил тенденцию более быстрого их снижения при внесении различных доз песка. Расчеты потерь за вегетационный период по слоям и в целом по профилю подтверждают эту тенденцию (табл. 24).

Таблица 24

**Потери органического вещества (т/га) осушенными торфяными почвами на фоне разных культур земледелия в полевом опыте (вегетационный период 1995 г.)**

| Глубина, см                            | Потери органического вещества |
|----------------------------------------|-------------------------------|
| <b>Черная культура (контроль)</b>      |                               |
| 0—20                                   | 21                            |
| 20—50                                  | 14                            |
| 50—80                                  | 13                            |
| 0—80                                   | 48                            |
| <b>Пескование (смешанная культура)</b> |                               |
| 0—20                                   | 19                            |
| 20—50                                  | 27                            |
| 50—85                                  | 14                            |
| 0—85                                   | 60                            |
| <b>Покровная (римпауская) культура</b> |                               |
| 0—20                                   | 15                            |
| 20—50                                  | 13                            |
| 50—80                                  | 24                            |
| 80—95                                  | 6                             |
| 0—95                                   | 58                            |

Пескование и покровная песчаная культура земледелия, активизируя гидротермический режим, создают более благоприятные условия для роста и развития сельскохозяйственных растений. Одновременно эти приемы повышают биохимическую активность почв, что ведет к усилению минерализации их органического вещества.

Исследования интенсивности биохимического разложения органического вещества осушенных торфяных почв в условиях разных культур земледелия методом капроновых капсул были продолжены в 1996 г. Эти наблюдения подтвердили установленные в 1995 г. закономерности изменения темпов разложения органической массы торфяных почв после внесения песка. Отличия этого года заключались лишь в том, что в сухом 1996 году при более глубоком положении грунтовых вод происходила интенсификация процесса распада. Это наиболее отчетливо просматривалось в условиях смешанной культуры земледелия. По отношению к контролю различия составили 55% (табл. 25).

Таблица 25

Послойные и общие потери (за год) органического вещества (т/га) осушенными торфяными почвами в условиях полевого опыта. Рязанская Мещера. Пolder «Макеевский мыс», 1995—1996 гг. ( $n = 10$ ,  $P = 0,9$ )

| Культуры земледелия                                             |      |                      |      |                      |      |
|-----------------------------------------------------------------|------|----------------------|------|----------------------|------|
| черная                                                          |      | смешанная            |      | покровная            |      |
| 1995                                                            | 1996 | 1995                 | 1996 | 1995                 | 1996 |
| <i>слой 0—20 см</i>                                             |      |                      |      |                      |      |
| 21                                                              | 18   | 19                   | 39   | 14                   | 16   |
| <i>слой 20—50 см</i>                                            |      |                      |      |                      |      |
| 14                                                              | 17   | 27                   | 22   | 14                   | 16   |
| <i>слой 50—80 см</i>                                            |      | <i>слой 50—85 см</i> |      | <i>слой 50—80 см</i> |      |
| 13                                                              | 16   | 14                   | 18   | 24                   | 26   |
|                                                                 |      |                      |      | <i>слой 80—90 см</i> |      |
|                                                                 |      |                      |      | 6                    | 6    |
| <i>слой 0—80 см</i>                                             |      | <i>слой 0—85 см</i>  |      | <i>слой 0—95 см</i>  |      |
| 48                                                              | 51   | 60                   | 79   | 58                   | 64   |
| <i>Потери органического вещества торфа, % к черной культуре</i> |      |                      |      |                      |      |
| 100                                                             | 100  | 125                  | 155  | 121                  | 125  |

Полученные данные подтверждают и прямые расчеты скорости минерализации, выполненные на основе анализа изменения запасов органического вещества в торфяных почвах за 3 года. В начале 1993 г. он был равен 1700 т/га, а в 1995 г. эти запасы по вариантам были равны соответственно 1571, 1517 и 1547 т/га (табл. 23). Разница составила 129, 183 и 153 т/га за 3 года или 43, 61 и 51 т/га за год. Эти цифры весьма близки к потерям, рассчитанным методом капсул (табл. 25).

Достоверность полученных результатов подтверждает повторное (в 1991 и 1995 гг.) зондирование торфяной залежи на контрольном участке (черная культура). Установлено (рис. 30), что мощность торфяной залежи, сработанной за этот период на полевом участке черной культуры, по данным зондирования в целом соответствовала потере органического вещества торфа, определенной методом капсул [Zaidelman, Shwarov 2000].

Из результатов зондирования следует, что под влиянием действующих факторов ежегодные потери от минерализации торфяной почвы на черной культуре земледелия составила в год 2 см (такая сработка возможна в том случае, если под влиянием биохимических факторов разрушается 40 т/га органического вещества торфа при исходной плотности сложения  $0,2 \text{ т/м}^3$ ).

Результаты исследований позволяют прежде всего подтвердить, что обнаруженное нами ранее явление глубокой трансформации гидротермического режима всех горизонтов профиля осушенных торфяных почв от поверхности до грунтовых вод находится в прямой зависимости от массы внесенных песчаных добавок в их поверхностные горизонты [Зайдельман, Рыдкин, Агарков 1993; Зайдельман, Шваров 1995].

Песчаные добавки способствуют интенсификации биохимического распада органического вещества на фоне нарастания температуры. Однако это увеличение возможно при оптимальном увлажнении. Вместе с тем повышение температуры может сопровождаться иссушением почв и снижением влажности ниже 0,70 НВ, т. е. ниже

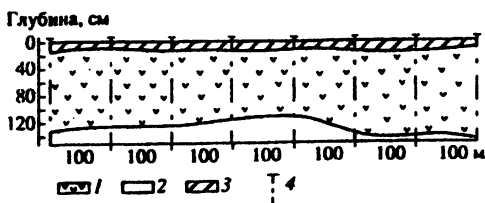


Рис. 30. Изменение мощности осушенной торфяной почвы на массиве «черной культуры» земледелия по данным зондирования 1991 и 1995 гг.

1 — торф; 2 — оглеенный песок; 3 — мощность сработанной толщи торфа за 4 года; 4 — пункты зондирования.

порога, за которым происходит торможение процессов разложения. В этой связи следует подчеркнуть, что ряд авторов, признавая интенсификацию разложения органического вещества при внесении песка в пахотный горизонт, тем не менее полагают, что обогащение минеральной массой верхнего слоя в целом существенно снижает распад органического вещества. Бамбалов [1984], однако, справедливо отмечал, что «сведения о влиянии минеральных добавок на баланс органического вещества немногочисленны и неоднозначны» (с. 65). Наши наблюдения позволяют сделать следующие заключения. Вторичный гидротермический режим торфяных почв зависит от способа внесения песка в их поверхностные горизонты. После пескования и создания покровной культуры происходит глубокое прогревание всех горизонтов почвенного профиля и абсолютная потеря влаги. Оно нерезко выражено на фоне пескования и наблюдается весьма отчетливо в пахотном горизонте покровной культуры.

Однако абсолютные потери органического вещества из пахотных горизонтов после внесения песка в целом меньше, чем на контроле, из-за значительного содержания инертной кварцевой массы. Они составили в год на черной, смешанной и покровной культурах соответственно 21, 19, 15 т/га. В более глубоких слоях почвенного профиля на варианте смешанной культуры (пескование) обнаружен максимум распада органического вещества на глубине 20—50 см (27 т/га). На контроле и покровной культуре потери органического вещества из этого слоя составили 14 и 13 т/га (табл. 24). Относительно невысокие потери органического вещества из подпахотного горизонта на варианте покровной культуры объясняются его глубоким иссушением и пониженной интенсивностью разложения торфа (2,2%). На глубине 50—80 см температурный и водный режимы почв в условиях черной и смешанной (пескование) культур оказываются весьма близкими. Поэтому и потери органического вещества здесь практически тождественны (соответственно 13 и 14 т/га).

Вместе с тем на покровной культуре в зоне капиллярной каймы из-за одновременного сочетания высокого прогревания и оптимальной влажности почв (рис. 23, 24) появляется второй пик распада органического вещества. В слое 50—80 см потери составили 24 т/га (табл. 24). Можно предполагать, что условия для интенсивного разложения торфа на покровной культуре в нижней части профиля сохраняются на протяжении значительно более длительного периода по сравнению с черной культурой. В пользу этого сви-



Рис. 31. Изменение воздухоносной пористости, динамика влажности (на глубине 80 см) и грунтовых вод осушенных торфяных почв на черной и покровной культурах в 1995 г. Объемная влажность: 1 — черная культура; 2 — покровная культура. УГВ: 3 — черная культура; 4 — покровная культура; 5 — 10% воздухоносной пористости; 6 — полная влагоемкость

детельствует следующее обстоятельство. Если признать граничным значением воздухоносной пористости, ниже которой возникает анаэробная обстановка, ослабевает или прекращается разложение торфа, равным 10%, то в зоне капиллярной каймы на покровной культуре, как следует из рис. 31, условия для интенсивного разложения торфа сохраняются в теплый период на 2—3 мес. дольше, чем на черной культуре. В контактном слое почвы на варианте покровной культуры на глубине 80—95 см потери торфа оказались минимальными — 6 т/га.

Изложенное показывает, что независимо от способа пескования, всегда по сравнению с черной культурой происходит интенсификация темпов разложения органического вещества торфа на массивах осушения.

Таким образом, внесение песка в поверхностные слои торфяных почв или создание песчаного пахотного горизонта вызывает повышение температуры всех горизонтов их почвенного профиля. Это приводит к закономерному снижению его влажности. В результате резко усиливается аэрация профиля. Возникают благоприятные условия для активной жизнедеятельности аэробных микроорганизмов, вызывающих ускоренное разложение органического вещества торфа и образование углекислого газа, нитратов и воды. В почвах и в грунтовых водах появляются значительные массы нитратов. В конечном итоге темпы разложения органического вещества увеличиваются на 20—50 и более процентов (табл. 25) по сравнению с контролем. В этой связи актуален вопрос о том, почему внесение песка улучшает условия сельскохозяйственного производства и на определенном отрезке времени способствует суще-

ственному увеличению урожая. В значительной мере это объясняется тем, что ускоренный распад торфа сопровождается одновременным выбросом в почвенный раствор, в атмосферу и в грунтовой поток значительной массы нитратов и других соединений и элементов питания растений. Однако очевидно, что этот процесс не беспределен. Что же следует предпринять? Отказаться от использования песчаных культур или применять эти приемы, зная, что они будут постоянным фактором ускоренного разложения органики? По нашему мнению защищать торфяные почвы с помощью покровной и смешанной культур необходимо. Но торфяные почвы следует использовать преимущественно для размещения многолетних трав (культурных сенокосов, пастбищ), корневые системы которых обогащают профиль торфяной почвы органическим веществом (у полевых культур корни составляют лишь 10—20% от наземной массы, у трав — до 70%). Одновременно необходимо поддерживать такой уровень залегания грунтовых вод, при котором создается и сохраняется луговой тип водного режима. Он обеспечивает поступление в поверхностные горизонты осушенных торфяных почв капиллярной влаги. На торфяных почвах, кроме того, целесообразно применение не только минеральных, но и органических удобрений, производить запарку соломы и пожнивных остатков. Все это позволит в конечном итоге сбалансировать расход углерода.

Если эти условия будут выполнены, осушенные торфяные низинные почвы удастся сохранить на длительный период и они смогут повысить их плодородие. В противном случае пескование окажется причиной их ускоренной деградации. Впрочем, тот же результат будет иметь место и при многолетнем использовании в условиях черной культуры, при размещении на торфяных почвах полевых и особенно пропашных культур. С тем лишь дополнением, что такие территории будут находиться постоянно в пожароопасном состоянии.

В связи с изложенным следует остановиться на климатическом аспекте рассматриваемой проблемы. Известно, что диоксид углерода вносит основной вклад в парниковый эффект, определяющий глобальное потепление. На долю углекислого газа приходится около 55% общего вклада всех газов в этот процесс.

Основными источниками поступления в атмосферу  $\text{CO}_2$  считают сжигание ископаемого топлива (77%) и леса (23%). Значение же органического вещества почвы и особенно огромных масс торфа на земной поверхности в продуцировании  $\text{CO}_2$  слабо исследо-

вано. Вместе с тем, по подсчетам специалистов из Института лесоведения РАН и других исследователей, торфяные почвы России содержат 97—133 млрд т углерода, что в пересчете на  $\text{CO}_2$  дало бы 355—486 млрд т диоксида углерода [Вомперский, Иванов, Цыганова и др 1994; Heikurainen 1964 и др.].

Эти величины сопоставимы с современным содержанием  $\text{CO}_2$  в атмосфере. Разрушение существующего огромного резервуара органического вещества в России может иметь весьма серьезные последствия для климата планеты. Торфяные почвы и торфяные залежи в естественном состоянии представляют огромные резервуары «стока» углерода, непрерывно растущие во времени. Их поддержание в стабильном состоянии — одна из актуальных проблем защиты окружающей среды.

Все это означает, что если удастся сохранить осушенные торфяные почвы, они не станут серьезным фактором опасной эмиссии диоксида углерода в атмосферу.

### **6.3. ПОТОКИ ДИОКСИДА УГЛЕРОДА В ОСУШЕННЫХ ТОРФЯНЫХ ПОЧВАХ**

Рассмотренные выше данные заслуживают внимания еще и потому, что раскрывают общие закономерности формирования потоков  $\text{CO}_2$  на осушенных торфяных массивах. Они позволяют обратить внимание на одно ранее неизвестное явление, сущность которого заключается в следующем [Зайдельман, Шваров 2001].

Обычно полагают, что потеря углерода происходит в процессе пропорциональной эмиссии  $\text{CO}_2$  в атмосферу, причем чем интенсивнее разложение, тем значительнее эмиссионный поток, т. е. усиливается «дыхание» почвы. Однако полученные нами данные позволяют сделать иные выводы (табл. 27). Во-первых, если рассчитать потери органического вещества торфа по периодам суточных максимальных потерь на 13—14 ч дня и интерполировать эти потери на весь цикл суточных наблюдений, т. е. по явно завышенным параметрам, то и тогда оказывается, что эмиссионный поток в атмосферу приводит к потере углерода на один-два порядка меньше, чем это можно было бы ожидать на основе анализа темпов разложения органического вещества, выполненного методом капсул. Так, возможные потери органического вещества торфа за счет эмиссии в атмосферу не превышали на черной, смешанной и покровной культурах соответственно 3,38, 4,11 и 3,87 т/га. В то

лишь 1/10 часть углерода расходуется на эмиссию в атмосферу. На основе полученных данных можно предполагать, что расход углерода связан с действием иного механизма. Именно, основная часть освободившегося углерода движется с почвенным воздухом по градиенту температур не в атмосферу, а вниз по почвенному профилю к холодному потоку грунтовых вод и растворяется в нем.

По-видимому, механизм этого явления связан с тем, что в рассматриваемых почвах в теплый период года всегда существует резко выраженный перепад температур, при котором поток  $\text{CO}_2$  направлен, в основном, не в атмосферу, а вниз, к зеркалу грунтовых вод, температура которых летом не превышает 8—9 °С. Чем ниже температура воды, тем выше растворимость в ней углекислого газа.

Таблица 27

Эмиссия  $\text{CO}_2$  (кг/ч/га) в атмосферу с поверхности осушенных торфяных почв на фоне разных культур земледелия (июнь—август 1995 г.) на 13 часов

| Дата<br>определения                                                  | Культура земледелия |            |           |
|----------------------------------------------------------------------|---------------------|------------|-----------|
|                                                                      | черная              | пескование | покровная |
| 23,05                                                                | 2,70                | 3,44       | 3,16      |
| 03,06                                                                | 3,60                | 4,20       | 3,90      |
| 23,06                                                                | 2,94                | 3,78       | 3,48      |
| 25,06                                                                | 3,66                | 4,80       | 4,50      |
| 27,06                                                                | 4,14                | 5,02       | 4,76      |
| 06,07                                                                | 3,66                | 4,26       | 3,90      |
| 11,07                                                                | 3,36                | 3,96       | 3,44      |
| 23,07                                                                | 3,72                | 4,28       | 3,96      |
| 26,07                                                                | 2,58                | 3,16       | 3,26      |
| 30,07                                                                | 2,44                | 3,36       | 3,30      |
| 15,08                                                                | 2,52                | 2,88       | 2,94      |
| 22,08                                                                | 2,20                | 2,50       | 2,36      |
| Распад торфа*, т/га<br>(по объему эмиссии $\text{CO}_2$ в атмосферу) |                     |            |           |
|                                                                      | 3,38                | 4,11       | 3,87      |

\* При расчете распада торфа в результате эмиссии  $\text{CO}_2$  в атмосферу промежуточные даты учитывались по интерполяции на фоне суточной динамики



При постоянном движении грунтовых вод по уклону обеспечивается непрерывный отток диоксида углерода за пределы мелиорируемого массива. В пользу такого суждения свидетельствует, в частности, и тот факт, что грунтовые воды осушенного массива отличаются по нашим данным более низкими значениями pH и существенно (на порядок) более высокой кислотностью, титруемой по фенолфталеину 0,01 н. раствором NaOH, по сравнению с грунтовыми водами водосборной площади, образованной минеральными почвами. Поэтому при построении общего баланса углерода особое значение может иметь статья расхода, связанная с миграцией диоксида углерода в грунтовые воды. При низких температурах грунтовые воды способны поглотить весь объем угольной кислоты, возникающий при распаде органического вещества торфа. Следует обратить внимание и на то обстоятельство, что почвенное «дыхание» не отражает темпов разложения органического вещества торфяных почв. Оно лишь свидетельствует о диффундировании части угольного газа в атмосферу.

В результате применения разных видов агро-мелиорации может возрастать эмиссия диоксида углерода на фоне интенсификации разложения торфа. Такое явление наблюдается, в частности, на покровной и, особенно, на смешанной культурах земледелия по сравнению с контролем (табл. 27).

#### **6.4. ВЛИЯНИЕ СМЕШАННОЙ И ПОКРОВНОЙ КУЛЬТУР ЗЕМЛЕДЕЛИЯ НА АЗОТНЫЙ РЕЖИМ ПОЧВ И СОДЕРЖАНИЕ НИТРАТОВ В ГРУНТОВЫХ ВОДАХ**

Результаты предпринятых исследований позволяют признать, что различные формы внесения песка улучшают плодородие осушенных торфяных почв и являются важным фактором повышения урожайности сельскохозяйственных растений. Это связано с рядом причин. Следствием распада органического вещества торфа является увеличение содержания нитратов не только в почве, но и в поверхностных слоях грунтовых вод (рис. 32). С этим связана одна из главных причин повышения урожая практически всех сельскохозяйственных растений (табл. 13, 16) на осушенных торфяных почвах в условиях смешанной и покровной культур земледелия. Очевидно, однако, что повышенное содержание нитратов в почве после внесения песка в конечном счете свидетельствует об интенсивном распаде их органического вещества.

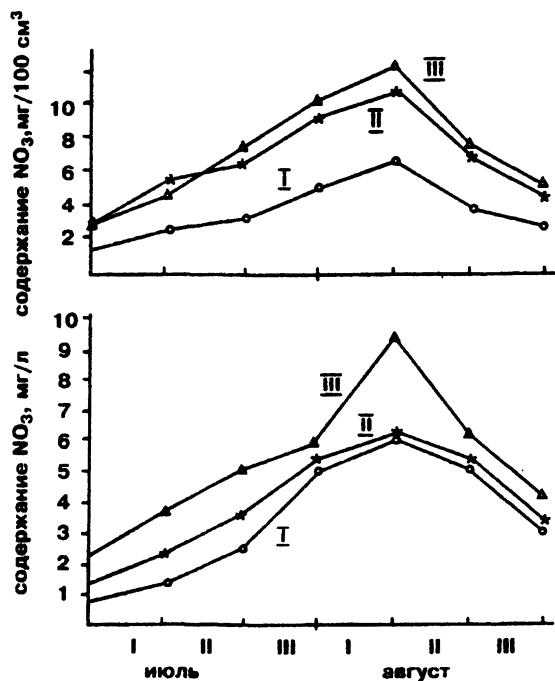


Рис. 32. Содержание нитратов в осушенных торфяных почвах (вверху) и грунтовых водах в условиях разных культур земледелия. Черная культура (контроль) (I); смешанная (II); покровная (III)

При этом повышение содержания нитратов в профиле органо-генных почв находится в прямой зависимости от массы песка, внесенного в поверхностные слои почв, а также от способа их осушения. Последнее в равной мере относится и к содержанию нитратов в грунтовых водах.

## **ЗАЩИТА ТОРФЯНЫХ ПОЧВ ОТ ПИРОГЕННОЙ И ГИДРОТЕРМИЧЕСКОЙ ДЕГРАДАЦИЙ; МЕРОПРИЯТИЯ ПО РЕКУЛЬТИВАЦИИ**

### **7.1. ЗАЩИТА ТОРФЯНЫХ ПОЧВ ОТ ПИРОГЕННОЙ И ГИДРОТЕРМИЧЕСКОЙ ДЕГРАДАЦИЙ**

#### **7.1.1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ**

Сгорание осушенных торфяных почв в результате пожаров следует рассматривать как национальное экологическое бедствие, поскольку при этом происходит частичное или полное выгорание органического вещества торфа и невозполнимая тотальная ликвидация почвенного покрова. Это бедствие приобрело хронический характер. Пожары органических почв происходят ежегодно, а их ареал приобрел определенную тенденцию к быстрому увеличению. Причины этого определяются, во-первых, отсутствием возможности активного регулирования уровнями грунтовых вод на самотечных осушительных системах в период летне-осенней межени из-за их конструктивных особенностей. Во-вторых, выходом из строя насосных станций или недостаточно оперативным регулированием уровнями грунтовых вод в меженный период на польдерных системах и, как следствие, отрывом капиллярной каймы от торфяной залежи. По нашим наблюдениям, пожары и полное выгорание торфа на массиве польдера «Макеевский мыс» начинались тогда, когда грунтовые воды оказывались на 0,5—1 м ниже торфяной залежи. Вместе с тем опасность возникновения и широкого распространения такой деградационной гидрологической ситуации на массивах осушения становится практически повсеместной из-за исчезновения единой и грамотной службы эксплуатации польдерных систем, а также в связи с прекращением работ по реконструкции осушительных систем с целью применения регулируемого шлюзования. Третьей причиной пожаров следует признать повсеместное отсутствие в настоящее время адекватной культуры земледелия на осушенных торфяных почвах России. Последнее определяется тем, что на всем пространстве страны торфяные почвы после осушения используют в условиях черной культуры, при кото-

рой поверхность торфа не защищена от возгорания. Поэтому в середине лета и осенью здесь нередко горит поверхностный высушенный слой торфа. Это явление усугубляется отсутствием травопольных севооборотов с высокой насыщенностью полями многолетних трав, ограниченным использованием этих почв в качестве сенокосов и других зеленых угодий, их почти повсеместным использованием для возделывания пропашных культур.

Существенно и то, что сегодня в России на осушенных торфяных почвах нет ни одного гектара органических почв, эксплуатируемых в условиях покровной культуры земледелия. Как известно, в этом случае торфяные почвы перекрывают слоем песка мощностью 14—16 см, исключая таким образом возможность их поверхностного возгорания [Göttlich, Kuntze 1980; Eggelsmann 1981]. Вместе с тем, подобная защитная культура земледелия на осушенных торфяных почвах повсеместно принята в Германии и во многих других странах. Целесообразность ее применения в России подтверждают и наши наблюдения [Зайдельман, Шваров, Павлова и др. 1995, 1997].

Все это позволяет признать, что реальная опасность уничтожения торфяных почв в результате пожаров угрожает практически всем массивам осушения в Российской Федерации, особенно в полесьях. В настоящее время ситуация усугубляется не только низкими уровнями эксплуатации осушительных систем и земледелия на осушенных торфяных почвах, но и высокой стоимостью энергоносителей, ремонтных работ, насосного оборудования и другими организационно-хозяйственными причинами. В этой связи необходимо сделать несколько замечаний по поводу рационального использования торфяных почв.

#### **7.1.2. ПРОФИЛАКТИЧЕСКИЕ МЕРОПРИЯТИЯ ПО ЗАЩИТЕ ТОРФЯНЫХ ПОЧВ ОТ ПИРОГЕННОЙ И ГИДРОТЕРМИЧЕСКОЙ ДЕГРАДАЦИЙ**

Основную роль в защите торфяных почв от пирогенной и гидротермической деградаций призваны выполнять прежде всего профилактические мероприятия. Необходимо исходить из того, что уже на стадии проектирования осушения торфяных почв должны быть предусмотрены профилактические мероприятия по их защите от любых видов деградации. Отечественная и зарубежная практика выработала достаточно эффективную и надежную систему мероприятий, способных защитить торфяные почвы от опасных деградационных изменений.

На осушенных торфяных массивах России, однако, они не получили необходимого применения. Тем не менее рассмотрим их состав, основные элементы которого частично уже были упомянуты нами ранее. В составе таких профилактических мероприятий должны быть предусмотрены:

1. преимущественное использование торфяных почв в качестве продуктивных зеленых угодий или в травопольных севооборотах с большим числом полей трав;

2. двустороннее регулирование уровней грунтовых вод и стабильное поддержание лугового типа водного режима в профиле осушаемых торфяных почв;

3. систематическое внесение органических и минеральных удобрений с целью поддержания высокого уровня плодородия почв и накопления значительных масс свежего перегноя за счет корневых систем растений, заправки соломы и пожнивных остатков;

4. применение песчаных культур земледелия — смешанной и покровной.

Эти мероприятия способны исключить возможность возгорания и ускоренной термической деградации торфяных почв.

Все эти мероприятия необходимы и достаточны для защиты как полнопрофильных, так и поверхностно пирогенно деградированных торфяных почв. Применительно к поверхностно пирогенно деградированным торфяным почвам специальные рекультивационные мероприятия, как правило, применять не следует. В этом случае достаточными являются обычные технические мероприятия по перемешиванию поверхностной зольной массы пахотного слоя с глубже лежащими горизонтами торфяных почв в процессе их агротехнической обработки и планировки поверхности с последующим залужением и преимущественным использованием в качестве зеленых угодий.

Вместе с тем пирогенные образования, в профиле которых произошло практически полное выгорание органогенных горизонтов или их сгорание до уровня грунтовых вод, подлежат глубокой рекультивации. Эти восстановительные работы необходимы как обязательное условие их эффективного использования в аграрном производстве.

### 7.1.3. РЕКУЛЬТИВАЦИЯ ПИРОГЕННЫХ ОБРАЗОВАНИЙ

#### 7.1.3.1. ДВЕ ФОРМЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПИРОГЕННЫХ ОБРАЗОВАНИЙ

При определении перспектив освоения территорий, занятых пирогенными образованиями, необходимо прежде всего учитывать возможность их использования в естественном состоянии. Определенные виды пирогенных образований можно рассматривать как потенциальные луговые угодья. Однако в целом перспективы такого освоения, во-первых, различны для разных видов образований и, во-вторых, весьма ограничены.

В известной мере территории пирогенных образований могут использоваться в качестве луговых угодий, если на них произрастают многолетние кормовые злаковые травы, такие, как лисохвост и вейник. Обычно продуктивные местообитания с такими травами приурочены преимущественно к пирогенно-перегонным образованиям.

Возможность возделывания более ценных трав — бекмании и канареечника — пока остается не проверенной. Наши полевые опыты с посевом тимopheевки на удобренном и неудобренном фонах пирогенно-перегонных образований не дали положительных результатов. Эти посевы вымокли полностью.

На пирогенных образованиях возможны посевы трав с коротким периодом вегетации, например редьки масличной. Однако в этом случае необходима предварительная полевая проверка эколого-экономической целесообразности таких посевов.

Использование пирогенных образований в естественном состоянии в качестве земельных угодий следует рассматривать как *экстенсивную* форму их сельскохозяйственной эксплуатации. Она предполагает дифференцированный подход к освоению различных по своим свойствам пирогенных образований.

Поскольку пирогенно-перегонные образования отличаются значительной аккумуляцией золы, их освоение целесообразно начинать на второй год после возникновения, то есть сразу после выноса основной массы углекислого калия (потаха) с паводковыми водами и осадками.

Пирогенно-песчаные и песчаные образования отличаются относительно благоприятным водным режимом, поскольку приурочены к повышению минерального дна болот. Однако они обладают минимальным плодородием по сравнению с другими минеральными образованиями. Их залужение возможно только после внесения значительных масс органических (до 100...150 т/га) и мине-

ральных удобрений, а также выборочного известкования. На территориях с песчаными и пирогенно-песчаными образованиями может оказаться целесообразной посадка ивы.

К этой группе близко примыкают пирогенно-древесно-песчаные образования. Они отличаются, однако, более высоким естественным плодородием и более высокой кислотностью. Здесь мероприятия по повышению плодородия всегда будут связаны, кроме известкования, с выполнением значительного объема культуртехнических работ по уборке древесины.

Наиболее плодородными на примере пирогенных образований и пирогенных торфяных почв польдера «Макеевский мыс» следует признать пирогенно измененные торфяные почвы.

В заключение следует отметить, что, несмотря на определенные различия в свойствах и плодородии (например, песчаных и пирогенно-песчаных, с одной стороны, и пирогенно-перегонных песчаных, с другой), все пирогенные образования при их вовлечении в сельскохозяйственный оборот будут находиться в весьма неблагоприятных условиях. На большей части их площади применение обычной техники для обработки, посева, уборки урожая в результате опускания исходной дневной поверхности после сгорания торфа окажется весьма затруднительным или невыполнимым мероприятием. Ее проходимость будет резко снижена из-за близкого залегания грунтовых вод. В связи с этим возникнет необходимость применения легких тракторов и транспортных средств. Очевидна также целесообразность быстрого залужения пирогенных образований, так как плодородный слой золы будет не только элювирован паводковыми водами и атмосферными осадками, но и активно эродирован ветром.

*Интенсивное* сельскохозяйственное использование пирогенных образований на сгоревших осушенных болотных массивах предполагает прежде всего решение следующих взаимосвязанных задач. Во-первых, восстановление ~~исходного~~ гипсометрического уровня сгоревшего торфяного массива до его исходных высотных отметок. Эта задача должна решаться путем землевания территории почвогрунтовой массой, доставляемой на мелиорируемый массив. Во-вторых, формирование поверхностного плодородного и влагоемкого пахотного горизонта. Мероприятия по его созданию заключаются не только во внесении в поверхностные слои искусственно формируемого почвенного профиля органических и минеральных удобрений, заправки сидератов, но и в придании пахотному горизонту способности сорбировать катионы и удерживать

влагу осадков. Последнее предполагает внесение в этот горизонт небольших масс суглинистого грунта [Медведев, Горблюк и др. 1981]. В этом случае такие минеральные вторичные антропогенные почвы можно будет использовать не только для размещения трав, но и широкого набора районированных сельскохозяйственных растений — зерновых, картофеля, овощных.

Очевидно, что интенсивное использование земель, занятых в настоящее время пирогенными образованиями, предполагает крупные финансовые инвестиции на выполнение значительного объема работ по подъему поверхности площади пожарищ и созданию плодородного пахотного горизонта.

Следует отметить, что и еще один, *третий*, способ использования пирогенных образований, который заключается в искусственном заболачивании территории и создании на таких массивах плантаций по производству клюквы. По такому пути в настоящее время, в частности, пошла практика использования сработанных верховых и переходных торфяных массивов в Германии [Schmatzler 1982]. Однако такое использование пирогенных образований на сгоревших низинных торфяных почвах неперспективно для территорий, приуроченных к поймам рек.

Следует подчеркнуть, что в России три упомянутых способа возможного использования земель, занятых пирогенными образованиями, остаются все еще не исследованными. В этом направлении необходимо выполнение целенаправленных практических работ, на основе которых можно будет выработать эффективные, оправданные в эколого-экономическом отношении решения.

Однако сегодня народное хозяйство страны стоит перед реальной угрозой тотального уничтожения осушенных торфяных почв. Поэтому задача прежде всего заключается в том, чтобы приостановить катастрофическое выгорание осушенных торфяных почв. Это не менее важно, чем ликвидировать лесные пожары. В определенном смысле защита осушенных болотных массивов приобретает особую актуальность, поскольку лес — возобновляемый ресурс. После сгорания леса обычно возможно его восстановление, тогда как тотальное выгорание торфяных почв, практически невозобновляемого природного ресурса, приводит к их уничтожению и резкому ухудшению экологической обстановки ландшафта.

Радикальным способом восстановления плодородия пирогенных образований с целью их последующего использования в сельскохозяйственном производстве является рекультивация.



### **7.1.3.2. РЕКУЛЬТИВАЦИЯ ПИРОГЕННЫХ ОБРАЗОВАНИЙ**

Пирогенные образования, возникшие в результате сгорания на осушенных низинных торфяных почвах, как правило, получили распространение в регионах развитого сельскохозяйственного производства. Это обстоятельство в значительной мере определяет эколого-экономическую актуальность мероприятий по восстановлению плодородия территорий, деградировавших в результате пирогенного воздействия. Вместе с тем рекультивация пирогенных образований, создание плодородных горизонтов и возвращение таких массивов в аграрное производство сопряжено со значительными трудностями. Они заключаются в следующем. Во-первых, в настоящее время в отечественной и зарубежной практике отсутствует опыт производства такого рода работ. Во-вторых, как правило, все пирогенные образования отличаются невысоким или, чаще, низким плодородием. В третьих, они существуют преимущественно в условиях современного заболачивания.

На основе выполненных нами исследований можно сформулировать принципы производства работ по рекультивации пирогенных образований и превращению территорий пожарищ в сельскохозяйственные угодья и рекреационные территории.

Прежде всего необходимо исходить из того, что пожарища неоднородны. Они формируются пирогенными образованиями, обладающими различными свойствами и режимами. Поэтому, очевидно, и способы их рекультивации будут различными. Система рекультивации детерминирована свойствами пирогенных образований, генезисом и составом подстилающих пород, особенностями строения ландшафтов.

#### **7.1.3.2.1. Проектно-изыскательские работы для обоснования рекультивационных мероприятий**

Выполнение работ по рекультивации пирогенных образований должно осуществляться на основе проекта.

Для составления такого проекта необходимо тщательное изучение природных условий как зоны пожаров, так и прилегающих к сгоревшему массиву территорий. Проект разрабатывается на основе материалов натурных изысканий, принятых для мелиоративного строительства. Они состоят из крупномасштабной топографической съемки массива рекультивации масштаба 1 : 1000 — 1 : 2000 с сечением горизонталями через 25 см и полугоризонталями через 12,5 см. Топографические материалы должны обеспе-

чить возможность тщательного проектирования земляных работ, связанных с подъемом поверхности при землевании, а также планировочных работ по всей площади сгоревшего массива. При этом может оказаться необходимой двухэтапная топосъемка. На первом этапе съемка для производства работ по землеванию. На втором — съемка поверхности после завершения этих работ для капитальной планировки.

На основе полученных топографических материалов выполняют крупномасштабную почвенно-мелиоративную съемку (на несгоревших массивах) и съемку пирогенных образований (в зоне пожаров). Масштаб такой комбинированной съемки — 1 : 2000. При этом картировании используется разработанная нами классификация пирогенных образований (см. 2.2).

В составе почвенно-мелиоративных изысканий должны предусматриваться работы по составлению агрохимических картограмм, отражающих содержание доступных для растений фосфора и калия, а также картограмм pH пирогенных образований. Такие картограммы должны составляться с учетом границ пирогенных образований. Дополнительно к этому для пирогенно-перегонных образований приводят расчет значений средневзвешенных величин содержания фосфора, калия и pH для верхнего горизонта (слой 0—20 см).

Культуртехнические изыскания предусматривают всегда в контурах пирогенно-древесно-песчаных и пирогенно-торфяных образований, в профиле которых содержится погребенная древесина. Эти изыскания также производят для оценки каменистости подстилающих моренных отложений. В других случаях такие изыскания не выполняют, если постпирогенный период не превышает двух лет и на территории массива нет отрицательных форм вторичного рельефа (ям, крупных выемок, валов и др.). На всех объектах с постпирогенным периодом более двух лет предусматривается полномасштабная культуртехническая съемка с составлением культуртехнической карты и поконтурной экспликации, поскольку такие площади заселяются кустарником и древесной растительностью. Ботаническая съемка предусматривается на массивах, постпирогенный период которых равен или превышает 4 года.

Для гидрогеологической характеристики территории могут быть использованы материалы изысканий, подготовленных ранее для обоснования проекта осушения. При отсутствии последних выполняют новую инженерно-геологическую съемку М 1 : 10 000 или М 1 : 25 000.

Полученные материалы изысканий необходимы и достаточны для дифференциации территории по признакам заболачивания, генезису и составу почвообразующих пород.

В условиях Нечерноземной зоны выделяют массивы, образованные в результате заболачивания территории грунтовыми, напорными, намывными склоновыми и намывными русловыми водами, а также смешанными водами, например грунтовыми и намывными русловыми.

Для целесообразного проектирования мероприятий по рекультивации пирогенных образований последние объединяют в две крупные группы:

1. пирогенные образования на легководопроницаемых породах, заболоченные грунтовыми водами;

2. пирогенные образования на тяжелых слабоводопроницаемых породах, заболоченные поверхностными водами.

Эти группы могут занимать значительные территории. Так пирогенные образования первой группы в ареалах активного влияния грунтовых вод на легких породах занимают практически все территории пожарищ в полесских ландшафтах, т. е. они занимают доминирующие площади в пределах Вятско-Камского, Верхневолжского, Ветлужского, Окско-Мещерского, Мокшинского, Деснинского и других полесий. Их отличительной особенностью является то, что все элементы ландшафта здесь находятся в тесной гидрологической взаимосвязи. Локальное понижение уровня грунтовых вод немедленно распространяется здесь на значительные территории [Зайдельман 1975, 1981, 1991, 2001]. Поэтому при мелкоконтурном распространении заболоченных пирогенных образований внутри крупных массивов полнопрофильных плодородных осушенных органогенных почв применение дополнительного дренажа усилит пирогенную опасность всего массива.

Вместе с тем использование дренажа для осушения пирогенных образований на тяжелых породах в условиях поверхностного заболачивания может оказаться целесообразным мероприятием.

Состав мероприятий по рекультивации пирогенных образований внутри первой группы определяется их свойствами.

Общая принципиальная направленность таких мероприятий по рекультивации пирогенных образований первой группы заключается в подъеме их гипсометрического уровня до отметок, при которых обеспечивается нормальное физиологическое развитие проектируемых культур. Поскольку рекультивированные антропогенные почвы в этом случае (за исключением почв на пирогенно-тор-

фяных образованиях) будут иметь минеральный состав всех горизонтов профиля, здесь после завершения рекультивационных работ возможно размещение любых районированных культур. При этом в поймах возможно возделывание яровых культур и устойчивых к затоплению полыми водами многолетних трав. В условиях внепойменных территорий на рекультивированных почвах возможно возделывание всех районированных в рассматриваемом регионе сельскохозяйственных растений.

В проекте должны предусматриваться средства на производство работ по контролю на всех этапах строительства.

Состав мероприятий по рекультивации пирогенных образований и второй группы приведен в таблицах 28 и 29.

При проектировании мероприятий по рекультивации таких пирогенных образований следует учитывать, что в зонах распространения ожелезненных и жестких карбонатных грунтовых вод в условиях их близкого залегания к дневной поверхности будет происходить постоянный процесс гидрогенной аккумуляции гидроксида железа и углекислого кальция в верхних горизонтах почвенного профиля. При относительно невысоких концентрациях аккумуляции этих соединений будут оказывать отрицательное влияние на продуктивность сельскохозяйственных растений, гидрологический режим почв и работу дренажной сети [Зайдельман 1991]. В таких случаях должны быть предприняты дополнительные мероприятия по защите почв и растений от негативного влияния этих факторов.

Таким образом при рассмотрении проблем сельскохозяйственного использования низинных торфяных почв, испытавших воздействие пожаров, авторы обратили внимание на необходимость оценки трех наиболее распространенных ситуаций. Во-первых, частичного сгорания поверхностных горизонтов торфяных почв с образованием зольного горизонта при сохранении плодородной относительно мощной органогенной толщи выше зеркала грунтовых вод. Этот случай наиболее широко распространен на осушенных болотных массивах в зонах напорных вод, на слабодренированных территориях, а также на участках, защищенных от возгорания плотной высокостебельной травянистой растительностью. В этом случае агротехнические мероприятия на фоне рассмотренных выше способов защиты торфяных почв являются достаточными для их эффективного использования без проведения специальных работ по рекультивации, т. е. без землевания и реконструкции дренажа,

без сложных мероприятий по созданию плодородного пахотного горизонта. Специфика освоения таких почв заключается лишь в том, что зола поверхностного слоя должна быть тщательно смешана с подстилающим торфом для создания нового пахотного плодородного горизонта.

Во-вторых, после пожаров на значительных площадях возникают не частично сгоревшие торфяные почвы, а пирогенные образования. Они отличаются полным сгоранием органогенных горизонтов до минерального дна болота или до меженного уровня грунтовых вод. Здесь возможно возникновение двух существенно различных ситуаций, связанных с их использованием. Пирогенные образования можно экстенсивно использовать в сельском хозяйстве в качестве естественных луговых угодий низкого качества. Обычно этот путь мало эффективен в экономическом отношении. Наконец они могут быть рекультивированы и вовлечены в интенсивное использование для возделывания практически любых сельскохозяйственных культур (часто на фоне дождевания).

Несомненно в проектах необходима комплексная разработка этих трех ситуаций, если территория массива образована частично сгоревшими торфяными почвами и пирогенными образованиями. В завершение этого анализа следует подчеркнуть и еще одно, четвертое направление вовлечения пирогенных образований в хозяйственное использование. Оно особенно актуально в тех случаях, когда отсутствуют необходимые средства для рекультивации пирогенных образований. В этой (четвертой) ситуации на территориях распространения пирогенных образований благодаря близкому залеганию грунтовых вод могут быть созданы фермы для разведения водоплавающей птицы, рыбохозяйственные пруды, организованы охотничьи угодья, зоны туристического рыболовства. Массивы пирогенных образований выборочно могут быть использованы для размещения плантаций ивы корзиночной и организации на этой базе кустарного производства мебели и других изделий.

Состав мероприятий по рекультивации пирогенных образований на водопроницаемых легких породах в условиях грунтового заболачивания (1-я группа) при пятнистом и сплошном выгорании осушенных низинных почв

| Проектируемое использование                        |                                        |                                           |                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                                                                                                      | Субстратная, при интенсивном использовании территории дополнительно — дождевание (сильно дождевание) |
|----------------------------------------------------|----------------------------------------|-------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Вид пирогенных образований                         | Экстенсивное                           |                                           | пятнистое (очаговое) выгорание                                                                                                                                                                                                                                                  | сплошное выгорание крупных массивов                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                                                                                                      |                                                                                                      |
|                                                    | естественное состояние                 | улучшенное состояние                      |                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                                                                                                      |                                                                                                      |
| 1. Пирогенно-галечниковые или валунно-галечниковые | Непригодны для любого использования    |                                           | 1. Подъем поверхности землеванных масс с использованием значительных масс грунта<br>2. Внесение органических и минеральных удобрений                                                                                                                                            | 1. Дренаж<br>2. Подъем поверхности землеванием и создание мелкоземистой корнеобитаемой толщи (ограниченные объемы грунта)<br>3. Планировка<br>4. Внесение органических и минеральных удобрений                                                                                                                       | Субстратная, при интенсивном использовании территории дополнительно — дождевание (сильно дождевание) |                                                                                                      |
| 2. Пирогенно-перегнойные песчаные или супесчаные   | Вейниковые луга средней продуктивности | Вейниковые луга повышенной продуктивности | 1. Стрeбание зольного, углистого и перегнойного горизонтов<br>2. Подъем поверхности землеванием<br>3. Планировка<br>4. Разравнивание смеси зольного, углистого и перегнойного горизонтов<br>5. Внесение органических и минеральных — азотных и калийных — удобрений**. Сидераты | 1. Дренаж<br>2. Стрeбание зольного, углистого и перегнойного горизонтов<br>3. Планировка<br>4. Разравнивание смеси зольного, углистого и перегнойного горизонтов<br>5. Внесение на поверхность небольших масс суглинистого грунта (300—400 т/га)<br>6. Внесение органических, азотных и калийных удобрений. Сидераты |                                                                                                      |                                                                                                      |

|                                               |                                                              |                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                           |                                                                                                                                                                                                                                                                     |                                                                                                         |
|-----------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 3. Пирогенно-песчаные (или супесчаные)        | Луга низкой продуктивности, хозяйственного значения не имеют | Луга низкой и средней продуктивности                         | 1. Подъем поверхности земледелием<br>2. Планировка<br>3. Известкование<br>4. Внесение крупных доз (100—150 т/га) органических и минеральных — азотных, калийных и фосфорных — удобрений. Сидераты                                                         | 1. Дренаж<br>2. Планировка<br>3. Внесение на поверхность увеличенных масс суглинистого грунта (400—500 т/га)<br>4. Известкование<br>5. Внесение крупных доз (100—150 т/га) органических, азотных, калийных и фосфорных удобрений. Сидераты                          | Субстратизация; при интенсивном использовании территории дополнительно — дождевание (схронноммпульсное) |
| 4. Пирогенно-торфяные на песках, супесках     | Луга низкой и средней продуктивности                         | Луга преимущественно средней продуктивности                  | 1. Создание покровной культуры земледелия (16 см пахотный поверхностный горизонт) или подъем поверхности земледелием<br>2. Планировка<br>3. Известкование<br>4. Внесение органических и минеральных — калийных, фосфорных и азотных — удобрений. Сидераты | 1. Дренаж<br>2. Создание покровной культуры земледелия<br>3. Планировка<br>4. Известкование<br>5. Внесение органических и минеральных — калийных, фосфорных и азотных — удобрений. Сидераты                                                                         |                                                                                                         |
| 5. Пирогенно-древесно-песчаные или супесчаные | Луга низкой продуктивности, хозяйственного значения не имеют | Луга низкой продуктивности, хозяйственного значения не имеют | 1. Уборка древесины с поверхности<br>2. Подъем поверхности земледелием<br>2. Планировка<br>3. Известкование<br>4. Внесение органических и минеральных — азотных, калийных и фосфорных — удобрений. Сидераты                                               | 1. Дренаж<br>2. Уборка древесины с поверхности<br>3. Планировка<br>4. Внесение на поверхность небольших масс суглинистого грунта (150—200 т/га)<br>5. Известкование<br>6. Внесение органических и минеральных — калийных, фосфорных и азотных — удобрений. Сидераты |                                                                                                         |

\* Подкормка луговой растительности минеральными удобрениями.

\*\* Для пирогенных образований с высоким содержанием фосфора в верхних горизонтах.

Состав мероприятий по рекультивации пирогенных образований на слабопроницаемых тяжелых (суглинистых и глинистых) породах в условиях поверхностного заболачивания (2-я группа) при выгорании осушенных низинных торфяных почв

| Вид<br>пирогенных<br>образований                          | Проектируемое использование                  |                                                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | Интенсивное | Дождевание (синхронно-импульсное) при<br>интенсивном использовании территории |
|-----------------------------------------------------------|----------------------------------------------|--------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|-------------------------------------------------------------------------------|
|                                                           | Экстенсивное                                 |                                                  | улучшенное<br>состояние*                                                                                                                                                                                                                                                                         |             |                                                                               |
|                                                           | естественное<br>состояние                    |                                                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |             |                                                                               |
| 1. Пирогенно-<br>перегонные<br>суглинистые<br>(глинистые) | Лука средней<br>продуктивно-<br>сти          | Лука средней<br>и высокой<br>продуктивно-<br>сти | 1. Дренаж<br>2. Стрелание зольного, углистого и перегонного горизонтов<br>3. Планировка<br>4. Разравнивание смеси зольного, углистого и перегонного горизонтов<br>5. Известкование на кислых породах<br>6. Внесение органических и минеральных — азотных (фосфорных**) и ка-<br>лийных удобрений |             |                                                                               |
| 2. Пирогенно-<br>суглинистые<br>(глинистые)               | Лука низкой<br>продуктивно-<br>сти           | Лука низкой и<br>средней про-<br>дуктивности     | 1. Дренаж<br>2. Планировка<br>3. Известкование (кислых породах)<br>5. Внесение крупных доз органических и минеральных удобрений                                                                                                                                                                  |             |                                                                               |
| 3. Пирогенно-<br>торфяные су-<br>глинистые<br>(глинистые) | Лука низкой и<br>средней про-<br>дуктивности | Лука низкой и<br>средней про-<br>дуктивности     | 1. Дренаж<br>2. Создание покровной культуры земледелия<br>3. Известкование<br>4. Внесение органических и минеральных удобрений                                                                                                                                                                   |             |                                                                               |

\* Подкормка луговой растительности минеральными удобрениями.

\*\* Пирогенно-перегнойные образования могут характеризоваться высоким содержанием фосфора. В таких случаях внесение фосфорных удобрений нецелесообразно.



## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

*(итоги исследований, предложения по защите осушенных торфяных почв от пирогенной и гидротермической деградаций, проблема рекультивации)*

В монографии рассмотрены принципиальные вопросы эволюции торфяных почв в условиях земледелия, их деградационные изменения, способы рекультивации и защиты от неблагоприятных антропогенных воздействий. В ее основу положены материалы, полученные авторами в процессе многолетних стационарных исследований органогенных почв Нечерноземной зоны Российской Федерации.

Обязательным условием аграрного использования торфяных почв является их осушение. Оно обеспечивает такой режим грунтовых вод, при котором становится возможным возделывание на дренированных гидроморфных органогенных почвах широкого набора сельскохозяйственных культур.

Дренаж почв, их осушение — важные достижения человечества, столь же древние, как и само земледелие. Они позволили освоить новые обширные территории в зонах избыточного увлажнения Земли. Кроме вовлечения в аграрное производство значительных площадей, осушение изменило экологическую и экономическую обстановку жизни людей, улучшило условия их местообитания. Исчезли многие болезни, сократились наводнения, возникли новые коммуникации, поселения, экономические связи. Осушение создало фундамент цивилизации в странах Средней и Северной Европы.

Однако одновременно с началом работы дренажных систем, как только из пор торфяных почв исчезала гравитационная влага, так немедленно, практически синхронно в профиле почв происходила смена субаквальных анаэробных условий на аэробные. Накопление торфа сменялось его окислением и распадом. Положительный баланс углерода в торфяных почвах, существовавший на протяжении многих тысячелетий, замещался отрицательным. В результате возник процесс безвозвратной потери органического вещества, т. е. процесс гидротермической деградации торфяных почв.

Очевидно, этот процесс был обусловлен изменением только одного фактора — гидротермического режима почв и в первую оче-

редь трансформацией режима грунтовых вод болотных массивов. При этом гидротермическая деградация торфяных почв всегда приобретала катастрофический характер тогда, когда в качестве основного приема осушения низинных торфяных болот в условиях полесий использовали способ самотечного осушения с помощью глубоких каналов (4—5 м), врезанных в водоносный песок. Такой дренаж обеспечивал стабильное понижение уровня грунтовых вод на осушаемых массивах на глубины, близкие к глубинам самих каналов, и отрыв капиллярной каймы от органогенных горизонтов почвенного профиля. Сброс гравитационной влаги вызывал уменьшение теплоемкости, повышение температуры и, как следствие, интенсификацию окисления и распада органического вещества. В этом случае возникают наиболее благоприятные условия для развития интенсивной гидротермической деградации торфяных почв. Следует, однако, подчеркнуть, что этот процесс проявляется не только при глубоком, но и при нормальном осушении, например тогда, когда в период летней межени происходит общее понижение уровня грунтовых вод в ландшафте. В этом случае, так же как и при глубоком осушении, возможен отрыв капиллярной каймы от нижней кровли торфяной залежи, переход почв в условия стихийного водного режима и максимальный распад органического вещества торфа. В таких условиях гидротермическая деградация почв получает наиболее полное проявление. Она способна вызвать сработку торфяных горизонтов органогенных почв и оказаться причиной выхода на дневную поверхность подстилающих минеральных оглеенных пород. Этот процесс, однако, в зависимости от интенсивности дренажа, характера сельскохозяйственного использования почв, их мощности, климата и других факторов, может продолжаться многие десятилетия, реже столетия.

Вместе с тем гидротермическая деградация опасна тем, что она обуславливает возникновение и другого, не менее актуального процесса деградации, который может в короткий срок, определяемый не годами и десятилетиями, а всего лишь несколькими днями, полностью уничтожить торфяные почвы, лишить значительные земельные массивы их плодородия и возможности последующего сельскохозяйственного использования. Гидротермическая деградация оказывается прелюдией возникновения пирогенной деградации торфяных почв, наиболее экстремальной формой их деградационной трансформации.

Последняя проявляется в опустошительных пожарах, частично или полностью уничтожающих эти почвы. При этом полное вы-

горение торфяных почв наблюдается преимущественно на осушенных сельскохозяйственных территориях полесских ландшафтов при относительно небольшой мощности торфа (1,0—2,0 м). Частичное сгорание органогенной залежи чаще происходит на неосушенных торфяных массивах при относительно близком залегании грунтовых вод к дневной поверхности. Эта форма пирогенной деградации может иметь место и на осушенных массивах на мощных торфяных залежах, если норма осушения или максимальное понижение уровня грунтовых вод не превышает или меньше мощности торфяной толщи.

Процесс пирогенной деградации торфяных почв получил особенно широкое распространение в конце прошлого и в начале XXI веков, когда на территории СССР были созданы осушительные системы с самотечным глубоким осушением, а также тогда, когда в 90-х годах XX столетия пришла в глубокий упадок служба эксплуатации мелиоративных систем.

Таким образом сгорание осушенных торфяных почв в результате пожаров следует рассматривать как национальное экстремальное экологическое бедствие, поскольку при этом происходят полное выгорание органического вещества торфа и невозполнимая тотальная ликвидация почвенного покрова. Это бедствие приобрело хронический характер. Пожары органических почв случаются ежегодно, а их ареал приобретает определенную тенденцию к существенному увеличению. Причина такой тенденции определяется следующими факторами. Во-первых, отсутствием возможности активного регулирования уровней грунтовых вод на *самотёчных* осушительных системах в период летне-осенней межени из-за их конструктивных особенностей. Во-вторых, недостаточно оперативным регулированием уровнями грунтовых вод в меженный период на *польдерных* системах, отрывом капиллярной каймы от торфяной залежи. По нашим наблюдениям пожары и полное выгорание торфа на массиве «Макеевский мыс» начались тогда, когда грунтовые воды оказывались на 0,5—1,0 м ниже торфяной залежи. Это оказалось достаточным для интенсивного иссушения торфяных почв. Вместе с тем опасность возникновения и широкого распространения такой деградационной гидрологической ситуации на массивах осушения становится практически повсеместной из-за исчезновения единой и грамотной службы эксплуатации *польдерных* систем, а также в связи с прекращением работ по реконструкции осушительных систем с целью применения регулируемого шлюзования. Третьей причиной пожаров следует признать повсеместное

отсутствие адекватной культуры земледелия на всех осушенных торфяных почвах России. Последнее определяется тем, что на всем пространстве страны торфяные почвы после осушения используют в условиях черной культуры, при которой поверхность торфа не защищена от возгорания. Поэтому в середине лета и осенью здесь часто горит поверхностный высушенный слой торфа. Это явление усугубляется отсутствием травопольных севооборотов с высокой насыщенностью полями многолетних трав, ограниченным использованием этих почв в качестве сенокосов, других зеленых угодий.

Существенно, однако, и то, что в России сегодня на всех осушенных торфяных почвах нет ни одного гектара органических почв, используемых в условиях покровной культуры земледелия. Как известно [Göttlich et al. 1980], в этом случае торфяные почвы перекрывают слоем песка мощностью 14—16 см, исключая таким образом возможность их поверхностного возгорания. Вместе с тем, защитная культура земледелия на осушенных торфяных почвах повсеместно принята в Германии и других странах. Целесообразность ее применения подтверждают и наши наблюдения.

Все это позволяет признать, что реальная опасность уничтожения торфяных почв в результате пожаров угрожает практически всем массивам осушения Российской Федерации. Она особенно существенна в полесьях. Эта ситуация в настоящее время усугубляется не только низкими уровнями эксплуатации осушительных систем и земледелия на осушенных торфяных почвах, но и организационно-хозяйственными причинами.

В результате сгорания плодородных осушенных торфяных почв на их месте на сотнях и тысячах гектарах бывших сельскохозяйственных угодий возникают пирогенные образования, различные по своим морфологическим, химическим и другим свойствам, но обладающие двумя общими характерными особенностями. Все они отличаются, во-первых, низким плодородием и, во-вторых, почти повсеместным заболачиванием, поскольку в их ареалах дневная поверхность после сгорания торфа опускается на 70—100 см и более.

Существенно и то, что устранить заболаченность пирогенных образований полесий и пойм путем их дополнительного дренирования практически невозможно потому, что ареалы пожарищ обычно мелкими контурами инкрустированы в крупные массивы полнопрофильных плодородных, не затронутых пожарами торфяных почв. В этом случае понижение уровня грунтовых вод с помощью дрена-

жа на заболоченных пирогенных образованиях на песках вызывает общее понижение уровня грунтовых вод на всем массиве.

В результате возникают благоприятные условия для дальнейшего распространения пожаров на всей мелиорированной территории. Поэтому их использование в настоящее время может иметь лишь экстенсивный характер. В перспективе в этом случае пирогенные образования следует рассматривать как территории преимущественно луговых угодий низкой продуктивности. Вместе с тем они нередко образуют непригодные для любого сельскохозяйственного использования массивы. При этом их состоянии затруднена возможность применения механизированного ухода, обработки и уборки урожая трав из-за близкого стояния грунтовых вод.

Интенсивное использование таких пирогенных образований предполагает выполнение значительных рекультивационных работ, связанных с подъемом поверхности путем землевания, созданием плодородных пахотных горизонтов, активным регулированием уровня грунтовых вод, выполнением других обязательных мероприятий. Рекультивация потребует привлечения крупных финансовых инвестиций.

Учитывая опасные последствия гидротермической деградации торфяных почв и их уничтожения в результате пирогенной деградации, в настоящее время на осушенных полнопрофильных поверхностно деградированных торфяных почвах необходимо прежде всего предусмотреть выполнение первоочередных достаточно простых и очевидных профилактических защитных мероприятий, направленных на их сохранение в условиях положительного или по крайней мере нейтрального баланса углерода. Такое состояние может быть достигнуто, если органогенные почвы используют:

- в условиях лугового типа водного режима при двустороннем его регулировании и применении субиригации;

- в системе травопольных севооборотов с высокой насыщенностью травами (до 4-х полей из 5) или (при мощности торфа 1,5 м и менее) в качестве зеленых угодий (сенокосов, лугов, долговременных культурных пастбищ и др.);

- при регулярном внесении органических и минеральных удобрений, систематической заправке соломы и пожнивных остатков.

Эта система профилактических мероприятий выработана длительной практикой аграрного производства на осушенных торфяных почвах (Kuntze 1978; Göttlich, Kuntze 1980; Такке 1930; Оношко 1934; Зайдельман 1996; Смеян 2002 и др.).

Однако кроме этих мероприятий существует и еще одна, четвертая, группа приемов по защите торфяных почв от ускоренного разложения. К ним относятся пескование (или смешанная), покровная (или римпауская) и немецкая смешанно-слоистая культуры земледелия на осушенных торфяных почвах. В отечественной литературе и в практике они получили не вполне удачное название — структурные мелиорации. Их действие имеет многофакторный характер. Так, они защищают почвы от пожаров и пирогенного уничтожения; способствуют существенному повышению урожая, особенно в северных регионах; увеличивают несущую способность торфяных почв; снижают вынос массы торфа с полей с урожаем и на колесах транспортной и обрабатывающей техники; уменьшают засоренность полей.

При этом полагают, что внесение песка ускоряет его распад только в пахотном горизонте, где содержание торфа невелико, но зато защищает органическое вещество нижних мощных подпахотных горизонтов от ускоренной сработки до простых окислов — воды, нитратов и диоксида углерода.

Однако эта точка зрения, как показали наши исследования, справедлива лишь частично, только в том смысле, что внесение песка действительно ускоряет разложение органического вещества пахотных горизонтов осушенных торфяных почв.

В результате исследований было установлено новое, ранее неизвестное явление. Обнаружено, что внесение песка существенно повышает температуру не только верхнего, но и всех других слоев почвенного профиля, а также грунтовых вод. Это способствует оптимизации жизнедеятельности аэробной микрофлоры как в поверхностных, так и в глубоких горизонтах торфяных почв, интенсификации их целлюлозолитической, протеолитической активности, накоплению в профиле диоксида углерода. Прямые наблюдения за темпами биохимического распада органического вещества показали, что не только в пахотных, но и в более глубоких слоях почвенного профиля внесение песка стимулирует процесс активного биохимического разложения торфа по всему профилю почв.

В результате внесения песка темпы разложения органического вещества всего профиля торфяных почв не уменьшаются, а, напротив, достоверно и весьма существенно (на 20—50%) возрастают в зависимости от погодных условий, уровня грунтовых вод и вида культуры земледелия.

В этой связи следует подчеркнуть, что мониторинг за разложением органического вещества осушенных торфяных почв должен осуществляться на основе прямого определения темпов его биохимического распада. Отметим, в частности, что оценка интенсивности распада торфа по эмиссии  $\text{CO}_2$  в атмосферу не отражает реальные темпы сработки органического вещества осушенных торфяных почв. Балансовые расчеты показывают, что эмиссия на порядок ниже реальных потерь. В этой связи было высказано предположение о том, что основной поток диоксида углерода, возникающий при распаде органического вещества торфа, направлен не в атмосферу, а вниз, к холодному фронту грунтовых вод, температура которых даже в вегетационный период не превышает 7—9 °С. Таким образом, поток углекислого газа, образовавшийся при распаде органического вещества торфа, в почвенном профиле в основном движется по градиенту уменьшающихся температур.

В связи с изложенным оправданна постановка вопроса о целесообразности применения песчаных культур земледелия при сельскохозяйственном освоении осушенных торфяных почв.

Если исходить из того, что торфяные почвы следует всегда использовать в условиях лугового типа водного режима при повышенном залегании грунтовых вод для возделывания, главным образом, многолетних трав с высоким водопотреблением, то в этом случае применение смешанной и покровной культур земледелия представляется оправданным решением. Многолетние травы способны на фоне лугового типа водного режима в значительной мере компенсировать потерю углерода и сдерживать распад органического вещества. Таким образом существенно сократятся потери торфа в результате гидротермической дегградации, а также ветровой эрозии. Но, кроме того, внесение песка в таких условиях ослабит или исключит возможность пирогенной дегградации осушенных торфяных почв.

Использование песчаных культур земледелия в условиях лугового типа водного режима при близком залегании к поверхности грунтовых вод окажется оправданным не только потому, что резко уменьшится интенсивность распада и опасность возгорания осушенных торфяных почв, но и потому, что проявятся их другие положительные свойства — повысится несущая способность почв, уменьшится механический вынос торфа, засоренность, будут созданы благоприятные условия для повышения продуктивности сельского хозяйства.

Вместе с тем необходимо признать, что в дальнейшем может быть обоснована целесообразность более дифференцированного использования осушенных торфяных почв в условиях песчаных культур земледелия. При этом основой сельскохозяйственного производства останутся травопольные севообороты, в состав которых будут включены поля кормовых или продовольственных культур. Их размещение, по-видимому, наиболее целесообразно в условиях покровной культуры земледелия на фоне лугового типа водного режима почв. При этом, очевидно, необходим постоянный контроль за основными элементами гидротермического режима, биологической активностью и темпами биохимического разложения органического вещества торфяных почв — основными показателями их мониторинга.

На таком фоне песчаные культуры земледелия окажутся необходимым условием неопределенно долгого сохранения и использования торфяных почв в земледелии, получения значительных масс сельскохозяйственной продукции, их эффективной защиты от опасных последствий гидротермической и пирогенной деградаций.

Наряду с рассмотрением профилактических мероприятий по экологической защите органогенных почв от деградации, в монографии впервые существенное внимание уделено рекультивации пирогенных образований. Показано, что эффективность восстановительных приёмов и состав необходимых мероприятий по оптимизации свойств и режимов пирогенных образований тесно связаны с их химическими и физическими свойствами, генезисом и составом подстилающих пород, проектируемым использованием территории, природными особенностями ландшафта. Их рекультивация является необходимым фактором восстановления благоприятных экологических условий, нарушенных опасной деятельностью человека.

Оценивая возможные пути хозяйственного использования торфяных почв, деградированных в результате воздействия пожаров, следует отметить четыре возможных направления их реализации. Во-первых, следует признать что торфяные почвы, затронутые пожарами, но сохранившие плодородие, не требуют специальных мероприятий по рекультивации. Такие почвы после механического перемешивания их верхнего зольного и подстилающего торфяного слоев могут быть вовлечены в производство трав, кормовых и продовольственных культур. Эти почвы могут успешно использоваться в земледелии на фоне перечисленных четырех приемов их за-



щиты от деградации. Во-вторых, в отличие от пирогенно измененных торфяных почв пирогенные образования в условиях экстенсивного земледелия можно использовать только как луга невысокого качества для производства грубых кормов, часто в условиях, исключающих механизированный уход и уборку урожая. Третий путь их вовлечения хозяйственный оборот связан с интенсивным использованием пирогенных образований после выполнения сложных рекультивационных работ, требующих значительных капитальных вложений.

В этом случае необходимы землевание, реконструкция дренажа, внесение значительных масс органических и минеральных удобрений, формирование плодородного почвенного покрова. После рекультивации такие почвы могут быть использованы для возделывания всех районированных растений.

Наконец, в-четвертых, территории, занятые пирогенными образованиями, можно использовать в других областях народного хозяйства. В частности, здесь возможна организация охотничьих угодий и зон туристического рыболовства, рыбохозяйственных прудов, ферм для выращивания водоплавающей птицы, а также посадка корзиночной ивы для кустарного производства мебели и других изделий.

## SUMMARY

The book gives a comprehensive account of the problems related to evolution of peat soils under the present-day conditions of agricultural production, their degradation-induced changes and preventive measures to protect them against adverse anthropogenic effects. Particular emphasis is given to remediation of drained peat soils.

Drainage is known as an important factor responsible for improving the peat soils in terms of their agricultural use. Apart from expanding the areas for cultivation the drainage changes ecological and economic conditions for human beings. It has played a leading role in the development of civilization in many countries of Central and Northern Europe.

At the same time, peat soils display a very low resistance to degradation caused by human activities. Due to the downthrow of drainage waters the accumulation of organic matter in peat soils is changing into its intensive decomposition and carbon loss. This is especially manifested at the background of deep drainage resulting in capillary fringe rupture between the groundwater table and peat deposit. The drainage-induced loss of gravitational water reveals great changes, including transformation of anaerobic conditions into aerobic ones, decrease in the heat capacity and temperature rise, decomposition of the organic matter. Just that very process called hydrothermic degradation of peat soils proves to be a cause of organic matter decomposition in peat soils used under drainage within the space of many ten years. The process is completed in the end by disappearing the peat horizons and mineral rock outcrop.

Moreover, the process of hydrothermic degradation is even more dangerous because of creating prerequisites for such a hazardous destruction form of peat soils as pyrogenic degradation, the latter being evident during devastating fires results in partial or total combustion of peat soils. Their total combustion takes place in the event of capillary fringe rupture between the groundwater table and peat deposit under the influence of drainage or extreme weather conditions. Partial combustion of peat soils occurs when the capillary fringe of the groundwater table is located within the peat deposit. The secondary

pyrogenic formations resulted from peat combustion vary widely in morphological and chemical properties, being combined by two common features: they are low in fertility and they reveal complete waterlogging. However, drainage of pyrogenic formations is impossible through the threat of repeated fires but the measures directed to increase their fertility require significant investments. In this context, it seems necessary to avoid the development of hydrothermic and another degradation forms of drained peat soils in the post-drainage period. This can be implemented by preventive measures, which are as follows:

- regulating the ground water and, on the other hand, maintaining the water regime of meadow type;
- using the peat soils for cultivation of perennial grasses, application of organic fertilizers and straw trash covering.

To be able to protect organic soils from their intense degradation, the sand cultures (sand-mixed, sand-mantled and mixed-layered ones) should be also recommended. Sand cultures are capable to create favourable conditions in drained peat soils promoting the increased bearing capacity of soils, decreasing (sand-mixed culture) or eliminating (sand-mantled culture) the threat of fires and wind erosion. They may be considered as a mean to increase in productivity, to decline the peat removal from fields and their weediness.

It is worthy of note that today there is no information about the effect exerted by addition of sand into the arable layer upon the hydrothermic regime of all the horizons throughout the profile of drained peat soils. Some literature data are known as obtained only by studying the upper 20—40 cm soil layers. Based upon these data it has been indicated that due to sand addition the organic matter becomes decomposed in the arable layer but the peat decomposition is retarded downwards the soil profile. Moreover, it was also supposed that the decomposition rate of the organic matter in sand cultures is considerably lower than that in black culture.

The authors' researches were carried out with the aim at studying physical properties, hydrothermic regime, productivity, biochemical decomposition of the organic matter and biological activity in all the horizons of drained peat soils under conditions of black (control), sand-mixed and sand-mantled cultures. According to the data obtained one should safely conclude that the addition of sand is an essential tool to decrease the heat capacity and moisture percentage as well as to increase temperature in all the horizons of soils. The temperature is rising both in soils and in ground waters, cellulicidal and proteolytic activity, the soil respiration reveal an increase as well. As a result, the

biochemical decomposition rate of the organic matter is augmented in peat soils with sand cultures by 20—50% as compared to black culture. In contrast to the earlier accepted opinion the organic matter of peat becomes decomposed not only in upper but also in lower horizons of soils including the zone of open capillary fringe. This let us establish that the addition of sand stimulates the biochemical decomposition within the whole profile of peat soils under conditions of deep and ordinary drainage.

In this regard, the statement of the question about the efficiency of sand cultures in terms of improving the drained peat soils proves its value.

Bearing in mind that the peat soils with the water regime of meadow type at a higher groundwater level should be always used for cultivation of perennial grasses it seems reasonable to introduce sand-mixed and sand-mantled cultures into the development and management of peat soils. Perennial grasses at the background of the water regime of meadow type are capable to compensate the carbon loss and to be a deterrent for the organic matter decomposition. Besides, addition of sand can help preventing pyrogenic degradation of drained peat soils. Hence, the sand cultures on soils with the water regime of meadow type and the groundwater table close to the surface prove to be conducive to decreasing their intensive decomposition and the threat of combustion. They are also of use providing the increase in the bearing capacity, decline in mechanical removal of peat and weediness on fields. Finally they create favourable conditions for improving the soil productivity.

At the same time, further researches are needed to substantiate differentiated use of drained peat soils under conditions of sand cultures. It is very likely that the grass-arable rotations including fodder and food crops will remain as a basis of agricultural production. Their allocation would be advisable on peat soils with the water regime of meadow type under conditions of sand-mantled culture. It would be necessary to control over the main elements of the hydrothermic regime, biological activity and biochemical decomposition in peat soils as the major indices of their monitoring.

Thus, there is reason to attest to the importance of sand cultures as an essential tool to maintain and use the peat soils for purposes of agriculture and to protect them against dangerous consequences of hydrothermic and pyrogenic degradation.

In the book parallel with discussion of preventive measures for ecological protection of organogenic soils against their degradation

special attention is paid for the first time to rehabilitation of pyrogenic formations. It is shown that the efficiency of techniques directed to remediate them and a set of measures to optimize their properties and regimes should be closely connected with chemical and physical properties, genesis and composition of underlying rocks, projecting land use and natural peculiar features of the landscape. The rehabilitation of pyrogenic formations must be considered as a determining factor for the improvement of environmental conditions disturbed by hazardous human actions.

## УКАЗАТЕЛЬ ИМЕН

- Аверьянов С.Ф. 32  
Агарков В. А. 76, 78, 119  
Алексеева Ю.С. 25  
Бамбалов Н.Н. 12, 14, 15, 124  
Банников М.В. 36, 68  
Барановский А.З. 62  
Барсуков А.И. 25, 62, 93  
Батраков А.С. 63, 87  
Бачила С.С. 14  
Белковский В.И. 25, 58, 59, 62, 66, 67, 86, 93  
Беневоленский И.И. 66, 76  
Берш В. 54  
Бурматов И.М. 62, 66  
Вавуло Ф.П. 12  
Вашкевич Л.Ф. 14,  
Вознюк С.Т. 62, 66  
Вомперский С.Э. 123  
Воробьева Е.Н. 12  
Габбасова И.М. 16  
Гаврилкина Н.В. 12, 90  
Галдина С.А. 76  
Гельцер Ю.Г. 94  
Головин С.Н. 68  
Головко Д.Г. 33, 34, 88  
Горблюк А.В. 14, 132  
Горленко М.В. 95  
Горошко В.М. 66, 67  
Даутина Д.Б. 66  
Донских И.Н. 33  
Емельянова К.М. 62  
Ефимов В.Н. 25, 66, 67  
Загурский М.В. 66  
Зайдельман Ф.Р. 12, 15, 23, 33, 63, 68, 76, 78, 87, 93, 95, 119, 123, 128, 135, 136  
Зайко С.М. 14  
Зименко Т.Г. 12, 90  
Зоткин В.П. 25, 62  
Иванов А.И. 123  
Иванов К.Е. 10  
Иванов Н.П. 14, 59  
Игнатьева В.М. 32  
Имранова Е.П. 16  
Калинина В.В. 66  
Кириенко О.А. 16  
Кожевин П.А. 95  
Колотовский В.В. 25  
Колешко О.Н. 59  
Кошев В.П. 76  
Кудло Т.А. 59  
Куликов Я.К. 59  
Лагутина Т.Б. 76  
Ливски С. 14  
Липская Г.А. 59  
Логинов И.И. 12, 66  
Лундин К.П. 64  
Лыко Д.В. 62, 66  
Малышева Р.А. 25  
Мацяк Ф. 18  
Медведев А.Г. 14, 132  
Окрушко Г. 14  
Оленевич В.А. 62, 66  
Оношко Б.Д. 54  
Павлова Е.Б. 68, 128  
Петрова М.П. 59, 62

Плоткина Н.Н. 12  
Попов И.В. 66  
Пьявченко Н.И. 11  
Римпау Т.Д. 55  
Рыдкин Ю.И. 76, 78, 119  
Сапожников А.П. 16  
Свирновский Л.Я. 14  
Скоропанов С.Г. 25, 61, 93  
Скрынникова И.Н. 12, 33  
Смеян Н.И. 145  
Сулейманов Р.Р. 16  
Такке Б. 54, 55  
Тен Хок Мун 16  
Тот А. 13  
Трибис В.П. 62  
Тюремнов С.Н. 10  
Цыганова О.П. 123  
Чертко Н.К. 59  
Чугунов Л.А. 66  
Шабанова В.И. 59  
Шаповалова В.И. 33

Шваров А.П. 12, 63, 68, 87, 93,  
95, 119, 123, 128  
Юневич Д.П. 32

Eggelsmsnn R. 57, 58  
Göttlich K. 25, 56, 93, 144  
Gorlenko M.V. 94  
Hanus H. 63  
Heikurainen L. 123  
Kozakiewicz A. 14  
Kozevin P.A. 94  
Knoch H.G. 63  
Kuntze H. 25, 56, 93  
Majorova T.N. 94  
Okruszkó H. 14  
Rimpau T.D. 55  
Schmatzler E. 132  
Shwarov A.P. 119  
Vetter H. 93  
Zaidelman F.R. 119

## ПРЕДМЕТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ

- Агромелиорация 53  
Азотный режим 125  
Активность почв 95  
    целлюлозолитическая 95, 99  
    протеолитическая 95, 101  
Аминокислоты 103
- Биологическая активность 92  
Биохимическое разложение 112  
Ботанический состав торфа 28, 29
- Валовой состав золы 46  
Влагоемкость 65  
Водопроницаемость 10, 26, 64  
Воздухоносная пористость 65, 78, 121
- Галечник аллювиальный 42, 43  
Глей окисленный 38  
    редуцированный 38  
Глинование 18  
Глубокое осушение 32, 33  
Горизонт глеевый 38  
    древесный 39  
    зольный 37  
    перегойный 38
- Деградация почв гидротермическая 22, 60  
    пирогенная 21, 32  
    механическая 63, 64
- Зола 37, 46, 47  
Зольность конституационная торфа 10, 11  
Защита почв от деградации 128
- Использование пирогенных образований 130, 131
- Капиллярная кайма 32, 33, 88  
Кварцевый песок водоносный оглеенный 15, 32  
Кульмашина 56  
Культура земледелия северная 54  
    покровная 55, 65, 73  
    смешанная 55, 73  
    смешанно-слоистая 57  
    римпауская 55, 65  
    шведская 55  
    черная 53, 65
- Мерзлота 69, 79  
Метод определения  
    влажности 63  
    дыхания 123  
    плотности сложения 63  
    температуры 63  
    фильтрации почв 63  
Метод капсул 94  
Миграция песка 87  
Минеральное дно болота 33  
Минерализация торфа 112



- Мультисубстратное тестирование 102, 103
- Парниковый эффект 123
- Пескование 54, 58
- Пирогенная деградация
  - глубинная 21
  - поверхностная 21
  - локальная 22
  - тотальная 22
- Пирогенные образования
  - перегонные 37
  - песчаные 38
  - древесные 39
  - торфяные 139
- Пирогенно измененные торфяные почвы 21, 23
- Плотность твердой фазы 65, 77
- Плотность почвы 30, 65, 60, 77
- Пожары лесов 16
- Пожары торфяных почв 17
- Полесья 25
- Польдер летний 25
- зимний 30
- Пористость почвы 77
- Поташ 46
- Потери органического вещества 48, 47
- Потоки диоксида углерода 123
- Почвы дерново-глеевые 78
- торфяные маломощные 77
- среднемощные 77
- Распад органического вещества торфа 33
- Растительность пионерная 43, 44
- Режим азотный 125
- водный 66, 71, 76
- температурный 68, 69, 79, 80, 82
- Реакция щелочная золы 44, 47
- Рекультивация 127, 130, 133, 138, 140
- Самотечное осушение 34
- Сапропель 25
- Степень разложения торфа 28, 29
- Структурная мелиорация 58
- Теплоемкость 68
- Теплоотдача 68
- Температуропроводность 69
- Тепловой эффект 66, 81, 86
- Торфяная залежь верховая 10
- низинная 11
- переходная 10
- Эмиссия диоксида углерода 103, 123

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

*Аверьянов С.Ф., Юневич Д.П., Игнатьева В.М.* Глубокое осушение низинных болот // Гидротехника и мелиорация. 1960. № 5. С. 24—36.

*Алексеева Ю.С., Колотовский В.В., Малышева Г.А.* Улучшение теплового режима почв Мурманской области // Мелиорация сезонно-мерзлотных почв. Л.: СевНИИГиМ, 1981. С. 111—119.

*Бамбалов Н.Н.* Проблема сохранения органического вещества мелиорированных торфяных почв Полесья // Проблемы полесья. Минск. Наука и техника. Вып. 8. 1982. С. 196—203.

*Бамбалов Н.Н.* Баланс органического вещества торфяных почв и методы его изучения. Минск: Наука и техника, 1984. 74 с.

*Бамбалов Н.Н.* Проблемы биогеохимии торфяных почв // Тез. докл. научн. конф.: «Гидрологическая роль торфяных месторождений и использование их в сельском хозяйстве». БелНИИМиВХ, Минск, 1981. — С. 96—100.

*Бамбалов Н.Н.* Особенности органического вещества почв выработанных торфяников. Калинин: Изд-во ВНИИМЗ, 1988. Повышение эффективности использования мелиорированных земель и торфяных ресурсов. С. 37—46.

*Барановский А.З.* Влияние использования торфяно-болотных почв на сработку торфа и урожай сельскохозяйственных культур // Почвоведение. 1981. №2. С. 105—116.

*Барсуков А.И., Трибис В.П.* К вопросу пескования органо-генных почв // Вестник сельскохозяйственной науки. 1973. № 2. С. 68—72.

*Бачила С.С.* Деградация осушенных земель и их потенциальное плодородие // Почвы и их плодородие на рубеже столетий. Материалы II съезда Белорусского общества почвоведов. Минск, 2001. Кн. 3. С. 12—14.

*Белковский В.И.* Улучшение свойств торфяных почв // Научно-технический прогресс и развитие производства. Минск: Урожай, 1982. С. 112—118.

*Белковский В.И., Казаков В.С.* Структурная мелиорация торфяно-болотных почв. М.: Колос, 1973. 176 с.

*Белковский В.И., Зоткин В.П.* Повышение плодородия и рациональное использование торфяных почв. М.: Россельхозиздат, 1986. 126 с.

*Белковский В.И., Даутина Д.Б., Лашкевич И.П.* Внесение песка в осушенную торфяную почву // Земледелие. 1978. № 9. С. 63—64.

*Белковский В.И., Горошко В.М.* Плодородие и использование торфяных почв. Минск.: Ураджай, 1991. — 295 с.

*Беневоленский И.И.* Обзор работ Архангельского болотного опытного поля // Труды Архангельского болотного опытного поля. Вып. 1. 1950. С. 17—25.

*Берш В.* Руководство по культуре болот. СПб., 1912. — 254 с.

*Бурматов И.М., Емельянова И.М., Петрова М.П.* Влияние пескования и глинования на изменение агрохимических свойств торфяно-болотных почв и урожай сельскохозяйственных культур // Осушение и освоение заболоченных земель. Л., 1974. С. 36—41.

*Вавуло Ф.П., Воробьева Е.Н., Плоткина Н.Н.* Изменение микробиологических процессов в заболоченных почвах в связи с их окультуриванием // Динамика микробиологических процессов в почве и обуславливающие ее факторы: Материалы симпозиума 4—5 сент. Таллин. 1974 г. АН ЭССР. Ч. 2. 1974. С. 42—45.

*Вознюк С.Т., Оленевич В.А., Лыко Д.В.* Пескование и эффективное плодородие мелиорируемых торфяников // Вестник с.-х. науки. 1978. № 10. С. 117—123.

*Вомперский С.Э., Иванов А.И., Цыганова О.П. и др.* Заболоченные орагногенные почвы и болота России и запас углерода в их торфах // Почвоведение. 1994. № 12. С. 17—25.

*Габбасова И.М., Сулейманов Р.Р.* Пирогенная деградация и рекультивация осушенных торфяных почв // Тезисы докладов Всеросс. конф. «Гидроморфные почвы — генезис, мелиорация, использование». М.: Ф-т почвоведения МГУ, 2002. С. 50.

*Гельцер Ю.Г.* Биологическая активность почв. М.: Изд-во МГУ, 1986. С. 3—16.

*Головки Д.Г.* Влияние осушения торфяных почв Мещерской низменности на их водно-воздушный и пищевой режимы // Почвоведение. 1972. № 12. С. 127—141.

*Донских И.Н., Шаповалова В.И.* О режиме влажности на торфяно-болотных почвах при осушении закрытым дренажем и откры-

той сетью глубоких каналов // Труды Великолукского с.-х. ин-та. Вып. 10. 1970. С. 101—108.

*Емельянова И.М., Малышева Р.А., Петрова М.П.* Повышение плодородия торфяных почв. Л.: Колос, 1981. — 94 с.

*Ефимов В.Н.* Торфяные почвы. М.: Агропромиздат, 1980. — 120 с.

*Ефимов В.Н.* Торфяные почвы и их плодородие. М.: Агропромиздат, 1986. — 264 с.

*Загурский М.В., Белковский В.И., Даутина Д.Б.* Влияние минеральных компонентов на водные свойства и влагозапасы торфяной почвы // Тр. Белорус. НИИ мелиор. и вод. хозяйства. 1975. Вып. 23. С. 147—154.

*Зайдельман Ф.Р.* Определение объемного веса торфяных почв // Почвоведение. 1955. № 5. С. 76—77.

*Зайдельман Ф.Р.* Глубокое осушение низинных болот // Гидротехника и мелиорация. 1960. № 11. С. 25—31.

*Зайдельман Ф.Р.* Режим и условия мелиорации заболоченных почв. М.: Колос, 1975. — 317 с.

*Зайдельман Ф.Р.* Мелиорация заболоченных почв Нечерноземной зоны РСФСР: Справочная книга. М.: Колос, 1981. — 168 с.

*Зайдельман Ф.Р.* Эколого-мелиоративное почвоведение гумидных ландшафтов. М.: Агропромиздат, 1991. — 328 с.

*Зайдельман Ф.Р.* Мелиорация почв. М.: Изд-во МГУ, 1996. — 382 с.

*Зайдельман Ф.Р.* Защита почв от деградации // Аграрная наука. 1998. № 5. С. 23—25.

*Зайдельман Ф.Р.* Почвы полесий — гидрология, эколого-мелиоративная оценка и мониторинг // Эколого-экономические принципы эффективного использования мелиорированных почв. Материалы конф. Минск, 2000. С. 12—16.

*Зайдельман Ф.Р.* Почвы полесий — генезис, гидрология, мелиорация и использование // Почвоведение. 2001. № 8. С. 981—991.

*Зайдельман Ф.Р., Рыдкин Ю.И., Агарков В.А.* Агроэкономическая оценка осушенных торфяных почв и эффективность их пескования в совхозе «Беломорский» Архангельской области // Исследование почв на Европейской Севере. IV Сибирцевские чтения. Архангельск, 1990. С. 119—121.

*Зайдельман Ф.Р., Рыдкин Ю.И., Агарков В.А.* Влияние пескования и покровной культуры земледелия на свойства, гидротермический режим и продуктивность осушенных торфяных почв дельты

Северной Двины // Научная сессия, посвященная 135-летию со дня рождения Н. М. Сибирцева. V Сибирцевские чтения. Архангельск, 1995. С. 45.

*Зайдельман Ф.Р., Рыдкин Ю.И., Агарков В.А.* Агрофизические особенности осушенных торфяных и минеральных почв Архангельской области и их изменения при песковании // Вестник Московского университета. Сер. 17. Почвоведение. 1991. № 7. № 3. С. 54—60.

*Зайдельман Ф.Р., Рыдкин Ю.И., Агарков В.А.* Гидротермический режим торфяных и минеральных почв дельты реки Северная Двина // Почвоведение. 1993. № 10. С. 104—110.

*Зайдельман Ф.Р., Банников М.В., Шваров А.П.* Структура и экологическая оценка пирогенных образований на сгоревших осушенных торфяных почвах // Вестник Московского университета. Сер. 17. Почвоведение. 1998. № 2. С. 26—31.

*Зайдельман Ф.Р., Банников М.В., Шваров А.П.* Пожары на осушенных торфяных почвах — экологическое бедствие России // Аграрная наука. 1999. № 4. С. 9—10.

*Зайдельман Ф.Р., Банников М.В., Шваров А.П.* Пирогенные образования на месте осушенных сгоревших почв — свойства и плодородие // Почвоведение. 1999а. № 9. С. 1150—1159.

*Зайдельман Ф.Р., Банников М.В., Шваров А.П.* Последствия пожаров на осушенных торфяных почвах // Мелиорация и водное хозяйство. 2001. № 2. С. 40—44.

*Зайдельман Ф.Р., Батраков А.С., Шваров А.П., Банников М.В.* Влияние разных способов внесения песка в осушенные торфяные почвы на их физические свойства // Вестник Московского университета. Сер. 17. Почвоведение. 2002. № 1. С. 33—39.

*Зайдельман Ф.Р., Шваров А.П.* Влияние пескования на свойства осушаемых торфяных почв // Мелиорация и водное хозяйство. 1995. №2. С. 31—33.

*Зайдельман Ф.Р., Шваров А.П., Банников М.В.* Судьба осушенных торфяных почв России // Природа. 1999. № 7. С. 40—51.

*Зайдельман Ф.Р., Шваров А.П., Банников М.В., Павлова Е.Б.* Влияние разных способов внесения песка в осушенные торфяные почвы на их гидротермический режим // Почвоведение. 1995. № 8. С. 969—975.

*Зайдельман Ф.Р., Кожевин П.А., Шваров А.П., Павлова Е.Б., Горленко М.В.* Влияние разных способов пескования на биологическую активность и элементы газового режима осушенных торфяных почв // Почвоведение. 2001. № 2. С. 234—244.

*Зайдельман Ф.Р., Шваров А.П.* Потоки диоксида углерода в осушенных торфяных почвах // Вестник Московского университета. Сер. 17. Почвоведение. 2001. № 3. С. 16—20.

*Зайко С.М., Вашкевич Л.Ф., Свирновский Л.Я.* Изменение структуры почвенного покрова мелиорированных территорий // Проблемы Полесья. Минск, 1981. Вып. 7. С. 181—186.

*Зайко С.М., Вашкевич Л.Ф., Свирновский Л.Я.* Эволюция почв мелиорированных территорий Белоруссии // Минск: Изд-во «Университетское», 1990. 288 с.

*Зайко С.М., Вашкевич Л.Ф., Горблюк Л.Н., Глазкова Л.Н., Бачила С.С.* Прогноз изменения осушенных торфяно-болотных почв республики // Эколого-экономические принципы эффективного использования мелиорированных земель. Материалы конференции. Минск, 2000. С. 104—107.

*Зименко Т.Г., Гаврилкина Н.В., Мисник А.Г.* Изменение микробиоценозов торфяных почв под влиянием антропогенного воздействия // Тр. Международного симпозиума IV и II комиссии МТО. Минск, 1982. С. 124—128.

*Зименко Т.Г.* Пути сохранения плодородия торфяно-болотных почв. Обзорная информация. Минск, 1991. С. 16—24.

*Иванов К.Е.* Основы гидрологии болот лесной зоны. Л.: Гидрометеиздат, 1957. — 500 с.

*Иванов Н.П., Куликов Я.К., Кудло Т.А.* Влияние землевания торфяных почв на баланс азота, фосфора и калия в севообороте // Агрохимия. 1992. № 12. С. 40—45.

*Иванов Н.П., Липская Г.А., Чертко Н.К., Колешко О.Н.* Землевание торфяных почв как метод сохранения торфа и охраны природной среды // Проблемы Полесья. Минск: Навука і тэхніка, 1991. Вып. 13. С. 128—135.

*Калинина В.В.* Влияние пескования на изменение свойств и плодородия торфяно-болотной почвы в условиях Карельского перешейка Ленинградской области. Автореф. дисс. ... канд. с.-х. наук. Л.: Пушкин, 1967. — 22 с.

*Кошев В.П.* Изменение водно-физических свойств пойменных торфяных почв под влиянием мелиорации в Архангельской области // Научная сессия, посвященная 135-летию со дня рождения Н. М. Сибирцева. V Сибирцевские чтения. Архангельск, 1995. С. 113—115.

*Кошев В.П., Галдина С.А., Лагутина Т.Б.* Мелиорация пойменных земель Северной Двины // Проблемы освоения пойм северных рек. М., 1987. С. 24—27.

*Логинов И.И.* Изменение торфяных почв Барабинской низменности под влиянием мелиорации. Мелиорация земель Сибири и Дальнего Востока. М.: Агропромиздат, 1985. С. 44—49.

*Логинов И.И.* Торфяные почвы Барабы, особенности их мелиорации и сельскохозяйственного освоения. Автореф. дисс. ... докт. биол. наук. М., 1986.

*Лундин К.П.* Изменения водно-физических свойств торфяников под влиянием осушения и сельскохозяйственного использования // Изменение торфяных почв под влиянием осушения и использования. Минск: Урожай, 1969. С. 82—99.

*Масловский А.А., Алексеенко С.М.* Эффективность пескования торфяников // Мелиорация и освоение земель. Т. 105. 1973. С. 58—71.

*Мацяк Ф.* Биохимические изменения в органических почвах под влиянием известкования, глинования и пескования // Изменение торфяных почв под влиянием осушения и использования. Минск: Урожай, 1969. С. 51—64.

*Медведев А.Г., Горблюк А.В., Иванов Н.П., Шабанова В.И.* Оптимизация мелиорированных торфяных почв в целях повышения их плодородия и охраны от сработки // Проблемы Полесья. Минск: Наука и техника, 1981. С. 79—86.

*Окрушко Г., Ливски С.* Сельскохозяйственная ценность почв болотного происхождения в связи с минерализацией осушенных торфяников // Изменение торфяных почв под влиянием осушения и использования. Минск: Урожай, 1969. С. 105—113.

*Оношко Б.Д.* Культура болот. М.: Сельхозгиз, 1934. — 573 с.

*Петрова М.П.* Улучшение торфяно-болотных почв Северо-Запада РСФСР путем добавки минерального грунта различного механического состава // Автореф. дисс. ... канд. с.-х. наук. Л.; Пушкин: Ленинградский с.-х. ин-т, 1997. — 22 с.

*Попов И.В.* Отчет Камского опорного пункта // Тр. с.-х. опытной станции Медвежья Гора. Изд-во КВО, ББК, 1931. С. 31—48.

*Пьявченко Н.И.* Лесное болотоведение М.: Изд-во АН СССР, 1963. — 192 с.

*Пьявченко Н.И.* Торфяные почвы, их природное и хозяйственное значение. М.: Наука, 1985. — 152 с.

*Римпай* // Энциклопедический словарь «Брокгауз—Ефрон». Т. XXVI. СПб., 1899.

*Сапожников А.П.* Биогеоценотические и лесоводственные аспекты пирогенеза лесных почв // Горение и пожары в лесу. Ч. 3. Красноярск, 1979. С. 96—104.

*Скоропанов С.Г.* Освоение и использование торфяно-болотных почв. Минск: Изд-во АН БССР, 1961. — 250 с.

*Скоропанов С.Г., Барсуков А.И.* Мелкозалежные торфяники и органическое вещество // Мелиорация и проблемы органического вещества. Минск, 1974. С. 56—61.

*Скрынникова И.Н.* Почвенные процессы в окультуренных торфяных почвах. М.: Изд-во АН БССР, 1961. — 248 с.

*Смеян Н.И.* Гидроморфные почвы Беларуси и проблема их сельскохозяйственного использования // Гидроморфные почвы — генезис, мелиорация и использование. Пленарные доклады Всероссийской научно-практической конференции. Ф-т Почвоведения МГУ. 2002. С. 20—24.

*Такке Б.* Научные основы культуры болот. М.: Сельхозгиз, 1930.

*Тен Хак Мун, Имранова Е.П., Кириенко О.А.* Влияние пожара на деградацию микробиоценоза пойменных почв и мера его восстановления // Тез. докладов Всероссийской научно-практической конференции «Гидроморфные почвы — генезис, мелиорация и использование». М.: Ф-т Почвоведения МГУ, 2002. С. 67.

*Тюремнов С.Н.* Торфяные месторождения. М.: Недра, 1976. 3-е изд. — 488 с.

*Чугунов Л.А.* Из результатов опытной работы Волховского опорного пункта по культуре сфагнового болота северным методом. Волхов: Леномс, 1931. Вып. 3. — 68 с.

*Шваров А.П.* Степень проявления гистерезиса зависимости капиллярно-сорбционного потенциала от влажности почвы // Почвоведение, 1982. № 3. С. 123—126.

*Штатнов В.И.* К методике определения биологической активности почвы // Доклады Всесоюзной академии с.-х. наук им. Ленина. Вып. 3. 1952. С. 27—33.

*Eggelsmann R.* Dränanleitung für Landbau, Ingenieurbau, Landschaftsbau. 2 Aufl. Verlag Paul Parey. Hamburg und Berlin. 1981. 265 S.

*Göttlich Kh., Kuntze H.* Moorkultivierung, Nutzen und Verwendung in Land- und Forstwirtschaft // Moor- und Torfkunde. 2. Aufl. Stuttgart, 1980. S. 231—247.

*Gorlenko M.V., Majorova T.N., Kozevin P.A.* Disturbances and Their Influence on Substrate Utilization Patterns in Soil Microbial Communities // Microbial Communities. Tunctional Versus Structural Approaches (Insam H., Rengger A., Eds.). Berlin, N. I. Springer. 1997. P. 84—93.



*Hanus H., Knoch H.G.* Beitrag zur Metodik der Wasserpermeabilitätsmessung an ungestörten Bodenproben. Z. f. Pflanzenern., Düngung und Bodenk. 1965. Bd. 111.

*Heikurainen L.* Improvement of Forest Growth on Poorly Drained Peat Soiles // Internat. Rev. Forestry Res. N.Y.; London: Academic Press. 1964. V. 1. P. 40—101.

*Kuntze H.* Prozesse der Bodenentwicklung auf Sandmischkulturen // Berichte der Sektion IV der DGMT. Hannover, 1987. Bd. 17. S. 294—297.

*Okruszko H., Kozakiewicz A.* Humifikacja i mineralizacja jako elementy procesu murczenia gleb torfowych // Zecr. probl. poster, nauk roln. (ZPPNR). 1973. Z. 146. S. 63—76.

*Rimpau T.D.* Bewirtschaftung des Ritter gutes Gunrau, insbesondere des Niederungsmoor durch Dammkultur. Berlin, 1887. — 218 S.

*Schmatzler E.* Entwicklung der Hochmoorregeneration in Niedersachsen. Regeneration von Hochmooren // Berichte des Moor Symposiums. Juni 1980 in Vechta. BSH-Verlag, 1982. S. 183—194.

*Zaidelman F., Shwarov A.P.* Hydrothermic Regime, Dynamics of Organic Matter and Nitrogen in Drained Peaty Soils at Different Sanding Modes // Arch. Acker — und Pfl., Bobenk. 2000. Bd. 45. S. 123—142.

***Научно-практическое издание***

**Зайдельман Феликс Рувимович, Шваров Александр Петрович**

**ПИРОГЕННАЯ И ГИДРОТЕРМИЧЕСКАЯ ДЕГРАДАЦИЯ  
ТОРФЯНЫХ ПОЧВ, ИХ АГРОЭКОЛОГИЯ, ПЕСЧАНЫЕ КУЛЬТУРЫ  
ЗЕМЛЕДЕЛИЯ, РЕКУЛЬТИВАЦИЯ**

Подписано в печать 31.10.2002. Формат 60 × 90/16.  
Печать офсетная. Бумага офсетная. Гарнитура Arial.  
Усл. печ. л. 10,5. Уч. изд. л. 10,0.  
Тираж 500 экз. Заказ № 3765.

Ордена «Знак Почета» Издательство Московского университета,  
125009, Москва, ул. Большая Никитская, д. 5/7

Отпечатано в ФГУП «Производственно-издательский комбинат ВИНТИ».  
140010, г. Люберцы Московской обл., Октябрьский пр-т, д. 403.  
Тел.: 554-21-86



**Зайдельман Феликс Рувимович** — заслуженный деятель науки Российской Федерации, лауреат Государственной премии, доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры физики и мелиорации почв факультета почвоведения Московского государственного университета им. М. В. Ломоносова. Основные направления работ — генезис, гидрология, мелиорация, агроэкология, использование и охрана почв.

По этим вопросам им опубликовано 360 научных, научно-практических и прикладных работ. В том числе 20 монографий, два учебника для вузов, 15 научно-практических рекомендаций, внедренных в производство, научное открытие. Под его редакцией изданы три агроландшафтные карты Российского Нечерноземья, опубликовано более 300 статей по основным направлениям работ.



**Шваров Александр Петрович** — кандидат биологических наук, доцент кафедры физики и мелиорации почв на факультете Почвоведения Московского Государственного Университета. Более 20 лет посвятил изучению генезиса, гидрологии и мелиорации почв. По этим вопросам им опубликовано свыше 40 научных работ.