

2020

T.12, № 1-2

МЕЖДИСЦИПЛИНАРНЫЙ НАУЧНЫЙ
И ПРИКЛАДНОЙ ЖУРНАЛ



БИОСФЕРА

ISSN 2077-1371 / www.21bs.ru

БИОСФЕРА 2020 Т. 12 № 1-2

DOI: 10.24855/BIOSFERA.V12I1.538

УДК: 551.312:556.55

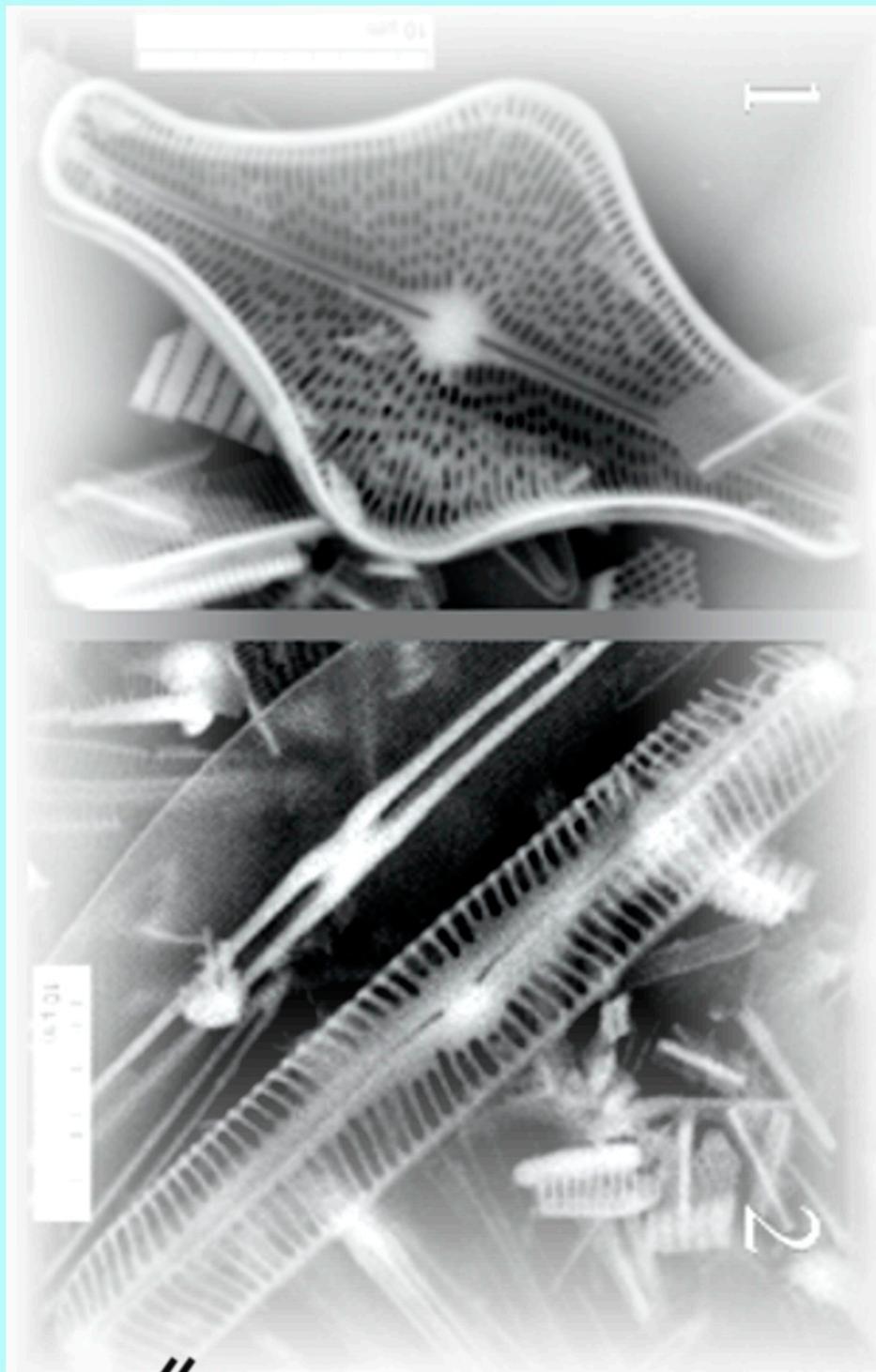
***ПРИРОДА**

© А.Л. Косова и соавт.; ФНИ «XXI век»

**ТАКСОНОМИЧЕСКОЕ РАЗНООБРАЗИЕ ДИАТОМОВЫХ КОМПЛЕКСОВ ГОЛОЦЕНОВЫХ ДОННЫХ
ОТЛОЖЕНИЙ МАЛЫХ ВОДОЕМОВ ДЕПРЕССИИ ОЗЕРА ИМАНДРА**

А.Л. Косова¹, Д.Б. Деннсов¹, С.Б. Николаева²

¹Институт проблем промышленной экологии Севера и Геологический институт, Кольский научный центр РАН,
Апатиты, Россия



© ФОНД НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ «XXI ВЕК»
РОССИЙСКАЯ ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ АКАДЕМИЯ

БИОСФЕРА

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

Том 12, № 1-2

Санкт-Петербург
2020



BIOSPHERE

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

Vol. 11, No. 4

Saint Petersburg
2020

© «XXI CENTURY» RESEARCH FOUNDATION
RUSSIAN ECOLOGICAL ACADEMY

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

EDITORIAL BOARD

РОССИЙСКОЕ ПРЕДСТАВИТЕЛЬСТВО В РЕДАКЦИОННОЙ КОЛЛЕГИИ

DOMESTIC EDITORIAL BOARD

МЕЖДУНАРОДНЫЙ РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ

**INTERNATIONAL
ADVISORY BOARD**



ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР:

Э.И. Слепян (С.-Петербург)

EDITOR-IN-CHIEF

E.I. Slepian (Saint Petersburg)

ЗАМЕСТИТЕЛЬ

ГЛАВНОГО РЕДАКТОРА:

А.Г. Голубев (С.-Петербург)

DEPUTY EDITOR-IN-CHIEF

A.G. Golubev (Saint Petersburg)

СЕКРЕТАРЬ РЕДАКЦИИ:

И.М. Татарникова

EDITORIAL SECRETARY:

I.M. Tatarnikova

ДИЗАЙН: Ю.С. Братишко

DESIGN: Y.S. Bratishko

ВЕРСТКА: Т.А. Слащева

LAYOUT: T.A. Slascheva

КОРРЕКТОР: Н.А. Натарова

PROOFREADING: N.A. Natarova

АДМИН САЙТА:

И.В. Перескоков

SITE ADMIN: I.V. Pereskokov

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

М.Д. Голубовский (Окленд, США)

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

М. Клявинш (Рига, Латвия)

M. Klavins (Riga, Latvia)

К. Оболевский

(Быгдоць, Польша)

K. Obolevsky (Bydgoszcz, Poland)

Я. Олексин (Курник, Польша)

J. Oleksyn (Kornik, Poland)

А.А. Протасов (Киев, Украина)

A.A. Protasov (Kiev, Ukraine)

В. Реген (Берлин, Германия)

W. Regen (Berlin, Germany)

Ю.Г. Тютюнник (Киев, Украина)

Yu.G. Tyutyunnik (Kiev, Ukraine)

О. Чертов

(Бинген-на-Рейне, Германия)

O. Chertov

(Bingen am Rhein, Germany)

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

от 08 августа 2008 г.

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

АДРЕС РЕДАКЦИИ:

197110, Санкт-Петербург,

Большая Разночинная ул., д. 28;

Тел./факс: (812) 415-41-61

Эл. почта: biosphaera@21mm.ru

Электронная версия:

http://21bs.ru (ISSN 2077-1460)

POSTAL ADDRESS:

28 Bolshaya Raznochinnaya, 197110,

Saint Petersburg, Russia;

Phone/fax: +7 (812) 415-41-61;

E-mail: biosphaera@21mm.ru

Online version:

http://21bs.ru (ISSN 2077-1460)

Содержание	A3	Contents
ПРАКТИКА		
PRACTICE		
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДОВ БИОТЕСТИРОВАНИЯ ДЛЯ ОЦЕНКИ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ПОЧВОГРУНТОВ РЕКУЛЬТИВИРОВАННОГО КАРЬЕРА Т.В. Бардина, М.В. Чугунова, В.В. Кулибаба, В.И. Бардина	1	THE USE OF BIOLOGICAL TESTING APPROACHES TO ASSESSING THE ECOLOGICAL CONDITIONS OF SOILS IN A RECLAIMED SURFACE MINE T.B. Bardina, M.V. Chugunova, V.V. Kulibaba, V.I. Bardina
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ЗАПАДИННЫХ КОМПЛЕКСОВ НА СПОСОБНОСТЬ ПОЧВ К ВОСПРОИЗВОДСТВУ ПЛОДОРОДИЯ К.Ю. Зотова, К.Е. Стекольников	12	DETERMINATION OF THE INFLUENCE OF DRANLESS DEPRESSIONS OF RELIEF ON THE SUSTAINABILITY OF SOIL FERTILITY K.Yu. Zotova, K.Ye. Stekolnikov
ПРИРОДА		
NATURE		
ТАКСОНОМИЧЕСКОЕ РАЗНООБРАЗИЕ ДИАТОМОВЫХ КОМПЛЕКСОВ ГОЛОЦЕНОВЫХ ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ МАЛЫХ ВОДОЕМОВ ДЕПРЕССИИ ОЗЕРА ИМАНДРА А.Л. Косова, Д.Б. Денисов, С.Б. Николаева	19	TAXONOMIC DIVERSITY OF DIATOM COMPLEXES OF HOLOCENE BOTTOM SEDIMENTS OF SMALL WATER BODIES WITHIN THE LAKE IMANDRA DEPRESSION A.L. Kosova, L.B. Denisov, S.B. Nikolayeva
ВЛИЯНИЕ ЛЕСНЫХ ПОЖАРОВ НА ФОРМИРОВАНИЕ ПРОФИЛЯ ПОДЗОЛОВ М.А. Надпорожская, Б.А. Павлов, Д.М. Мирин, К.Л. Якконен, А.М. Седова	32	THE INFLUENCE OF FOREST FIRES ON THE FORMATION OF THE PROFILE OF PODZOLS M.A. Nadporozhskaya, B.A. Pavlov, D.M. Mirin, K.L. Yakkonen, A.M. Sedova
ОБЩЕСТВО		
SOCIETY		
ОСОБО ОХРАНЯЕМЫЕ ПРИРОДНЫЕ ТЕРРИТОРИИ И КОРЕННЫЕ НАРОДЫ: СПОСОБЫ РЕШЕНИЯ КОНФЛИКТОВ В СРАВНЕНИИ МЕЖДУ БРИТАНСКОЙ КОЛУМБИЕЙ (КАНАДА) И ПРИМОРСКИМ КРАЕМ (РОССИЯ) А.В. Бочарникова	45	PROTECTED AREAS AND INDIGENOUS PEOPLES: APPROACHES TO CONFLICTS SOLVING IN BRITISH COLUMBIA (CANADA) AND PRIMORSKIY REGION (RUSSIA) COMPARED A.V. Bocharnikova
РЕЦЕНЗИИ И ДИСКУССИИ		
VIEWS AND REVIEWS		
ОРГАНИЧЕСКОЕ ЗЕМЛЕДЕЛИЕ В РОССИИ – БЛАГО ИЛИ КАТАСТРОФА? К.Е. Стекольников	53	ORGANIC AGRICULTURE IN RUSSIA: A GOOD OR A DISASTER? K.E. Stekolnikov
ПРИЛОЖЕНИЯ		
APPENDICES		
Новые книги по материалам публикаций в журнале “Биосфера”	A5	Novel books based on publications in the journal Biosphere

УДК 631.453; 504.054

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДОВ БИОТЕСТИРОВАНИЯ ДЛЯ ОЦЕНКИ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ПОЧВОГРУНТОВ РЕКУЛЬТИВИРОВАННОГО КАРЬЕРА

Т.В. Бардина*, М.В. Чугунова, В.В. Кулибаба, В.И. Бардина

Санкт-Петербургский научно-исследовательский центр экологической безопасности
Российской академии наук, Санкт-Петербург Россия

* E-mail: bardinatv@mail.ru

Статья поступила в редакцию 30.01.2010; принята к публикации 05.06.2020

Рассмотрена возможность применения разных методов биотестирования для экотоксикологической оценки почвогрунтов объекта прошлого экологического ущерба. Такие почвогрунты содержат загрязняющие вещества неизвестного состава. Поэтому в схему экологического контроля почвогрунтов наряду с химическим анализом необходимо включать биологические исследования, в частности биотестирование. Различные тест-организмы отличаются по своей чувствительности к токсикантам. Поэтому для повышения точности оценки токсичности почвогрунтов необходимо применять серию биотестов с использованием тест-организмов из различных таксономических групп. Исследования проведены на территории карьера, расположенного в Приневской низменности (Ленинградская область) и образованного в результате добычи кирпичных глин. Карьер был рекультивирован путем засыпки суглинистым грунтом с использованием бытовых отходов. Это привело к образованию на территории вторичного очага загрязнения. С помощью стандартных физико-химических и химических методов в почвогрунтах были определены pH, общая щелочность, удельная электропроводность, содержание валовых форм тяжелых металлов, нефтепродуктов и бенз(а)пирена. Экотоксикологическая оценка почвогрунтов проводилась с помощью элюатных и контактных методов биотестирования, в том числе авторской методики, включенной в Госреестр. В качестве тест-организмов использовались рачки *Daphnia magna*, инфузории *Paramecium caudatum*, одноклеточная водоросль *Chlorella vulgaris*, пшеница *Triticum aestivum*, природный комплекс микроорганизмов, состояние которого оценивали по ферментативной активности почвы. Химико-аналитические исследования не выявили превышения содержания токсичных веществ в почвогрунтах над принятыми нормативами. Методы биотестирования оказались более чувствительными. С их помощью токсичность была обнаружена во всех почвогрунтах. Выявлены наиболее эффективные и чувствительные биотесты, пригодные для экологического контроля почвогрунтов карьеров по выработке глин.

Ключевые слова: биотестирование, экотоксиканты, тест-культура, биотест-система.

THE USE OF BIOLOGICAL TESTING APPROACHES TO ASSESSING THE ECOLOGICAL CONDITIONS OF SOILS IN A RECLAIMED SURFACE MINE

T.V. Bardina*, M.V. Chugunova, V.V. Kulibaba, V.I. Bardina

Saint-Petersburg Research Center of Environmental Safety, the Russian Academy of Science, Saint Petersburg, Russia

*E-mail: bardinatv@mail.ru

The appropriateness has been evaluated of different approaches to biological testing of soils from sites that have accumulated the results of past environmental insults. Since such soils feature the presence of unknown pollutants, it is expedient to supplement the chemical control with the biological testing thereof. Organisms used in biological testing differ in their sensitivity to different pollutants. Therefore, it is reasonable to use test batteries comprising organisms from different taxonomic groups. The present study has been carried out in a former open mine territory located in Prinevskaya Depression (Leningrad Region). The mine was used sometimes ago to obtain clay for brick manufacturing. Thereafter, the mine pit was covered with a loamy soil contaminated with solid household waste. This resulted in the development of a secondary pollution focus. Standard physical and chemical methods were used to determine pH, total alkalinity, specific conductivity, heavy metals, oils products and benzo(a)pyrene in soil samples obtained from the site. Biological testing was performed using eluting and contact approaches, including an original method approved by State Register. The test organisms were *Daphnia magna* water flea, *Paramecium caudatum* infusoria, *Chlorella vulgaris* alga, and *Triticum aestivum* wheat. Soil microorganism complex was assessed by soil enzymatic activities. Chemical and physical analyses did not reveal increases in pollutant markers above normative values. Biological testing proved to be more sensitive. Their use suggested that all soil samples were somewhat toxic. The most appropriate methods for testing former open clay mines have been selected.

Keywords: biological testing, environmental toxicants, test system.

Введение

При оценке экологических рисков загрязненного почвенного покрова учитывают данные не только химических исследований, но и экотоксикологических, проводимых с помощью биотестирования [12, 22, 24]. Биотестирование относится к интегральным методам оценки состояния природных сред, в том числе загрязненных почвогрунтов. В почвогрунтах объектов, где образовались очаги загрязнения со сложным составом токсикантов, содержится большое количество загрязняющих веществ неизвестного состава, обладающих кумулятивным токсическим эффектом, который не позволяет

сделать достоверный экологический прогноз только на основе химических определений. В связи с этим в систему экологического контроля объектов окружающей среды вводится биотестирование, представляющее собой лабораторный метод оценки качества объекта с использованием тест-организма, который используется для выявления суммарной токсичности среды. Методы биотестирования в настоящее время стали весьма востребованными в экологическом мониторинге природных и техногенных сред [30]. С помощью методов биотестирования можно быстро и с минимальными затратами оценивать интегральную токсичность сложных природных объектов. Поэтому многие исследователи выступают за то, чтобы биотестирование наряду с химическими методами включать в систему природоохранной стратегии [2, 5, 17].

Известно, что различные тест-организмы отличаются по своей чувствительности к токсикантам. В связи с этим для повышения объективности исследования токсичности объекта применяют серию биотестов, в которых используют тест-культуры, относящиеся к различным таксономическим группам [25]. Кроме этого выявлено, что для адекватной оценки токсичности твердых объектов, к которым относится почвенный покров, применение методов только элюатного биотестирования (биотестирование водной вытяжки с использованием различных гидробионтов в качестве тест-организмов) недостаточно. Применение гидробионтов для тестирования позволяет оценить лишь опасность растворов, выщелачиваемых из образца, для пограничных экосистем [9]. Однако, когда надо установить токсичность твердого объекта, возникает необходимость применять и субстратное (иначе – контактное) биотестирование. Этот способ обеспечивает непосредственный контакт тест-организма с исследуемым образцом и таким образом позволяет установить уровень воздействия твердых загрязнителей [16, 17].

В настоящее время весьма актуальным является разработка новых методов биотестирования, а также выявление возможности применения разных биотест-систем с использованием тест-организмов из разных таксономических групп для точного установления экологического состояния конкретных объектов [27]. Для адекватной оценки экологического состояния почвогрунтов объектов прошлого (накопленного) экологического ущерба такие биотест-системы до сих пор не выявлены.

В связи с этим целью нашего исследования была разработка оптимального набора биотест-систем, с помощью которого можно адекватно и в короткие сроки оценить экологическое состояние почвогрунтов вторичных объектов прошлого экологического ущерба, таких как рекультивированные глинистые карьеры.

Объект и методы исследования

К числу объектов накопленного экологического ущерба на территории Северо-Запада Российской Федерации относятся рекультивированные с помощью твердых бытовых отходов глинистые карьеры. Несмотря на то, что почвогрунты этих образований могут представлять опасность для окружающей природной среды, изучение их интегральной экотоксичности методами биотестирования до сих пор не проводилось.

Объектами нашего исследования были почвогрунты, сформированные на территории карьера, расположенного на правом берегу р. Невы в Приневской низменности и образованного в результате добычи кирпичных глин (рис. 1). После прекращения выработки глин была произведена его рекультивация путем засыпки суглинистым грунтом с использованием бытовых отходов. Это привело к тому, что на территории образовался вторичный очаг загрязнения, связанного с анаэробной ферментацией органического вещества отходов, в результате которой произошло восстановление соединений серы до сульфидов и появление токсичных соединений в дренажных стоках [10, 13].

Территория объекта отличалась заметной гетерогенностью рельефа, поэтому исследования проводились на 3 площадках площадью 25 м² каждая. Отбор проб почвогрунтов производился с глубин 0–5 и 5–20 см по ГОСТ 17.4.4.02-84.

Стандартные физико-химические и химические методы исследования почвогрунтов включали: определение pH потенциометрическим методом¹, удельной электропроводности кондуктометрическим методом², общей щелочности³, валовых форм тяжелых металлов масс-спектрометрическим методом⁴, а также содержания нефтепродуктов методом газовой хроматографии⁵ и бенз(а)пирена методом жидкостной хроматографии⁶.

Экотоксикологическую оценку почвогрунтов проводили с помощью элюатных и контактных методов биотестирования.

Для определения острой токсичности водных вытяжек из почв и почвогрунтов в целях мониторинга окружающей среды (элюатное биотестирование) наиболее часто используются рачки дафнии (*Daphnia magna* Straus) как высокочувствительные к поллютантам тест-организмы [28]. Биотестирование водных вытяжек из исследованных

¹ ГОСТ 26423-85.

² Там же.

³ ОСТ 46-52-76. Методы агрохимического анализа почв.

⁴ ПНД Ф 16.1:2.3:3.11-98. Количественный химический анализ почв. Методика выполнения измерений содержания металлов в твердых объектах методом спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой.

⁵ МУК 4.1.1061-01. Хромато-масс-спектрометрическое определение летучих веществ в почве и отходах производства и потребления.

⁶ ФР 1.31.2005. 01725. Методика выполнения измерений массовой доли бенз(а)пирена в почвах, грунтах и осадках сточных вод методом жидкостной хроматографии.

почвогрунтов с помощью дафний проводили по аттестованной методике⁷. Методика основана на определении смертности дафний при воздействии токсических веществ, присутствующих в исследуемой среде, в сравнении с контрольной культурой в пробах, не содержащих токсических веществ (контроль). Критерием острой токсичности (Т) служит гибель 50% и более дафний за 48 часов в исследуемой пробе при условии, что в контрольном эксперименте все рачки сохраняют свою жизнедеятельность. Данный биотест можно отнести к полнофункциональным, так как в нем используется такая необратимая реакция тест-организма, как смертность.



Рис. 1. Территория исследованного карьера

Достаточно распространенным тест-организмом элюатного биотестирования являются инфузории *Paramecium caudatum* в связи с тем, что их чувствительность к широкому кругу токсикантов весьма близка к чувствительности тканей человека и животных. Кроме этого инфузории широко распространены в пресных водоемах и принимают активное участие в круговороте веществ как консументы. Биотестирование испытуемых почвогрунтов на инфузориях было проведено инструментальным методом с применением прибора Биотестер-2⁸. Данный метод прост и быстр в исполнении.

При элюатном биотестировании на инфузориях используют хемотаксическую реакцию, которая выражается в перемещении тест-организмов вдоль градиента концентрации химических веществ. Хемотаксическая реакция относится к поведенческим реакциям, более быстрым и чувствительным, чем биохимические и физиологические реакции дафний. Критерием токсичности на инфузориях служит индекс токсичности (Т) – безразмерная величина, принимающая значения от 0 до 1 в соответствии со степенью токсичности анализируемой пробы.

Определение острой токсичности почвогрунтов было проведено также с использованием одноклеточной зеленой протококковой водоросли хлорелла (*Chlorella vulgaris* Beijer) в качестве тест-культуры по аттестованной методике⁹. Методика основана на регистрации различий в оптической плотности тест-культуры водоросли хлорелла, выращенной на среде, не содержащей токсических веществ (контроль) и в тестируемых водных вытяжках (опыт), в которых эти вещества могут присутствовать. Данный биотест является скрининговым, так как в нем используется не летальная функция тест-организма, а функция замедления прироста водоросли под влиянием токсичных веществ, и проводится с использованием комплекта оборудования ЛаборБиоТест (ЛБТ). Измерение оптической плотности суспензии водоросли с помощью

⁷ ПНД Ф Т 14.1:2:4.12-06. Методика определения токсичности питьевых, пресных природных и сточных вод, водных вытяжек из почв, осадков сточных вод и отходов по смертности дафний (*Daphnia magna* Straus).

⁸ ПНД Ф Т 16.2:2.2-98. Методика определения токсичности проб почв, донных отложений и осадков сточных вод экспресс-методом с применением прибора «Биотестер». 2015.

⁹ ПНД Ф Т 14.1:2:3:4.10-04. Методика измерений оптической плотности культуры водоросли хлореллы (*Chlorella vulgaris* Beijer) для определения токсичности питьевых, пресных природных и сточных вод, водных вытяжек из гоунтов, почв, осадков сточных вод, отходов производства и потребления. М., 2014.

фотоэлектроколориметра (ИПС-03) позволяет оперативно контролировать изменение численности клеток в контрольном и опытных вариантах токсикологического эксперимента, проводимого в специализированном многоцветном культиваторе (КВМ-05). Критерием токсичности воды является снижение на 20% и более (подавление роста) или увеличение на 30% и более (стимуляция роста) величины оптической плотности культуры водоросли, выращиваемой в течение 22 часов световой экспозиции на тестируемой воде по сравнению с ее ростом на контрольной среде, приготовленной на дистиллированной воде. Среднее значение оптической плотности вычисляют по результатам четырех параллельных определений. С целью выявления нетоксичного разбавления водных вытяжек готовится ряд разбавлений, кратных трем (9, 27, 81, 243, 729).

Среди контактных биотестов при контроле экологического состояния почв наиболее эффективным считается фитотестирование, при котором в качестве тест-организма используются высшие растения [19]. Для лабораторного фитотестирования характерны быстрота и простота исполнения, экономичность, воспроизводимость и достоверность получаемых результатов.

Контактное фитотестирование изучаемых почвогрунтов проводили по методике, разработанной в НИЦЭБ РАН и включенной в Госреестр¹⁰. В наших исследованиях тест-культурой служили семена пшеницы мягкой (*Triticum aestivum* L.). Определение степени острой фитотоксичности пробы проводилось на основании разработанной по двум показателям шкалы: по изменению всхожести семян (N_1) и роста корней (N_2) по сравнению с контрольным образцом. Контрольный образец согласно нашей включенной в ГОСТ методики представлял собой искусственно приготовленную почвенную смесь, сходную с исследуемыми пробами по гранулометрическому составу и содержанию гумуса. В связи с тем, что почвогрунт № 3 отличался от остальных образцов (№ 1, 2) по количеству органического вещества, при проведении контактных методов биотестирования использовали два контрольных субстрата. Контроль-1 для почвогрунтов площадок № 1 и 2 состоял из дерново-подзолистой суглинистой почвы и кварцевого песка. Контроль-2 для почвогрунта площадки № 3 был приготовлен из дерново-подзолистой суглинистой почвы и кварцевого песка с добавлением верхового торфа.

В качестве контроля использовали искусственно приготовленный почвогрунт, сходный с исследуемыми образцами по его гранулометрическому составу и содержанию гумуса. В данном случае применяли два контроля в связи с различными свойствами почвогрунта на площадках.

Для второго примененного нами контактного метода в качестве тест-организма использовали природный комплекс микроорганизмов, содержащийся непосредственно в исследованных почвах. Известно, что приоритетным показателем качества почв и почвогрунтов служит состояние произрастающих на них растений. Однако не менее значимым индикатором являются микроорганизмы. Это обусловлено той исключительно важной ролью, которую микробные сообщества играют в круговороте биогенных элементов в биосфере и в поддержании в почвах экологического равновесия. Кроме того, микроорганизмы являются чувкими индикаторами биологического состояния почв и почвогрунтов и могут служить оптимальными тест-культурами для биотестирования [18].

При оценке токсичности почв с помощью микроорганизмов обычно тестируют водную вытяжку (элюатный способ). Наиболее широко используемый элюатный микробиологический метод основан на фиксации изменений интенсивности бактериальной люминесценции тест-системой «Эколюм» на приборе «Биотокс-10» [8]. Кроме того, существуют методы биотестирования почвенных вытяжек, в основе которых лежит определение различных тест-функций почвенных цианобактерий [4, 20].

Используемые в настоящее время в России контактные микробные тесты основаны на оценке влияния загрязненного субстрата на искусственно внесенные в него тестовые микроорганизмы [3]. Однако в самих почвах и почвогрунтах содержится значительное количество жизнеспособной микрофлоры. Это позволяет использовать в целях экодиагностики в качестве тест-культуры природный комплекс микроорганизмов, содержащихся непосредственно в самих почвах.

Важнейшей экологической функцией микроорганизмов является их респираторная активность, иначе почвенное дыхание, которая представляет собой интегральный показатель напряженности протекающих в почвах деструкционных процессов, вызываемых микроорганизмами. Минерализация органических веществ с возвратом CO_2 в атмосферу является конечным звеном глобальной трофической цепи и осуществляется в почвенном покрове за счет деятельности гетеротрофных микроорганизмов. Чем интенсивнее микробиологические процессы в почве, тем больше она генерирует CO_2 . Около 90% образующейся из органических веществ углекислоты – микробного происхождения, и только 10% приходится на долю дыхания животных и человека [7].

В настоящее время почвенное дыхание считается одним из наиболее важных индикаторов состояния не только микробного комплекса почв, но и почвенной экосистемы в целом [6, 14]. Он также широко используется при биондикации почв и почвогрунтов, формирующихся в зоне воздействия территорий складирования ТБО, с целью их экологической оценки [15, 17, 29].

¹⁰ ФР. 1.39.2006.02264. Методика выполнения измерений всхожести семян и длины корней проростков высших растений для определения токсичности техногенно-загрязненных почв.

В связи с этим в данной работе использовали контактный микробный биотест, основанный на оценке ингибирования микробного дыхания загрязненными ТБО почвогрунтами. Критерий при оценке токсичности почвогрунтов определяли на основе статистически значимых изменений уровня их микробного (почвенного) дыхания по сравнению с контрольными субстратами. Почвенное дыхание устанавливали в контролируемых лабораторных условиях адсорбционным методом по интенсивности выделения CO₂ почвогрунтами [23]. Контролем служила не загрязненная ТБО почва, аналогичная исследованным почвогрунтам по гранулометрическому составу и содержанию органического вещества. Образцы предварительно увлажняли дистиллированной водой до 60% ПВ и компостировали при комнатной температуре.

Важным показателем экологического состояния почв и почвогрунтов является их ферментативная активность, которую часто используют в качестве раннего диагностического показателя негативных изменений, происходящих в почве под влиянием антропогенных воздействий [26]. Почвенные ферменты поступают из микроорганизмов, водорослей, лишайников, высших растений и почвенной фауны. Снижение ферментативной активности в почве более чем на 30% свидетельствует о значительном нарушении ее качества [21]. Один из видов ферментативной активности почв обусловлен почвенными протеазами, катализирующими гидролитическое расщепление азотсодержащих органических соединений (белков и пептидов). Определение протеазной активности в почвогрунтах карьера проводили аппликационным методом с использованием непроявленной фотопленки [11]. Метод основан на фиксации биоразрушения эмульсионного слоя фотопленки, содержащего желатин, как источника азота для микробиоты. Степень разрушения желатинового слоя соответствует уровню протеазной активности в субстрате. Для определения ферментативной активности в лабораторных условиях метод Е.Н. Мишустина был модифицирован. Высокая чувствительность усовершенствованного метода была выявлена ранее при определении токсичности загрязненных почвогрунтов отвалов промышленных отходов [1]. Метод прост в исполнении и характеризуется высокой чувствительностью, что дает возможность включить его в систему субстратных (контактных) методов лабораторного биотестирования для целей экологического контроля загрязненных субстратов.

Все определения проводили в 4-кратной повторности; полученные результаты обрабатывали методом дисперсионного анализа с использованием программ MS Excel и Statistica 10. Достоверность различий между средними значениями сравнивалась с помощью критерия Стьюдента в варианте группировки выборок с наименее значимой разницей (Least Significant Difference, LSD) при уровне значимости 5% (P < 0,05). В таблицах приведены средние значения ± стандартные отклонения, величины с разными буквами различаются достоверно.

Результаты и обсуждение

По результатам исследования физико-химических и химических свойств почвогрунтов, было установлено, что они имели нейтральную реакцию среды (рН 6,3–6,5), что является благоприятным для развития растений и микроорганизмов. Почвогрунты не засолены (удельная электропроводность колеблется в пределах 0,42–0,77 мСм, а общая щелочность составляет 0,20–0,60 ммоль-экв/100 г, что свидетельствует о незначительном присутствии бикарбонатных ионов. Превышение содержания тяжелых металлов над принятыми ПДК (ОДК) не выявлено. Содержание определенных органических токсикантов также не превышало соответствующие нормативы.

Элюатное биотестирование на тест-культуре дафний (*Daphnia magna* Straus) в остром эксперименте не выявило токсичности ни в одном из почвогрунтов (табл. 1).

Табл. 1

Результаты биотестирования водных вытяжек на дафниях

№ площадки, глубина отбора, см	Число выживших рачков за время экспозиции, 96 ч	Число погибших относительно контроля, А (%)	td	Токсикологическая характеристика пробы
Контроль	10 ± 0 ^a	–	–	–
1, 0–5	8,6 ± 0,8 ^b	14,3	1,63	Нетоксичная
1, 5–20	10 ± 0 ^a	0	0,82	Нетоксичная
2, 0–5	10 ± 0 ^a	0	0,82	Нетоксичная
2, 5–20	8,6 ± 0,8 ^b	14,3	1,63	Нетоксичная
3, 0–5	10 ± 0 ^a	0	0,82	Нетоксичная
3, 5–20	10 ± 0 ^a	0	0,82	Нетоксичная

Примечание: контроль – аквариумная вода; td – коэффициент достоверности.

По результатам биотестирования на инфузориях токсичность была зафиксирована только на площадке № 3 на глубине 0–5 см.

Результаты биотестирования на инфузориях (*Paramecium caudatum*) приведены в табл. 2.

Результаты биотестирования почвенных вытяжек с использованием водоросли хлорелла (*Chlorella vulgaris* Beijer) в качестве тест-культуры представлены в табл. 3.

Табл. 2

Результаты биотестирования водных вытяжек на инфузориях

№ площадки	Глубина, см	Среднее показание прибора	Среднее значение индекса токсичности, T	td	Группа токсичности**
Контроль*	–	61,9 ± 2,5 ^a	–	–	–
1	0–5	38,4 ± 1,8 ^b	0,38	1,88	I
	5–20	69,1 ± 4,5 ^a	0,13	0,56	I
2	0–5	49,5 ± 4,6 ^c	0,20	0,89	I
	5–20	41,4 ± 1,0 ^b	0,33	1,65	I
3	0–5	37,0 ± 3,3 ^b	0,40	1,95	II
	5–20	49,3 ± 3,8 ^c	0,20	0,97	I

Примечания: * контроль – дистиллированная вода;

** группы токсичности: I – нет токсичности, II – есть токсичность.

Табл. 3

Результаты биотестирования водных вытяжек на зеленых водорослях

№ площадки	Глубина (см)	Отклонение от контроля (%)	Оценка токсичности водной вытяжки	Величина токсической кратности разбавления (ТКР)
1	0–5	36 ^a	Токсичная	3
	5–20	12 ^b	Нетоксичная	0
2	0–5	28 ^c	Токсичная	3
	5–20	27 ^c	Токсичная	3
3	0–5	22 ^d	Токсичная	3
	5–20	44 ^{ab}	Токсичная	9

Из представленных данных следует, что только один образец, отобранный на площадке № 1 с глубины 5–20 см, был не токсичным по отношению к исследуемой тест-культуре. Во всех остальных образцах с использованием хлореллы была выявлена токсичность. В образцах с площадки № 1 (глубина 0–5 см), с площадки № 2 (глубина 0–5, 5–20), с площадки № 3 (глубина 0–5 см) токсический эффект исчезал уже при 3-кратном разбавлении. Наибольшая токсичность обнаружена в образце с площадки № 3 с глубины 5–20 см. Степень ингибирования роста водоросли этого образца под действием неразбавленной водной вытяжки составляла 44%. Однако токсический эффект исчезал уже при 9-кратном разбавлении.

Таким образом, по отношению к хлорелле критерий токсичности превышен на площадках 1, 2, 3 в исследованных пробах в верхнем горизонте 0–5 см почвогрунта и в 2 пробах, отобранных с глубины 5–20 см. Однако с учетом небольшой степени разбавления (в 3 и 9 раз), в этих образцах можно фиксировать наличие лишь слабой токсичности по отношению к хлорелле.

Итак, среди гидробионтов, используемых при экотоксикологической оценке почвогрунтов рекультивируемого карьера, наиболее чувствительной к условиям среды тест-культурой оказалась хлорелла, значительно меньшей чувствительностью характеризовались инфузории. Использование рачков дафний оказалось неэффективным, так как они не реагировали на содержание предполагаемых токсикантов в водной вытяжке.

Результаты контактного фитотестирования на семенах пшеницы (*Triticum aestivum* L) представлены на рис. 2 и 3.

По признаку уменьшения всхожести семян пшеницы на почвогрунтах в сравнении с контролем были выявлены умеренная токсичность на глубине 5–20 см площадки № 1 (–30%) и малая токсичность по всей глубине на площадке № 3 (–20%). В почвогрунте площадки № 2 токсичность не обнаружена.

По признаку длины корня в сравнении с контролем токсичность была установлена на площадке № 1: малая токсичность на глубине 0–5 см и умеренная токсичность на глубине 5–20 см (рис. 3). Таким образом, в результате контактного фитотестирования было выявлено наличие от малой до умеренной токсичности почвогрунтов на площадках № 1 и 3.

Результаты субстратных микробных биотестов, представленные на рис. 4, показали, что наибольшей токсичностью для микробиоты среди исследованных субстратов характеризовался почвогрунт площадки № 1.

Так, респираторная активность микроорганизмов на глубине 5–20 см уменьшилась почти на 70% по сравнению с чистой почвой, что почти в 2 раза превышает критический порог устойчивости почвенных систем, который составляет потерю не более 30% биоорганического потенциала контрольного образца [31].

Почвогрунт площадки № 2 также оказался токсичным для микроорганизмов (слой 0–5 см). Однако по сравнению с образцом с площадки № 1 уровень его токсичности был в два раза меньше: снижение почвенного дыхания здесь составило 31% уровня контроля.

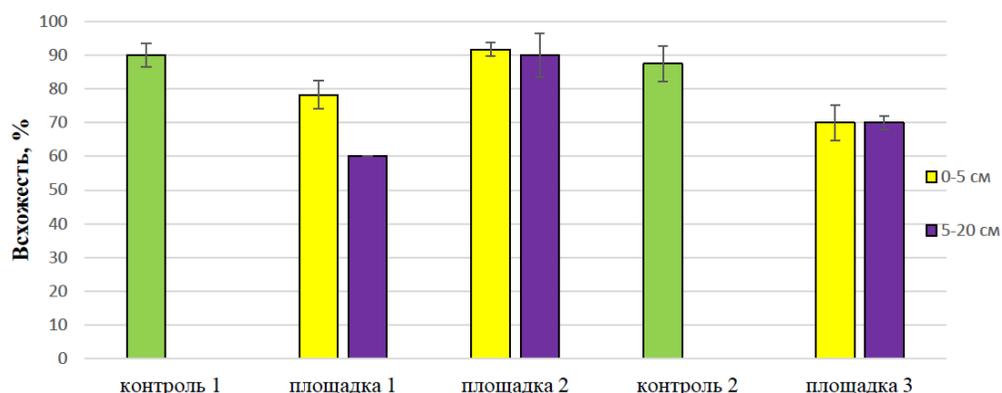


Рис. 2. Результаты контактного биотестирования. Всхожесть семян пшеницы на испытуемых почвогрунтах (глубина 0–5 и 5–20 см) и контрольном образце (контроль 1 – к площадкам № 1 и 2, контроль 2 – к площадке № 3)

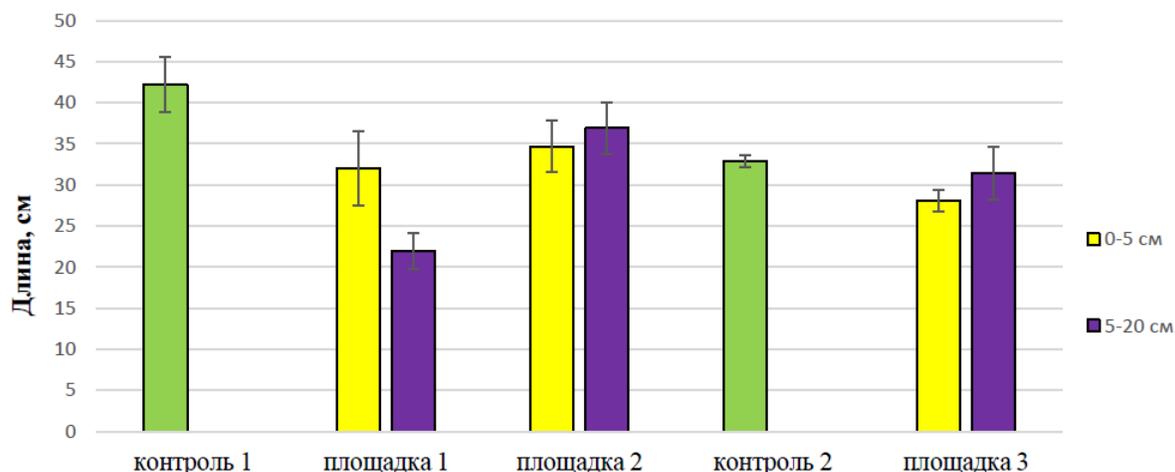


Рис. 3. Результаты контактного биотестирования. Длина корней проросших семян пшеницы на испытуемых почвогрунтах (глубина 0-5 и 5-20 см) и контрольном образце (контроль 1 – к площадкам №№ 1 и 2, контроль 2 – к площадке № 3)

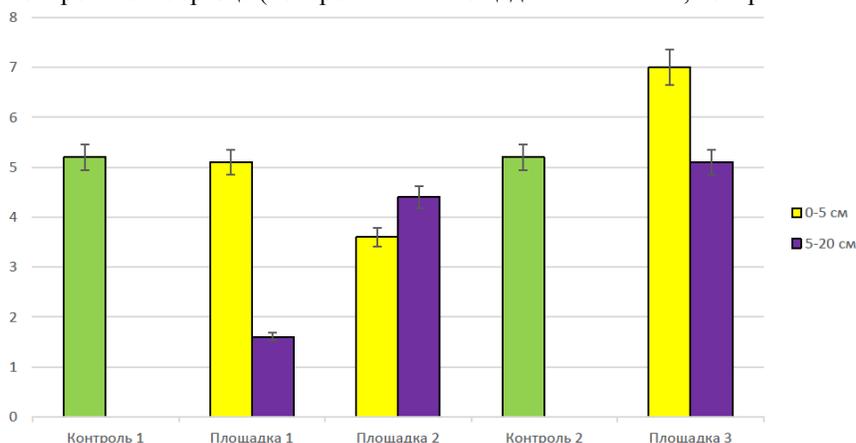


Рис 4. Результаты контактного биотестирования. Дыхание испытуемых почвогрунтов (глубина 0–5 и 5–20 см) и контрольного образца, мг CO₂/100 г, сутки (контроль 1-к площадке № 1 и № 2, контроль 2-к площадке № 3)

Почвогрунт площадки № 3, как было установлено, не являлся токсичным для природного комплекса микроорганизмов. Более того, на глубине 0–5 см в почвогрунте данной площадки было зафиксировано превышение респираторной активности на 35% по сравнению с контролем.

Результатам определения ферментативной активности в целом совпали с данными контактного микробного биотеста. Высокая степень токсичности была выявлена на площадках № 1 и 2, где ферментативная активность была подавлена. В почвогрунте площадки № 3 была обнаружена стимуляция протеазной активности, которая составляла 30% уровня контроля (табл. 4). Таким образом, обобщая результаты микробного теста и изучения ферментативной активности, можно сделать вывод о низкой устойчивости микробоценозов почвогрунтов площадок № 1 и № 2 к токсическому воздействию загрязняющих веществ. Почвогрунт площадки № 3 наоборот оказывал стимулирующий эффект на биохимическую активность микроорганизмов.

Табл. 4

Результаты контактного биотестирования. Протеазная активность почвогрунтов

№ площадки	Глубина, см	Протеазная активность N, % от контроля
1	0–5	0
	5–20	0
2	0–5	0
	5–20	0
3	0–5	30 ^a
	5–20	31 ^a

Результаты всех проведенных биотестов представлены в сводной таблице № 5.

Табл. 5

Интегральная оценка токсичности почвогрунтов

(0 – нет токсичности; I, II и III – уровни токсичности слабый, умеренный и более чем умеренный)

№ площадки, глубина, см	Контактное биотестирование			Элюатное биотестирование		
	<i>Triticum vulgare</i> L	Микробный биотест	Протеазная активность	<i>Daphnia magna</i> Straus	<i>Paramecium caudatum</i>	<i>Chlorella vulgaris</i> Beijer
1,0–5	I	0	III	0	0	III
1,5–20	II	III	III	0	0	0
2,0–5	0	III	III	0	0	III
2,5–20	0	III	III	0	0	0
3,0–5	I	0	0	0	III	III
3,5–20	I	0	0	0	0	III

В почвогрунте площадки № 1 токсичность была установлена с помощью одного элюатного метода на хлорелле, а также тремя контактными методами: фитотест, микробный биотест, определение протеазной активности.

Токсичность почвогрунта площадки № 2 была выявлена с помощью элюатного биотеста на хлорелле и двумя контактными методами: микробный биотест и определение протеазной активности.

Токсичность почвогрунта площадки № 3 выявлялась двумя элюатными методами на хлорелле и инфузориях, а также контактным фитотестом.

Таким образом, по степени токсичности, оцененной суммами уровней токсичности по всем глубинам исследованные почвогрунты можно выстроить в ряд: № 1 ≥ № 2 > № 3.

Заключение

Результаты химических и физико-химических анализов (нейтральная реакция среды, отсутствие засоления, концентрации тяжелых металлов и органических поллютантов, не превышающие нормативы, и др.) свидетельствовали об отсутствии токсичности в исследованных почвогрунтах рекультивированного карьера.

С помощью методов биотестирования токсичность была выявлена во всех почвогрунтах карьера, так как конечная оценка токсичности почвогрунта должна осуществляться по наиболее чувствительному варианту. Несовпадение данных, полученных с помощью различных методов биотестирования, по всей видимости, объясняется разной чувствительностью используемых тест-культур к разным токсикантам. Исключения составили два контактных метода (микробный биотест и определение протеазной активности), результаты которых в целом совпали.

Среди тест-культур, используемых при проведении элюатного биотестирования, наиболее чувствительной на данном объекте оказалась водоросль хлорелла, значительно меньшей чувствительностью характеризовались инфузории.

Использование рачков дафний при биотестировании оказалось неэффективным, так как они не реагировали на содержание токсикантов в водной вытяжке.

Контактные методы (метод фитотестирования на пшенице, метод определения протеазной активности и микробный биотест), которые дополняли исследования водных вытяжек, характеризовались одинаково высокой чувствительностью.

Таким образом, впервые для экологического контроля почвогрунтов объектов накопленного экологического ущерба, в частности почвогрунтов, рекультивированных с помощью твердых бытовых отходов в карьерах по выработке глины, были выявлены наиболее эффективные и чувствительные биотесты. Это – элюатный биотест на хлорелле, а также контактные методы биотестирования (фитотест на пшенице, микробный биотест и определение протеазной активности).

Ввиду того, что с помощью аналитических методов не всегда можно выявить токсичность почвогрунтов таких сложных образований, как объекты вторичного накопленного экологического ущерба, для их адекватной экологической оценки наряду с методами химического анализа необходимо всегда использовать методы элюатного и контактного биотестирования.

ЛИТЕРАТУРА

Список русскоязычной литературы

1. Бардина ВИ. Применение ферментативного биотеста в биодиагностике почвогрунтов объектов накопленного экологического ущерба. В кн.: Роль почв в биосфере и жизни человека. Материалы докладов международной научной конференции к 100-летию со дня рождения академика Г.В. Добровольского. Москва: МГУ; 2015. С. 150-2.
2. Бардина ТВ, Чугунова МВ, Капелькина ЛП, Бардина ВИ. Биологическая оценка токсичности городских почв в почвенно-экологическом мониторинге. Экология урбанизированных территорий. 2014;2:87-91.
3. Галицкая ПЮ, Селивановская СЮ. Биологическая оценка токсичности почв методом биотестирования. Агрохимия. 2009;3:84-8.
4. Горностаева ЕС, Злобин СС, Сунцова ЕС, Елькина ТС, Домрачева ЛИ, Ашихмина ТЯ. Микробиологический статус почв в зоне действия Кирово-Чепецкого химического комбината. Теоретическая и прикладная экология. 2012;3:90-5.
5. Григорьев ЮС. Новые методы биологического контроля загрязнения окружающей среды. Экопрогресс. 2014;19(2):28-9.
6. Заварзин ГА, Кудяров ВН. Почва как главный источник углекислоты и резервуар органического углерода на территории России. Вестник Российской Академии наук. 2006;76(1):14-29.
7. Звягинцев ДГ, Бабьева ИП, Зенова ГМ. Биология почв. М.: Изд-во МГУ; 2005.
8. Ибрагимова СТ, Айткельдинова СА, Файзулина ЭР, Саданов АК, Попутникова ТО, Терехова ВА. Экологическая оценка нефтезагрязненных почв Казахстана по откликам стандартных биотест-систем. Доклады по экологическому почвоведению. 2009;11(1):79-94.
9. Ирха Н, Блинова И, Петерселль В. Использование биотестов для оценки влияния почв на снижение токсичности комплексной смеси тяжелых металлов и полициклических ароматических углеводородов. Экологическая химия. 2003;12(4):233-9.
10. Кулибаба ВВ, Петухов ВВ, Зинатулина ЕИ, Меринова ЕС. Рекультивированные карьеры Приневской низменности – специфическая разновидность объектов накопленного экологического ущерба. Региональная экология. 2016;43(1):7-13.
11. Мишустин ЕН, Востров ИС. Аппликационные методы в почвенной микробиологии. В кн.: Микробиологические и биохимические исследования почв. Киев; 1971. С. 3-12.
12. Олькова АС. Биотестирование в научно-исследовательской и природоохранной практике России. Успехи современной биологии. 2014;134(6):614-22.
13. Покорна Д, Забранская Д. Сероокисляющие бактерии в экологической технологии. Biotechnology Advances. 2015;33(6):1246-59.
14. Помазкина ЛВ, Семенова ЮВ, Стеренчук АВ. Вклад агроэкосистем в формирование бюджета углерода на территории Иркутской области. Известия Самарского научного центра РАН. 2009;11(1):212-6.
15. Попутникова ТО, Терехова ВА. Установление зоны влияния полигона твердых бытовых отходов на почвы по структурно-функциональным изменениям микробных сообществ. Вестник МГУ Сер. 17. Почвоведение. 2010;2:51-4.
16. Селивановская СЮ, Галицкая ПЮ. Оценка токсичности почв с использованием контактного метода биотестирования. Токсикологический вестник. 2006;4:12-5.
17. Терехова ВА. Биотестирование почв: подходы и проблемы. Почвоведение. 2011;(2):190-8.
18. Терехова ВА. Реализация биотической концепции экологического контроля при почвенно-экологическом нормировании. Использование и охрана природных ресурсов России. 2012;4:31-4.
19. Терехова ВА, Воронина ЛП, Николаева ОВ, Бардина ТВ, Калмацкая ОА, Кирюшина АП, Учанов ПВ, Креславский ВД, Васильева ГК. Применение фитотестирования для решения задач экологического почвоведения. Использование и охрана природных ресурсов в России. 2016;3:37-41.
20. Фокина АИ, Огородникова СЮ, Домрачева ЛИ, Лялина ЕИ, Горностаева ЕА, Ашихмина ТЯ, Кондакова ЛВ. Цианобактерии как тест-организмы и биосорбенты. Почвоведение. 2017;(1):77-85.

21. Яковлев АС, Евдокимова МВ. Экологическое нормирование почв и управление их качеством. Почвоведение. 2011;(5):582-97.

Общий список литературы/Reference List

1. Bardina VI. [The use of an enzymatic biotest in biodiagnostics of soil of objects of accumulated environmental damage]. In: Rol' Pochv v Biosfere i Zhizni Cheloveka Materialy Dokladov Mzhduнародной Nauchnoy Konferentsii k 100-letyu so Dnia Rozhdeniya Akademika G.V. Dobrovolskogo. Moscow: MGU; 2015. P. 150-2. (In Russ.)
2. Bardina TV, Chugunova MV, Kapel'kina LP, Bardina VI. [Biological assessment of the toxicity of urban soils in soil-ecological monitoring]. *Ekologiya Urbanizirovannykh Territoriy*. 2014;2:87-91. (In Russ.)
3. Galickaja PYu, Selivanovskaya SYu. [Biological assessment of soil toxicity by biotesting]. *Agrokimiya*. 2009;3:84-8. (In Russ.)
4. Gornostayeva ES, Zlobin SS, Sunctsva ES, Elkina TS, Domracheva LI, Ashihmina TYa. [Microbiological status of soils in the area of the Kirov-Chepetsk Chemical Works]. *Teoreticheskaya i Prikladnaya Ekologiya*. 2012;3:90-5. (In Russ.)
5. Grigoryev YuS. [New methods of biological control of environmental pollution]. *Ekoprogress*. 2014;19(2):28-9. (In Russ.)
6. Zavarzin GA, Kudyarov VN. [Soil as the main source of carbon dioxide and a reservoir of organic carbon in Russia]. *Vestnik Rossiyskoy Akademii Nauk*. 2006;76(1):14-29. (In Russ.)
7. Zviagintsev DG, Babyeva IP, Zenova GM. *Biologiya Pochv*. [Soil Biology]. Moscow: MGU; 2005. (In Russ.)
8. Ibragimova ST, Ayteldinova SA, Fayzulina YeR, Sadanov AK, Poputnikova TO, Terekhova VA. [Ecological assessment of oil-contaminated soils in Kazakhstan according to standard biotest systems responses]. *Doklady po Ekologicheskomu Pochvovedeniyu*. 2009;11(1):79-94. (In Russ.)
9. Irkha N, Blinova I, Petersell V. [The use of biotests to assess the effect of soils on reducing the toxicity of a complex mixture of heavy metals and polycyclic aromatic hydrocarbons]. *Ekologicheskaya Khimiya*. 2003;12(4):233-9. (In Russ.)
10. Kulibaba VV, Petukhov VV, Zinatulina EI, Merinova YeS. [Reclaimed quarries of the Prinevskaya lowland: A specific type of objects of accumulated environmental damage]. *Regionalnaya Ekologiya*. 2016;43(1):7-13. (In Russ.)
11. Mishustin YeN, Vostrov IS. [Application methods in soil microbiology]. In: *Mikrobiologicheskiye i Biokhimicheskiye Issledovaniya Pochv*. Kiev; 1971. P. 3-12 (In Russ.)
12. Olkova AS. [Biotesting in the research and environmental protection practice of Russia]. *Uspekhi Sovremennoy Biologii*. 2014;134(6):614-22. (In Russ.)
13. Pokorna D, Zabranskaja D. [Sulfur-oxidizing bacteria in environmental technology]. *Biotechnology Advances*. 2015;33(6):1246-59. (In Russ.)
14. Pomazkina LV, Semenova YuV, Sterenchuk AV. [The contribution of agroecosystems to carbon budget formation in the Irkutsk region]. *Izvestiya Samarskogo Nauchnogo Tsentra RAN*. 2009;11(1):212-6. (In Russ.)
15. Poputnikova TO, Terekhova VA. [Establishment of the zone of influence of the solid waste landfill on soils by structural and functional changes in microbial communities]. *Vestnik MGU Ser 17 Pochvovedeniye*. 2010;2:51-4. (In Russ.)
16. Selivanovskaya SYu, Galickaja PYu. [Assessment of soil toxicity using a contact biotesting method]. *Toksilogicheskiy Vestnik*. 2006;4:12-5. (In Russ.)
17. Terekhova VA. [Soil bioassay: Approaches and problems]. *Pochvovedeniye*. 2011;2:190-8. (In Russ.)
18. Terekhova VA. [The implementation of the biotic concept of environmental control in soil-environmental regulation]. *Ispolzovanie i Okhrana Prirodnykh Resursov Rossii*. 2012;4:31-4. (In Russ.)
19. Terekhova VA, Voronina LP, Nikolayeva OV, Bardina TV, Kalmackaya OA, Kiriushina AP, Uchanov PV, Kreslavskiy VD, Vasilytva GK. [The use of phytotesting to solve the problems of environmental soil science]. *Ispolzovaniye i Okhrana Prirodnykh Resursov v Rossii*. 2016;3:37-41. (In Russ.)
20. Fokina AI, Ogorodnikova SYu, Domracheva LI, Lialina EI, Gornostayeva EA, Ashikhmina TYa, Kondakova LV. [Cyanobacteria as test organisms and biosorbents]. *Pochvovedeniye*. 2017;1:77-85. (In Russ.)
21. Yakovlev AS, Yevdokimova MV. Environmental regulation of soils and their quality management. *Pochvovedeniye*. 2011;5:582-97. (In Russ.)
22. Klimkowicz-Pawlas A, Maliszewska-Kordybach B, Smreczak B. Triad-based screening risk assessment of the agricultural area exposed to the long-term PAHs contamination. *Environ Geochem Health*. 2019;41:1369-85.
23. Alef K. Soil respiration. In: Alef K, Nannipieri P, eds. *Methods in Applied Soil Microbiology and Biochemistry*. London: Academic Press; 1995. P. 214-9.
24. Bardina TV, Chugunova MV, Kulibaba VV, Polyak YuM, Bardina VI, Kapelkina LP. Applying bioassay methods for ecological assessment of the soils from the brownfield sites. *Water Air Soil Pollut*; 2017. P. 228-351. DOI: 10.1007/s11270-017-3521-3.
25. Blasé C. Canadian application of microbiotest to assess the toxic potential of liquid and solid media. In: *Microbiotests for Routine Toxicity Screening and Biomonitoring*. New York: Kluwer Academic; 2000. P. 3-12.
26. Gorbov SN, Bezuglova OS, Yarduni TV, Tagiverdiev SS, Chursinova KV. Soil enzyme activity of urban territories of Rostov agglomeration. *Life Sci JI*. 2014;12(12s):605-9.

27. Matejczyk M, Grazyna AP, Nałecz-Jawecki G, Ulfig K, Markowska-Szczupak A. Estimation of the environmental risk posed by landfills using chemical, microbiological and ecotoxicological testing of leachates. *Chemosphere*. 2011;82(7):1017-23.
28. Prestes EB, Jonson CM, Castrol VISS, Paraida CCM. Avaliacao daxicidade cronica de piraclostrobin, exoxiconazol e sua inistura em *Daphnia similis*. *Ekotoksikologiya i Zagrjaznenie Okruzhajushhej Sredy*. 2013;8(1):113-7.
29. Swiontek Brzezinska M, Burkowska A, Walczak M. Microbial activity in the landfill soil. *Prikladnaya Biokhimiya i Mikrobiologiya*. 2012;48(4):411-6.
30. Terekhova VA, Pukalchik MA, Yakovlev AS. The triad approach to ecological assessment of urban soils. *Eurasian Soil Sci*. 2014;47(9):952-8. DOI: 10.1134/S1064229314090129.
31. Yakovlev AS, Evdokimova MV. Ecological standardization of soil and soil quality control. *Eurasian Soil Sci*. 2011;44(5):534-46.



© ФОНД НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ «XXI ВЕК»
РОССИЙСКАЯ ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ АКАДЕМИЯ

БИОСФЕРА

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

УДК 631.4

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ЗАПАДИННЫХ КОМПЛЕКСОВ НА СПОСОБНОСТЬ ПОЧВ К ВОСПРОИЗВОДСТВУ ПЛОДОРОДИЯ

К.Ю. Зотова, К.Е. Стекольников

Воронежский государственный аграрный университет им. императора Петра I, Воронеж, Россия

Эл. почта: kristina-zotova26@rambler.ru

Статья поступила в редакцию 15.02.2020; принята к печати 29.05.2020

Западины (бессточные понижения рельефа) широко распространены на Окско-Донской равнине. Проведен анализ почв западных комплексов Верхнехавского района Воронежской области, определены их состав и физико-химические свойства, а также выявлена степень гидроморфизма с целью определить необходимость мероприятий для продуктивного сельскохозяйственного использования пахотных земель, а также оценить влияние западных комплексов на возможность почв к воспроизводству. Выявлены причины негативного влияния западных комплексов на состояние пахотных земель и предложены пути их устранения.

Ключевые слова: западные комплексы, природные факторы, гидроморфизм, антропогенные факторы, пахотные угодья.

DETERMINATION OF THE INFLUENCE OF DRAINLESS DEPRESSIONS OF RELIEF ON THE SUSTAINABILITY OF SOIL FERTILITY

K.Yu. Zotova¹, K.Ye. Stekolnikov

Emperor Peter the First Voronezh State Agrarian University, Voronezh, Russia

E-mail: kristina-zotova26@rambler.ru

Drainless depressions of relief are usual for plains between the rivers Don and Oka. Soils in such depressions located in Verkhnekhavsky district of Voronezh District were studied to assess (i) their physicochemical characteristics and the degree of their hydromorphicity in order to determine the rational for measures aimed at making them suitable for agriculture and (ii) the effect of such depression on the sustainability of soil fertility. Several causes of the negative effects of depressions on arable lands are delineated and approaches to their reduction are suggested.

Keywords: drainless depressions of relief, natural factors, hydromorphicity, anthropogenic factors, arable lands.

ВВЕДЕНИЕ

Для Окско-Донской равнины характерно широкое распространение так называемых западных комплексов лугово-черноземных почв, которые приурочены к замкнутым бессточным понижениям. Западины – бессточные понижения рельефа, весьма многообразны по форме, глубине вреза и площади. Глубина вреза варьирует от нескольких десятков сантиметров до 1–3 метров, площадь – от десятков квадратных метров до 5–10 гектаров, а их доля в пашне от единичных доходит до 20–50% и более (рис. 1).

Избыточное поверхностное увлажнение существенно затрудняет сельскохозяйственное использование этих комплексов, так как физико-химические свойства почв обусловлены высокой степенью гидроморфизма.

На территории Окско-Донской равнины в пределах Воронежской области западные комплексы широко распространены на черноземно-луговых и лугово-черноземных почвах. В Воронежской области больше всего таких комплексов наблюдается в Верхнехавском, Панинском, Новоусманском и Эртильском, Боброском, Аннинском и Таловском районах [2]. Следует отметить, что в этих районах (кроме Бобровского) сохранились черноземы со средневзвешенным содержанием гумуса выше 7%. Однако при наличии самых плодородных земель использовать их в полной мере достаточно сложно. Это связано с длительным затоплением (переувлажнением) почв западных комплексов.

Степень и длительность затопления (переувлажнения) западин зависит от количества осадков. Например, в годы с большим количеством осадков, особенно в ранневесенний период, наблюдается затопление и микро-, и макро-западин, которое происходит из-за большого количества талых вод на поверхности, а также из-за повышения уровня грунтовых вод. Вследствие этого и вся периферия западин оказывается переувлажненной длительное время, что не позволяет подготовить почвы к посеву сельскохозяйственных культур, и впоследствии такая территория зарастает сорной растительностью. Поверхностное переувлажнение существенно осложняет выращивание основной для Воронежской области продовольственной культуры – озимой пшеницы. Вследствие поверхностного увлажнения западин озимая пшеница часто вымокает и выпревает. Но в годы с нормальным или дефицитным увлажнением эта территория из-за большего увлажнения за счет перераспределения атмосферной влаги даже выигрывает по сравнению с плакорами и способствует получению высоких урожаев сельскохозяйственных культур.



Рис. 1. Западины на участке территории Верхнехавского района Воронежской области

Несмотря на длительную историю изучения западин, гидроморфных и полугидроморфных почв, их генезис остается мало изученным. Они широко распространены на плоских слабо дренированных и недренированных водоразделах лесостепи Центрально-Черноземного района (ЦЧР). Их разнообразие и распространение были выявлены во второй половине XX в. Особую роль в их изучении сыграли работы Е.М. Самойловой. Впервые в своей монографии Е.М. Самойлова обобщила данные по проблеме генезиса и классификации рационального использования почв западинных комплексов лесостепи ЦЧР, а также сделала заключение о существенном участии черноземно-луговых почв в структуре почвенного покрова Окско-Донской равнины [4]. Она ориентировочно оценила их площадь в 100 тыс. га. По мнению Е.Н. Ивановой, черноземно-луговые почвы приурочены к межколочным пониженным пространствам, входя в состав «сочетаний из луговых почв и дерновых глеевых солодей и комплексов из луговых почв и солончаковых или солончаковатых луговых солонцов» [3]. В пределах Среднерусского Черноземья особое значение по изучению этих почв имеют работы Б.П. Ахтырцева и А.Б. Ахтырцева [1].

Объекты и методы исследования

В Воронежской области наибольшее число западинных комплексов отмечено в Северо-Восточной части, которая относится к лесостепной зоне Окско-Донской равнины. В качестве объекта исследования нами выбран один из типичных районов области, находящийся в зоне переувлажнения, – Верхнехавский. Исследования выполнены в сентябре 2019 г. Для изучения морфологии, состава и физико-химических свойств были заложены 4 почвенных разреза на пахотных угодьях, а также использовались образцы, отобранные на целинной западине с кустарниковой и луговой растительностью.

В лабораторных исследованиях использовались следующие стандартные методы:

- рН водной и солевой вытяжки – потенциметрия;
- гидролитическая кислотность – по Каппену с потенциметрическим окончанием (ОСТ 46 48-76);
- гумус – фотометрия по ОСТ 46 47-76;
- подвижный фосфор и обменный калий – по Чирикову;
- нитраты – потенциметрия;
- аммонийный азот – фотометрия.

Результаты и обсуждение

Результаты представлены в табл. 1.

Табл. 1

Состав и свойства исследованных почв

№ точки / поля	Генетический горизонт	рН вытяжки		Гидролитическая кислотность Н ⁺ , ммоль/100 г почвы	Гумус, %	P ₂ O ₅	K ₂ O	NO ₃	NH ₄
		водной	солевой						
Целина	A	7,40	6,86	2,52	10,37	283	220	1,9	7,20
	B2	8,39	7,15	0,55	1,33	65	137	1,4	2,24
1/15в	A	7,27	6,26	1,43	5,56	95	102	12,6	5,60
	AB	7,53	6,30	1,18	2,74	38	124	4,1	3,84
	B1	7,17	5,86	1,56	1,50	49	124	2,1	3,04
	B2	7,37	6,21	1,01	0,87	130	115	2,1	0,48
	BCк	8,80	7,37	–	1,33	65	105	3,1	2,24
2/10в3	Апах	6,61	6,10	5,48	9,85	932	848	195	20,40
	A	6,36	6,12	5,73	7,61	216	386	166	7,60
	AB	7,31	6,29	2,52	2,84	52	134	10,7	3,84
	B1	7,64	6,43	1,26	1,13	34	120	6,2	3,36
	B2	7,44	6,41	1,13	1,37	39	119	5,4	3,20
3/8в1	Апах	5,73	3,97	13,10	6,91	178	450	4,0	8,64
	A	5,60	3,90	13,10	6,52	118	262	2,8	5,92
	AB	5,34	3,43	12,20	3,48	112	137	3,2	6,24
	B1	5,26	3,50	8,65	1,52	93	126	4,7	5,12
	B2	5,25	3,26	8,65	1,41	48	126	3,5	5,44
4/10в1	Апах	5,97	4,65	8,28	8,72	339	390	3,1	7,04
	A	5,97	4,62	9,64	8,70	255	255	2,3	7,68
	AB	5,93	4,50	9,84	6,80	145	154	1,4	6,08
	B	5,88	4,17	7,92	4,17	87	165	1,6	6,08

Особый интерес представляют свойства почвы на нераспаханной части западины – целине. Растительность ее представлена кустарниками и разнотравным лугом. В пределах гумусового горизонта наблюдаются значительные колебания рН водной и солевой вытяжек в гумусовом и иллювиальном горизонтах – 7,40 и 8,39, 6,86 и 7,15 соответственно. Также важно обратить внимание на изменение величины гидролитической кислотности, значения которой в горизонте А в 4,5 раза больше, чем в горизонте В2, и составляют 2,52 и 0,55 ммоль/100 г почвы, соответственно. Что касается содержания гумуса, то его колебания в рассматриваемых горизонтах значительны. Так, в гумусовом горизонте содержание достигает 10,37% (максимум во всех разрезах), а в иллювиальном – 1,33%, что в 7,8 раза ниже показателя гумусового горизонта.

Целинный участок использован для сравнения характеристик изучаемых почв. Так как он не подвержен антропогенному влиянию, уровень плодородия почвы очень высок, о чем свидетельствует очень высокое содержание гумуса – 10,37%. В пахотном слое почвы с таким содержанием гумуса отсутствуют. Так как почва не подвержена механической обработке, сохранилась прекрасная зернистая структура, характерная для черноземных почв. На пашне она практически утрачена, и для ее воспроизводства потребуются очень высокие дозы органических удобрений высокого качества, прежде всего, навоза крупного рогатого скота, а его в области практически нет.

Навоз на современных животноводческих фермах малопригоден для восстановления уровня гумуса черноземов. Это обусловлено технологией удаления навоза. Он удаляется гидросмывом, доля воды в нем достигает 90% и более (по ГОСТу в навозе крупного рогатого скота доля воды не должна превышать 80%). Ценность жидкой фракции очень низкая, а вывозить ее на поля экономически нецелесообразно. Целинный участок имеет очень высокую степень обеспеченности подвижными формами фосфора и обменного калия в верхней части гумусового профиля – 283 и 220 мг/кг почвы. Вниз по профилю содержание их резко снижается. Реакция среды нейтральная, а величина гидролитической кислотности невелика. Степень

обеспеченности минеральными формами азота низкая, что обусловлено интенсивным потреблением его мощной травянистой растительностью.

Следует отметить, что разрезы закладывались на западинах с различной глубиной вреза, что позволяло выявить как степень поверхностного переувлажнения, так и его влияние на свойства изучаемых почв. Анализируя полученные данные по разрезу 1, который был заложен на лугово-черноземной почве в хорошо выраженной плоской западине, в 150 м от целинного участка, мы отмечаем высокую величину рН водной вытяжки по всему профилю. Скорее всего, это обусловлено миграционными формами карбонатов, тем более что в горизонте ВСк карбонаты определяются уже визуально. Величина обменной кислотности, характеризуемая рН солевой вытяжки, изменяется по профилю в довольно широком диапазоне от 6,26 в пахотном слое до 7,37 в горизонте ВСк. Минимальные величины рН водной и солевой вытяжек наблюдаются в горизонте В1. Нейтральная среда по всему профилю обусловлена и низкой величиной гидролитической кислотности, варьирующей по профилю в пределах 1,43–1,01, с максимумом в горизонте В1 – 1,56 ммоль/100 г почвы.

Данная почва по содержанию гумуса – от 2,74 до 5,56% – относится к малогумусной. Характер распределения гумуса по профилю соответствует прогрессивно убывающему типу.

Что касается разреза 2, то он заложен на поле под паром, на слабо врезанной западине. Навоз был внесен поверхностно и запахан на глубину 21–25 см. Это повлияло на все показатели физико-химического состояния изучаемой почвы, так как профиль почвы резко дифференцирован. Внесение свиного навоза, имеющего кислую реакцию, понизило величину рН водной и солевой вытяжек, если их сравнивать с таковыми на целине. Реакция среды нейтральная в пахотном слое и верхней части гумусового горизонта, и она резко возрастает в нижележащих горизонтах. Подобная дифференциация профиля обусловлена, прежде всего, внесением очень высокой дозы (100–150 м³/га) свиного навоза. Такой вывод подтверждается и по остальным показателям. Величина гидролитической кислотности в пахотном слое и горизонте А достигает 5,73 и резко снижается в горизонте АВ до 2,52 ммоль/100 г почвы. Столь же резкая дифференциация профиля наблюдается и по содержанию гумуса. Максимальное содержание его отмечается в пахотном слое – 9,85%, в горизонте А оно снижается до 7,61%, а в горизонте АВ снижается до 2,84%. Распределение гумуса по профилю соответствует прогрессивно убывающему типу.

Разрез 3 заложен в хорошо выраженной западине под озимой пшеницей. Дополнительное увлажнение за счет стока атмосферной влаги в западину обуславливает существенное выщелачивание профиля от карбонатов. Об этом свидетельствуют самые низкие величины рН водной и солевой вытяжек по всему профилю – 5,73–5,25 и 3,97–3,26% соответственно. Это подтверждается и величиной гидролитической кислотности. В гумусовом горизонте она варьирует в пределах 13,10–12,20 ммоль/100 г почвы и снижается в иллювиальных горизонтах до 8,65 ммоль/100 г почвы. Устранить избыточную кислотность можно только известкованием. Расчетная доза извести для пахотного слоя составит 19,65 т/га в действующем веществе. Это очень затратное мероприятие, однако его можно существенно удешевить, если проводить не сплошное, а выборочное известкование, то есть непосредственно только по западинам. Тем более что они хорошо видны на пашне (см. рис. 1).

Содержание гумуса варьирует в гумусовом горизонте в пределах 6,91–3,48%, что соответствует среднему уровню гумусированности. Распределение гумуса по профилю соответствует прогрессивно убывающему типу.

Разрез 4 заложен в хорошо выраженной западине под озимой пшеницей. Дополнительное увлажнение за счет стока атмосферной влаги в западину обуславливает существенное выщелачивание профиля от карбонатов. Об этом свидетельствуют низкие величины рН водной и солевой вытяжек по всему профилю 5,97–5,88 и 4,65–4,17 соответственно. Величина гидролитической кислотности в гумусовом горизонте варьирует в пределах 8,28–9,84 ммоль/100 г почвы и снижается в иллювиальном горизонте до 7,92 ммоль/100 г почвы. Как и для почвы разреза 3, необходимо выборочное известкование. Расчетная доза извести – 12,42 т/га.

Выше отмечена весьма существенная дифференциация профиля изучаемых почв по всем параметрам, в том числе и по содержанию подвижных форм фосфора, обменного калия и минеральным формам азота. Генетически обусловленная дифференциация профиля изучаемых почв усиливается под влиянием высоких доз свиного навоза. Это наглядно показано на рис. 2 и 3.

Как видно на рис. 2, максимальное содержание подвижных форм фосфора и обменного калия наблюдается в пахотном слое разреза 2 – паровое поле после внесения и запашки свиного навоза. Содержание элементов питания согласно существующей градации (см. табл. 2) оценивается не просто как высокое, а превышающее допустимые показатели содержания фосфора в 4,5 и калия в 5 раз. Это связано с очень высокими дозами свиного навоза. Рекомендуется вносить 40–50 м³/га. Применяемые в хозяйстве дозы свиного навоза 100–150 м³/га следует считать избыточно высокими. Вниз по профилю содержание этих форм элементов питания резко снижается.

Разрезы 2 и 3 были заложены на полях с озимой пшеницей, размещенной по пару. На рис. 2 видно, что содержание подвижного фосфора и обменного калия в 2–4 раза ниже, чем в паровом поле. Это обусловлено переходом фосфора в менее растворимые формы и потреблением его озимой пшеницей на формирование урожая, фиксацией калия смешанослойными минералами и поглощением его растениями озимой пшеницы. Минимальное содержание подвижных форм фосфора и обменного калия наблюдается на распаханной целине (разрез 1).

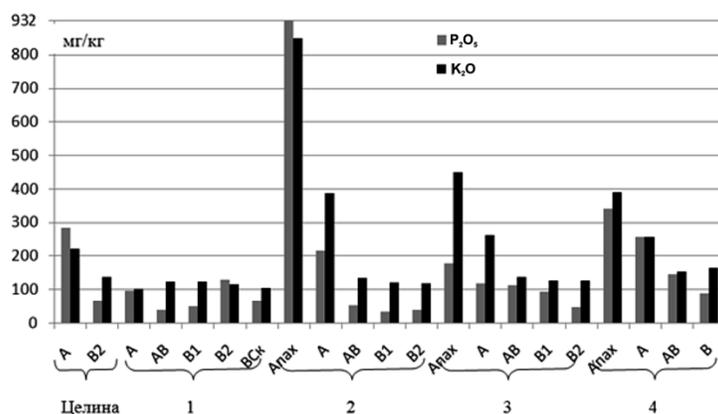


Рис. 2. Распределение подвижного фосфора и обменного калия по профилю почв целины и 4 западных разрезов

Табл. 2

Группировка почв по содержанию усвояемых форм P_2O_5 и K_2O (по Ф.В. Чирикову) и шкала обеспеченности растений минеральными формами почвенного азота (по Г.П. Гамзикову) [3]

Класс обеспеченности	Степень обеспеченности	Содержание (мг/кг)		Интервалы содержания азота (мг/кг)		
		K_2O	P_2O_5	Интервалы содержания азота (мг/кг)		
				$N(NO_3)$ (0–20 см)	$N(NO_3)$ (0–40 см)	$N(NO_3) + N(NH_4)$ (0–20 см)
1	Очень низкая	<20	<20	<10	<5	<10
2	Низкая	21–40	21–50	10–15	5–10	10–20
3	Средняя	41–80	41–100	15–20	10–15	20–40
4	Повышенная	81–120	101–150	–	–	–
5	Высокая	121–180	151–200	>20	>15	>40
6	Очень высокая	>180	>200	–	–	–

Несколько иные закономерности наблюдаются при анализе содержания минеральных форм азота. Свиной навоз, удаляемый гидросмывом, содержит 0,13% азота, 0,66% фосфора и 0,07% калия. Минеральный азот представлен двумя формами, нитратной и аммонийной. Аммонийный азот, как и фосфор с калием, может закрепляться в почве. Нитратный же азот не фиксируется в почве и при избыточном увлажнении мигрирует вниз по профилю и может попасть в грунтовые воды, загрязняя их. На рис. 3 показано содержание и характер распределения по профилю минеральных форм азота.

Согласно шкале оценки содержания нитратного азота (табл. 2) оно в пахотном слое разреза 2 превышает высокую степень обеспеченности в 9,7 раза, а в подпахотном – в 11,1 раза. Вниз по профилю оно резко снижается. Причиной этого может быть дефицит осадков в вегетационном периоде 2019 г. Однако возможна миграция нитратного азота вниз по профилю ранней весной после схода снега и избыточного поверхностного увлажнения. Поэтому возможность загрязнения грунтовых вод нитратами на этом поле вполне реальна.

Обращает на себя внимание неодинаковое соотношение нитратного и аммонийного азота в исследуемых почвах. На целине и в почве разрезов 3 и 4 преобладает аммонийная форма азота, а в разрезах 1 и 2 – нитратная. Скорее всего, преобладание аммонийной формы азота на полях под озимой пшеницей (разрезы 3 и 4) обусловлено повышенной кислотностью, резко снижающей нитрификацию.

Обеспеченность озимой пшеницы минеральными формами азота оценивается в пахотном слое как низкая, а в подпахотном слое – очень низкая. Внесение высоких доз свиного навоза в паровом поле способствует поступлению в почву большого количества минерального азота, который в значительной мере просто теряется за счет миграции нитратов за пределы корнеобитаемого слоя и не работает на формирование высоких урожаев, а поступление нитратов в грунтовые воды загрязняет их.

Тем не менее, высокий уровень потенциального плодородия почв на фоне высоких и сверхвысоких доз свиного навоза позволяет получать урожаи озимой пшеницы на уровне 4–6 т/га. В 2017 г. на отдельных полях урожайность озимой пшеницы превысила 10 т/га.

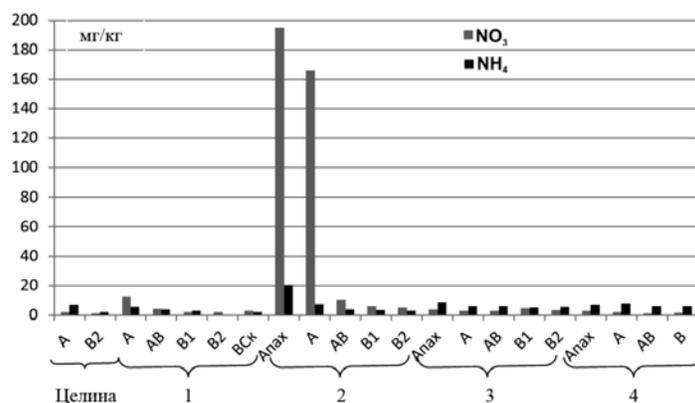


Рис. 3. Содержание и характер распределения минерального азота (мг/кг почвы) по профилям почв целины и четырех разрезов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Установлено, что почвы Верхнехавского района Воронежской области имеют большое число западных комплексов, при этом они хорошо гумусированы и обладают высоким уровнем потенциального плодородия. Содержание гумуса в гумусовом горизонте варьирует в пределах 10,37–2,74%, а характер распределения гумуса соответствует прогрессивно убывающему типу.

Длительное внутрипочвенное внесение свиного навоза в качестве органического удобрения в дозах 100–150 м³/га обуславливает сверхвысокое содержание подвижного фосфора и обменного калия. Внесение высоких доз свиного навоза на глубину 20–30 см в паровые поля является эффективным способом воспроизводства плодородия изучаемых почв и получения стабильно высоких урожаев озимой пшеницы. Однако эти дозы свиного навоза экологически не обоснованы, так как предопределяют возможность загрязнения грунтовых вод нитратами и тем самым негативно сказываются как на состоянии земель, так и на способности их к воспроизводству.

Изученные почвы обладают высоким уровнем плодородия, но наличие западин на пашне существенно осложняет выполнение технологических операций по возделыванию сельскохозяйственных культур, затрудняя процесс производства на проблемных территориях не только излишним естественным увлажнением западин (талые воды), но и антропогенным переувлажнением (внесение жидкой фракции навоза). Кроме этого, следует отметить высокий уровень кислотности западин, который оказывает негативное влияние как на возделываемые культуры, так и на состоянии почв в целом. С учетом всех особенностей рассматриваемой территории предложения по устранению указанных проблем такие:

- для снижения кислотности необходимо проведение выборочной химической мелиорации (известкования);
- для устранения переувлажнения земель от весенних паводков (естественного переувлажнения) необходимы работы по переводу поверхностных вод во внутрипочвенные путем щелевания западин;
- для устранения излишнего антропогенного переувлажнения важно снизить дозы внесения жидкой фракции навоза в почву;
- для целостного сохранения воспроизводственного процесса почвенного плодородия необходимы планировка поверхности и работы по землеванию западин.

ЛИТЕРАТУРА

Список русскоязычной литературы

1. Ахтырцев АБ. Гидроморфные почвы и переувлажненные земли лесостепи Русской равнины. Воронеж; 2003.
2. Зотова КЮ, Недикова ЕВ. Анализ земельного фонда Верхнехавского района Воронежской области. Инновационные технологии и технические средства для АПК. Материалы Международной научно-практической конференции молодых ученых и специалистов. Воронеж: ВГАУ; 2017;(4):81-4.
3. Иванова ЕН. Классификация почв СССР. М.: Наука; 1976.
4. Самойлова ЕМ. Луговые почвы лесостепи. М.: Изд-во МГУ; 1981.

Общий список литературы/Reference list

1. Akhtyrtsev AB. Gidromorfnye Pochvy i Pereuvlazhnennye Zemli Lesostepi Russkoy Ravniny. [Hydromorphic Soils and Waterlogged Lands of the Forest-Steppe of the Russian Plain]. Voronezh; 2003. (In Russ.)

2. Zotova KYu, Netikova YeV. [Analysis of the land fund of the Verkhnekhavsky district of Voronezh Region]. In: Innovatsionnye Tekhnologii i Tekhnicheskiye Sredstva dlia APK. Materialy Mezhdunarodnoy Nauchno-Prakticheskoy Konferentsii Molodykh Uchenykh i Spetsialistov. Voronezh: VGU; 2017;(4):81-4. (In Russ.)
3. Ivanova YeN. Klassifikatsiya Pochv SSSR. [Classification of Soils of the USSR]. Moscow: Nauka; 1976. (In Russ.)
4. Samoylova YeM. Lugovye Pochvy Lesostepi. [Meadow Soils of Forest-Steppe]. Moscow: MGU; 1981. (In Russ.)



© ФОНД НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ «XXI ВЕК»
РОССИЙСКАЯ ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ АКАДЕМИЯ

БИОСФЕРА

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

УДК: 551.312:556.55

ТАКСОНОМИЧЕСКОЕ РАЗНООБРАЗИЕ ДИАТОМОВЫХ КОМПЛЕКСОВ ГОЛОЦЕНОВЫХ ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ МАЛЫХ ВОДОЕМОВ ДЕПРЕССИИ ОЗЕРА ИМАНДРАА.Л. Косова¹, Д.Б. Денисов¹, С.Б. Николаева²¹*Институт проблем промышленной экологии Севера и* ²*Геологический институт, Кольский научный центр РАН, Апатиты, Россия*Эл. почта: *annkosova1976@yandex.ru*

Статья поступила в редакцию 20.03.2020; принята к печати 05.06.2020

Исследования таксономического разнообразия диатомовых водорослей в голоценовых донных отложениях двух малых водоемов на западном побережье оз. Бабинская Имандра (Мурманская область) продемонстрировало исторические трансформации видового состава и структуры диатомовых комплексов в ответ на меняющиеся условия окружающей среды в голоцене. Изученные водоемы характеризовались доминированием бентосных форм и обрастателей в составе палеосообществ на протяжении всего голоцена. Наиболее резкие изменения в диатомовых комплексах были вызваны тектоническим событием в зоне Имандровской депрессии.

Ключевые слова: *диатомовый анализ, палеорекострукции, голоцен, малые водоемы, Мурманская область.*

TAXONOMIC DIVERSITY OF DIATOM COMPLEXES OF HOLOCENE BOTTOM SEDIMENTS OF SMALL WATER BODIES WITHIN THE LAKE IMANDRA DEPRESSIONA.L. Kosova¹, L.B. Denisov¹, S.B. Nikolayeva²¹*Institute of Northern Environmental Problems and* ²*Geological Institute, Kola Research Center, Russian Academy of Sciences, Apatity, Russia*E-mail: *annkosova1976@yandex.ru*

A study of the taxonomic diversity of diatom algae in Holocene bottom sediments of two small water basins at the western coast of the lake Babinaskaya Imandra (Murmansk Region) has demonstrated the historical transformations of the species compositions of structures of diatom complexes associated with environmental changes in the Holocene. The water basins studied featured the predominance of the benthic and adhesive algae in the algal communities throughout the Holocene. The most drastic changes in the diatom complexes were associated with a tectonic event nearby the Imandra depression.

Keywords: *diatom analysis, paleontological reconstruction, Holocene, small water basins, Murmansk Region*

Введение

Таксономическое разнообразие, выраженное в видовом (флористическом) богатстве и соотношении таксонов разного ранга, является одной из важнейших характеристик биологических сообществ. Оно отражает происхождение и эволюционный статус экосистем и обеспечивает их стабильность, хотя функциональное значение биоразнообразия как одного из механизмов устойчивости биоценозов признается недостаточно обоснованным [1]. Особый интерес представляет биоразнообразие арктических и субарктических областей [33, 36].

Диатомовые водоросли – традиционный инструмент биоиндикации состояния водных экосистем. Таксономическое разнообразие играет в нем ключевую роль. Диатомовый анализ донных отложений (ДО) имеет важное значение для палеоэкологических реконструкций в высоких широтах. В настоящее время он входит в группу руководящих методов, применяемых для реконструкции исторической динамики окружающей среды и климата [26, 35]. Надежность результатов палеоэкологических реконструкций определяется полнотой данных о региональном флористическом богатстве диатомовых водорослей, поэтому инвентаризация видового состава и уточнение экологических характеристик диатомей является важнейшей научной задачей.

Современные изменения сообществ пресноводных диатомей арктической зоны в ответ на долговременное антропогенное загрязнение и потепление климата не могут быть в полной мере оценены без знаний исторической динамики видового разнообразия. Изучению биогеографических особенностей и филогенетическим исследованиям пресноводных диатомей различных регионов мира в настоящее время уделяется большое внимание [28]. Данные о составе диатомовых комплексов в голоценовых озерных отложениях Мурманской области, используемые для палеогеографических построений, представлены в работах разных лет [4, 7, 10, 17, 18, 21].

Озеро Имандра является одним из крупнейших водоемов арктической зоны РФ и важнейшим источником водных ресурсов, определяющим функционирование промышленного кластера в Мурманской области. Разработка и освоение месторождений минерального сырья на берегах озера начались в 1930-1940 гг. и привели к появлению комплекса негативных явлений и загрязнению водоема, что в конечном итоге снижает потенциал дальнейшего развития региона. Несмотря на широко

развернувшиеся исследования экосистемы озера Имандра [9, 14] и придаточных водных систем [15, 20], биологическое разнообразие диатомовых водорослей изучено недостаточно [24]. Это в полной мере относится к плейстоцен-голоценовым диатомовым комплексам в бассейне озера Имандра, информация о которых необходима для понимания процессов послеледникового формирования экосистемы водоема, условий формирования качества вод и реконструкции палеогеографических обстановок.

Цель данной работы – изучение динамики видового разнообразия диатомовых комплексов донных отложений малых водоемов депрессии озера Имандра в голоцене.

Материалы и методы

Материалом для исследования диатомовых водорослей послужили донные отложения двух малых озер, расположенных в гляциальной области севера Европейской России, в пределах Балтийского (ФенноСкандинавского) кристаллического щита. Формирование рельефа и озерности этой области обусловлено распространением осадочного чехла. Безымянные озера 1 и 2, выбранные в качестве исследований, находятся в юго-западной части Кольского региона на западном побережье озера Бабинская Имандра и расположены на расстоянии около 3 км друг от друга (рис. 1А). Здесь развиты плоские аккумулятивные террасы, иногда разделенные ледниковыми возвышенностями, долинами и понижениями рельефа, часто занятыми озерами. В одном из таких понижений находится бессточное озеро 1, южный берег которого вытянут на 0,35 км в субширотном направлении. Берега озера заболочены. Котловина озера 2 имеет узкую вытянутую на 1,2 км форму при ширине 0,3-0,5 км (рис. 1 Б). Озеро проточное, берега озера песчано-каменистые, частично заболоченные.

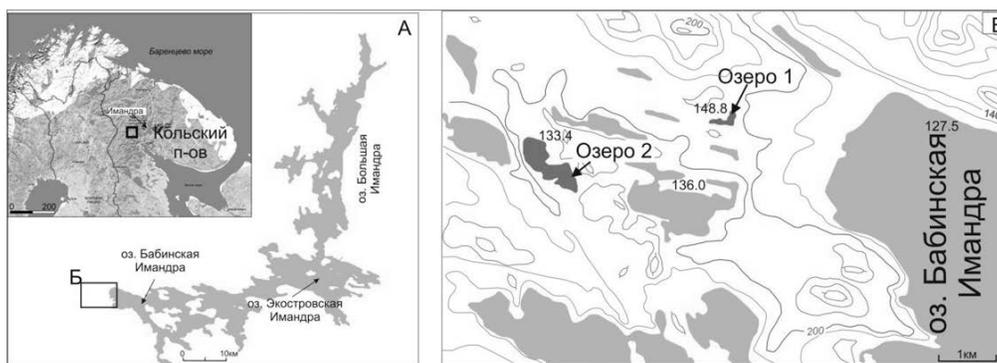


Рис. 1. Схема расположения района исследования (А) и положение изученных озер 1 и 2 с абсолютной отметкой уреза воды 148,8 м и 133,4 м соответственно (Б). Горизонтали рельефа на рис.Б проведены через 50 м.

Отбор колонок донных отложений производился сотрудниками ГИ КНЦ РАН в летний период с катамарана при помощи переносного отечественного поршневого бура. Длина трубки 1 м, диаметр 50 мм. Керны отобраны с перекрытием в несколько сантиметров. Координаты, глубина отбора кернов, их мощности и основные характеристики озер представлены в табл. 1.

Табл.1

Характеристики обследованных озер

Озеро	Дата отбора	Координаты	Высота над у. м., м	Глубина, м	Площадь зеркала, км ²	Мощность керна, м
1	август 2013 г	N 67°32.40'; E 31°48.70'	148,8	3,0	0,05	1,2
2	август 2013 г	N67°31.98'; E31°45.18'	133,4	3,2	0,385	2,1

Из керна озера 1 были отобраны 9 образцов с интервалом 5 см, из озера 2 – 16 образцов с интервалами 7-10 см. Диатомовые диаграммы, некоторые представители диатомовых водорослей и экологические характеристики диатомовых комплексов показаны на рис. 2-10.

Основной метод исследований – диатомовый анализ. Техническая очистка панцирей диатомей осуществлена по стандартной методике [3, 5] с изменениями, разработанными в Институте проблем промышленной экологии Севера КНЦ РАН [11, 12]. Определение диатомей велось с помощью световых микроскопов Wild Leitz GMBH и Olympus CX 41 при увеличении в 1000 раз с применением иммерсионного объектива. Электронно-микроскопическое исследование проводилось на базе аналитического центра Института геологии Карельского научного центра (г. Петрозаводск) на сканирующем электронном микроскопе (СЭМ) VEGAIII SH при 20 кВ с энергодисперсионным микроанализатором INCA Energy 350. Данные сохранялись

в виде цифровых изображений в формате JPEG. Все обнаруженные в препаратах створки водорослей определяли, по возможности, до внутривидовых таксономических категорий согласно определителям [23, 29-32]. Классификацию уточняли по международной альгологической базе данных [25]. Все препараты, а также очищенный материал створок диатомовых водорослей хранятся в гербарии Института проблем промышленной экологии Севера ФИЦ КНЦ РАН [2].

Дальнейший анализ включал послойное исследование таксономической структуры диатомовых комплексов (ДК) и выявление их относительной численности в пробе по количественной методике, предложенной Н.Н. Давыдовой [3]. Доминантными считали таксоны с численностью более 10 % относительно всего числа учтенных особей; субдоминантными – с численностью более 5, но менее 10 %; обычными – от 1 до 5 % включительно; единичными – менее 1 %. Доминанты и субдоминанты составляют группу «массовых видов». Рассчитывали содержание створок диатомей (млн) в 1 г воздушно-сухого осадка донных отложений.

Анализ изменения разнообразия диатомей выполнен с использованием общепринятых индексов: Шеннона-Уивера (H'), выравнинности по Пиелу (E), доминирования по Симпсону (C), разнообразия по Симпсону (D). Сходство таксономического состава определено между флористическими списками озер с вычислением индекса сходства по Серенсену. Индексы рассчитаны на основе относительного обилия.

Экологическая характеристика видов диатомовых водорослей [1, 5, 6, 8] приведена в соответствии с процентным соотношением створок диатомей в пробе по отношению к солености, местообитанию, pH воды и географическому распространению.

Проводили анализ толерантности обнаруженных таксонов по отношению к pH и вычисляли интегральное значение pH для каждого слоя отложений методом [13] по следующей формуле: $pH = \sum ph_i \cdot k / \sum k$, где ph_i – индивидуальное значение pH для каждого таксона-индикатора; k – показатель обилия (может быть выражен в баллах или значениями численности). В данной работе в качестве показателя k применяли значения численности каждого индикаторного таксона.

Для оценки продуктивности водных экосистем использовали показатель содержания органического вещества (LOI – loss on ignition, %) в осадках водоемов, развивающихся в определенных условиях среды. Он характеризует баланс продукционно-деструкционных процессов в лимносистеме и изменяется в соответствии с географическим положением озерных котловин, их морфологией, колебаниями климата и характером ландшафтов водосбора.

Диаграмма вертикального распределения массовых и некоторых единичных видов, показателей численности и видового разнообразия диатомовых водорослей в голоценовых осадках построены в программе C2 [27].

Радиоуглеродное датирование выполнено в Лаборатории палеогеографии и геохронологии четвертичного периода факультета географии и геоэкологии СПбГУ в Санкт-Петербурге. Значения календарного возраста приведены на основании калибровочной программы CalPal2007_HULU Кельнского университета 2007 г. (сайт: www.calpal.de).

Результаты

Литология разрезов донных отложений

Донные осадки озера 1 представлены коротким разрезом, вскрывшим следующие литологические разности (здесь и далее описание снизу-вверх, глубина указана от поверхности воды): 3,9-3,87 м – песок серый, мелко- и среднезернистый, с органикой. Контакт с перекрывающими осадками неровный, с затеками; 3,87-3,69 м – торф с гиттией и песком; 3,69-3,00 – гиттия от слабо слоистой до неясно слоистой (см. рис. 5). Из основания разреза с глубины 3,75-3,85 м получена радиоуглеродная датировка, показавшая возраст 8491 ± 109 календарных лет (кал) (ИГАН 4548) [15].

В разрезе озера 2 вскрыты: 5,33-5,14 м – песок с единичными зёрнами гравия; 5,14-5,06 м – переслаивание алеврита и мелкозернистого песка; 5,06-4,98 м – алеврит с гиттией; 4,98-4,86 м – гиттия черная с минеральной частью; 4,86-4,30 м – гиттия неяснослоистая, коричневая, с остатками растительности и минеральной частью. Переход в вышележащий слой по прослою серого тонкозернистого песка толщиной 2 мм; 4,30-4,00 м – смесь гиттии, торфа, алеврита, песка, обломков древесины (брекчиевый горизонт); 4,00-3,20 м – гиттия коричневая, неяснослоистая, с минеральной частью и растительными остатками внизу интервала (см. рис. 8). Из этого разреза получены 3 радиоуглеродных датировки; расположение пунктов отбора образцов и калиброванные радиоуглеродные датировки показаны на рис. 8. Присутствие сейсмогенной фации (брекчиевый горизонт) в отложениях озера свидетельствует о более значительной роли тектонической компоненты в районе Имандровской неотектонической впадины [16].

Диатомовый анализ

Озеро 1 (148,8 м н.у.м.). В ДО озера зарегистрированы 72 таксона, относящихся к 24 родам, 15 семействам, 8 порядкам и 2 классам (рис. 2). В исследуемых диатомовых комплексах ведущее место по количеству таксонов занимают роды *Eunotia* (17), *Pinnularia* (12), *Gomphonema* (8), *Brachysira* (6). Распределение видов по родам неравномерно. Численность одно- и двувидовых родов – 18 (75 % от общего числа родов). Видовое богатство низкое, от 30 до 42 таксонов рангом ниже рода в образце.

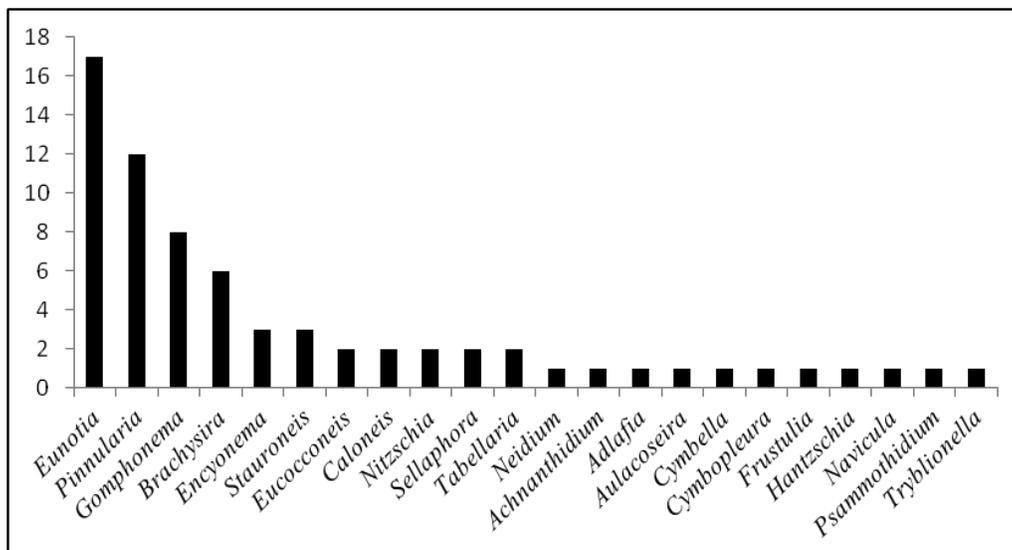


Рис. 2. Распределение числа таксонов диатомей по родам в голоценовых донных отложениях озера 1.

Диатомовая флора представлена типичными пресноводными таксонами (рис. 3).

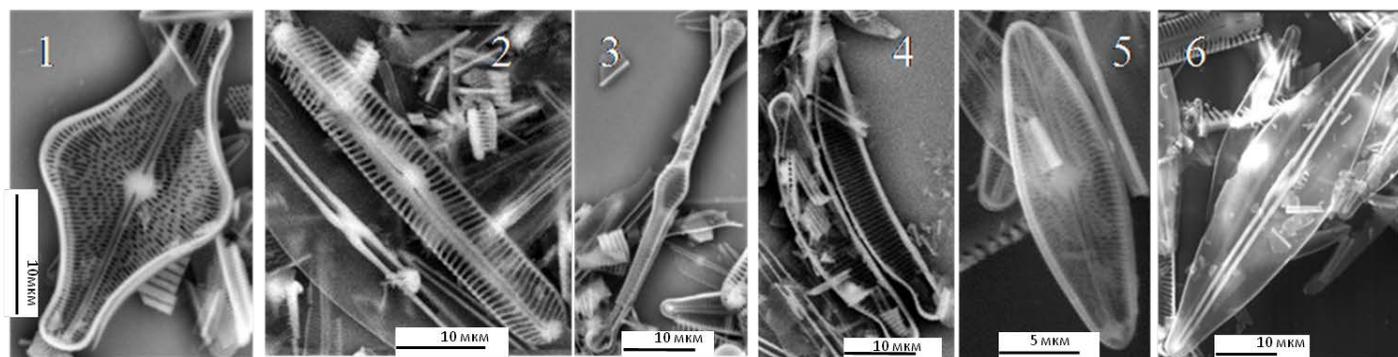


Рис. 3. Некоторые представители диатомовых водорослей из донных отложений озера 1.

1 – *Brachysira follis*. 2 – *Pinnularia bacilliformis*. 3 – *Tabellaria flocculosa*. 4 – *Eunotia arcus*. 5 – *Brachysira brebissonii*. 6 – *Frustulia rhomboides*.

Структура ДК по отношению к содержанию солей в воде характеризуется наибольшим разнообразием видов-галофобов (рис. 4а). Вверх по разрезу отмечается уменьшение доли галофобов с 61 до 41 % и увеличение доли индифферентных форм до 41%. Галофилы единично встречаются только в двух образцах ДО. На долю бентосных видов приходится до 93 % от общего числа створок (рис. 4б). Наиболее характерными видами этой группы являются представители родов *Frustulia*, *Pinnularia*, *Brachysira*. В состав этой группы включены и эпифитные диатомеи рода *Eunotia*. Полностью отсутствуют истинно планктонные виды. На долю диатомей, для которых характерно обитание в двух и более экологических нишах, приходится от 5 % до 19 %. Наиболее часто из них в пробах с глубины 3,88-3,77 м встречается *Tabellaria flocculosa* (Roth) Kützing. По отношению к pH (рис. 4в) на долю индикаторной группы ацидофилов приходится до 78%; изменения их вклада в структуру ДК вверх по колонке не отмечаются. В структуре видов по географической приуроченности наблюдаются изменения от нижних слоев к верхним: виды-космополиты, составляющие до 58% в нижних слоях, уступают место арктоальпийским видам (рис. 4г). Арктоальпийские виды в основном представлены ацидофилами, по отношению к солености – галофобами.

В ДО озера основная роль принадлежит бентосным формам, таким как *Frustulia rhomboides* (Ehrenberg) De Toni, представителям родов *Brachysira* (*Brachysira follis* (Ehrenberg) R.Ross, *Brachysira brebissonii* R.Ross), *Eunotia* и *Pinnularia*.

Изменения видового состава и структуры ДК по разрезу позволили выделить четыре диатомовые зоны (ДЗ), которые подтверждаются результатами кластерного анализа, выполненного на основе соотношения относительной численности диатомей (рис. 5).

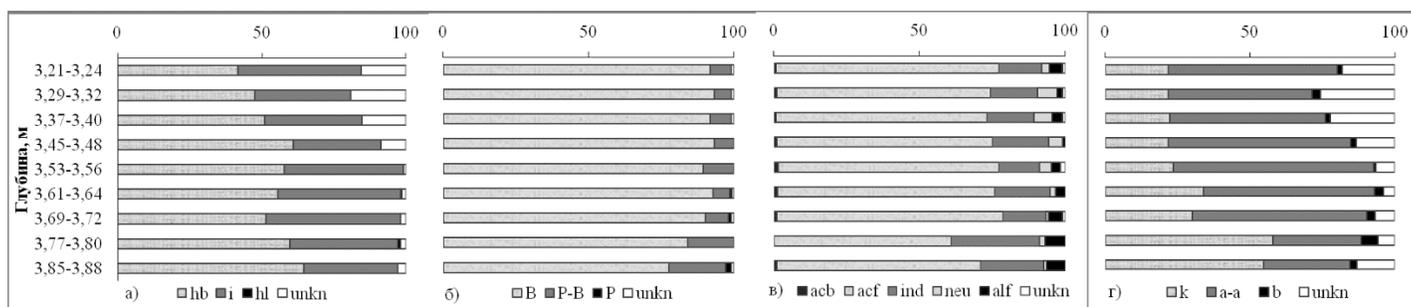


Рис. 4. Экологическая характеристика диатомовых комплексов в донных отложениях озера 1.

а – соотношение видов по отношению к солёности (hb – галофобы, i – индифференты, hl – галофилы, unkn – неизвестно). б – по отношению к местообитанию (B – бентосные, P-B – планктонно-бентосные, P – планктонные, unkn – неизвестно). в – по отношению к pH воды (acb – ацидобионты, acf – ацидофилы, ind – индифференты, neu – нейтрофилы, alf – алкалофилы, unkn – неизвестно). г – географическая приуроченность (k – космополиты, a-a – арктоальпийские, b – бореальные, unkn – неизвестно).

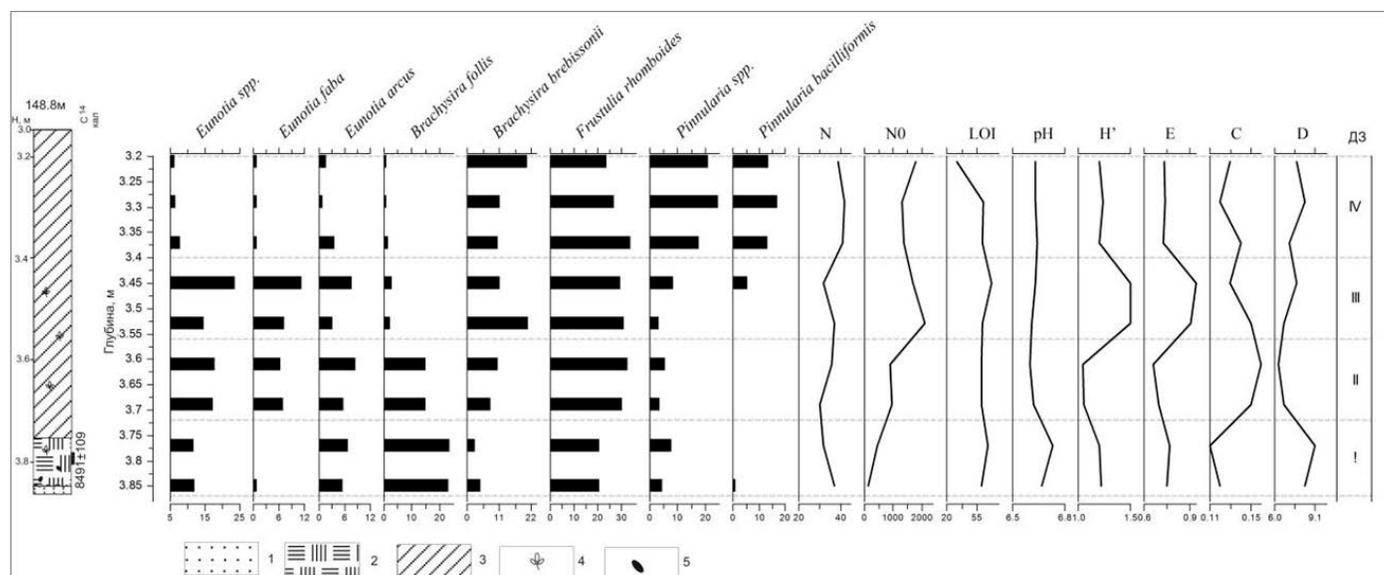


Рис. 5. Литологический разрез и диатомовая диаграмма массовых и индикаторных видов (%) из донных отложений озера 1. N – число видов, No – концентрация створок диатомей (млн/г), LOI – потери при прокаливании (%), pH – значения активной реакции воды, реконструированные по диатомовым комплексам, H' – индекс Шеннона-Уивера, бит/экз., E – индекс Пиелу, C – индекс Симпсона, D – индекс разнообразия по Симпсону, D3 (I-IV) – основные этапы развития экосистемы водоема по результатам кластерного анализа; 1 – песок, 2 – торф, 3 – гиттия, 4 – макро-остатки растений, 5 – единичные зерна гравия.

ДЗ I (3,88-3,72 м) объединяет 2 пробы и характеризуется уменьшением числа видов от 37 до 32, увеличением концентрации створок диатомей (млн/г) от 134 до 450 и содержания органического вещества до 67 %, самым высоким значением индекса разнообразия по Симпсону (D) – 9. В составе диатомовых комплексов по численности преобладают бентосные виды *Brachysira follis* (23%), *Frustulia rhomboides* (20 %) и эпифиты рода *Eunotia* (13 %), *Tabellaria flocculosa* (9 %). Единично отмечен планктонный вид *Aulacoseira lacustris* (Grunow) Krammer.

ДЗ II (3,72-3,56 м): концентрация створок диатомей возрастает до 946 млн/г, снижается показатель разнообразия по Симпсону (6,3), отмечается самый низкий показатель видового богатства – 30 видов. Индекс выравненности по Пиелу и индекс доминирования по Симпсону отражают доминирование отдельных видов. Доля *Frustulia rhomboides* достигает 32 %, в то время как доля *Brachysira follis* уменьшается до 15 %, и к числу доминантов присоединяется *Brachysira brebissonii* (11 %). Суммарная численность видов рода *Eunotia* достигает 18%, и в роли субдоминанта выступает *Eunotia faba* (Ehrenberg) Grunow (7 %) – типичный болотный вид северных широт, галофоб. Реконструируемое значение pH = 6,6. Большинство компонентов комплекса, представленного ацидофильными, галофобными и арктоальпийскими видами, указывает на слабокислую среду, низкую минерализацию воды, холодные условия развития флоры и заболоченность водосбора.

ДЗ III (3,56-3,40 м) объединяет 3 пробы. Слой 3,53-3,56 м характеризуется максимальной концентрацией диатомовых створок (2098 млн/г) и повышением индекса Шеннона-Уивера до 1,5. Происходит смена доминантов внутри рода *Brachysira*: вид *Brachysira brebissonii* (11-21 %) сменяет *Brachysira follis* (3%). Оба вида описаны как типичные ацидофилы, характерные для олиготрофных низкоминерализованных вод. Суммарная численность видов рода *Eunotia* достигает в разрезе максимального значения – 27 %, основной вклад вносят *Eunotia faba* (7-11%) и *Eunotia arcus* Ehrenberg (3-7%). Отмечается увеличение доли видов рода *Pinnularia* до 8,6 %. В интервале отмечается самое высокое содержание органического вещества (72 %). Эти изменения отражают смену климатических условий.

ДЗ IV (3,40-3,20 м) характеризуется увеличением доли видов рода *Pinnularia* (17-24%), в основном за счет *Pinnularia bacilliformis* K. Grammer (13-17 %) – эпипелика в мелких олиготрофных водоемах с низким содержанием электролитов. Отмечается уменьшение содержания *Frustulia rhomboides* к верхним слоям до 24 %, увеличение *Brachysira brebissonii* до 21 %. *Brachysira follis* в образцах из данного интервала встречается единично. Концентрация диатомей ниже, чем в предыдущей ДЗ. Видовое богатство ДК составляет 39-42 вида в образце, индекс разнообразия по Симпсону выше, чем в ДЗ III. Рассчитанное значение рН составляет 6,6. В слое 3,21-3,24 м отмечается самое низкое содержание органического вещества (31,6 %).

Реконструируемое значение рН менялось от 6,61 до 6,73, что соответствует слабокислой среде. В ДО озера 1 отмечено высокое содержание органического вещества (до 72 %), характерное для болот (рис. 5).

Озеро 2 (133,4 м н.у.м.). В ДО обнаружены 205 таксонов, относящихся к 58 родам, 31 семейству, 15 порядкам и 3 классам. Наибольшего таксономического разнообразия достигают представители родов *Eunotia* (16), *Pinnularia* (15), *Cymbella* (12), *Gomphonema* (10) (рис. 6). Численность одно- и двувидовых родов – 32 (или 55 % от общего числа родов).

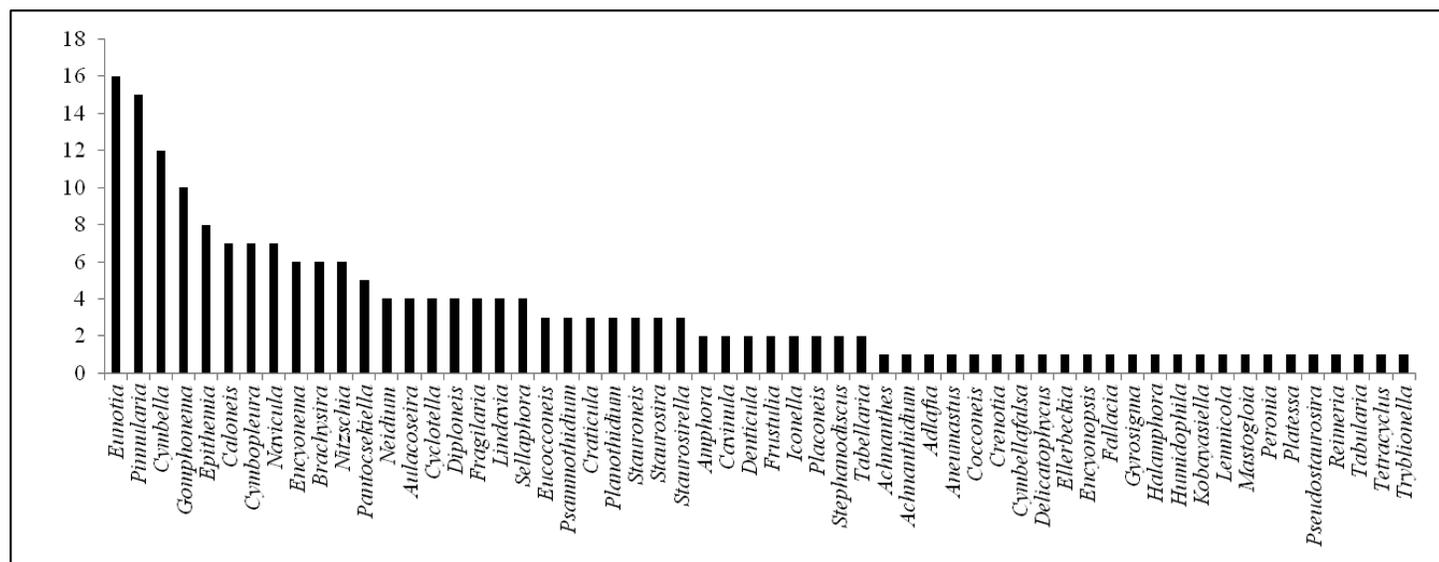


Рис. 6. Распределение числа таксонов диатомей по родам в голоценовых донных отложениях озера 2.

Структура ДК по отношению к солености характеризуется преобладанием видов-индифферентов (рис. 7а). Среди индикаторных диатомей с ограниченным оптимумом по этому фактору галофобы существенно преобладают над галофилами. Доля галофобов на протяжении колонки подвержена значительным колебаниям от 6 до 28 %. По отношению к местообитанию преобладают бентосные формы (от 47 % до 89 %) (рис. 7б). Наибольшее относительное обилие в этой группе приходится на виды рода *Brachysira* и вид *Frustulia saxonica* Rabenhorst. Максимальная доля (14 %) истинно планктонных видов отмечается в образце с глубины 3,90-3,93 м. В исследованных ДК озера 2 по отношению к рН доля индифферентных видов составляет 1/3 на протяжении всей колонки. Соотношение между ацидофилами и алкалифилами вместе с алкалибионтами изменяется от 1:0,4 до 1:1,5 (рис. 7в). Анализ состава ДК в зависимости от географической приуроченности показывает, что больше половины выявленных диатомовых составляют космополиты (35-71 %) (рис. 7г), что характерно для многих северных регионов. Второе место принадлежит арктоальпийским видам (5-22 %), но их доля не значительно превышает бореальный комплекс (7-16 %).

В ДК из проб с глубин 4,83-4,0 м и 3,67-3,25 м наблюдается монодоминирование – *Brachysira zellensis* (Grunow) Round & D.G.Mann. Положение субдоминантов занимают *Brachysira vitrea* (Grunow) R.Ross и *Brachysira brebissonii*, численность которых подвержена значительным изменениям от нижних слоев к верхним. По составу ДК было выделено пять ДЗ (рис. 8).

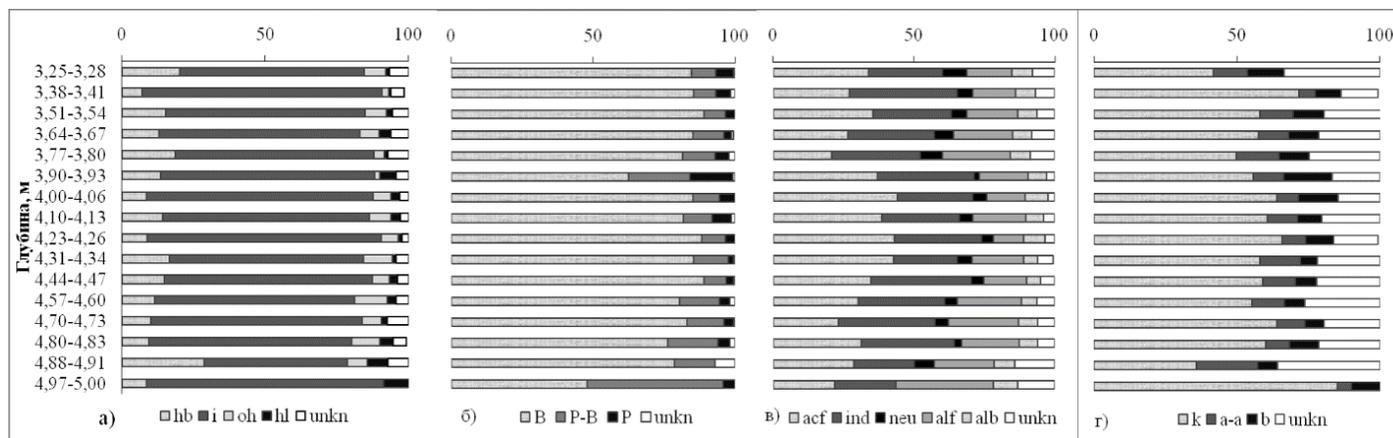


Рис. 7. Экологическая характеристика диатомовых комплексов в донных отложениях озера 2: а – соотношение видов по отношению к солености (hb – галофобы, i – индифференты, oh – олигогалофы, hl – галофилы, unkn – неизвестно); б – по отношению к местообитанию (B – бентосные, P-B – планктонно-бентосные, P – планктонные, unkn – неизвестно); в – по отношению к pH воды (acf – ацидофилы, ind – индифференты, neu – нейтрофилы, alf – алкалофилы, alb – алкалобионты, unkn – неизвестно); г – географическая приуроченность (k – космополиты, a-a – арктоальпийские, b – бореальные, unkn – неизвестно).

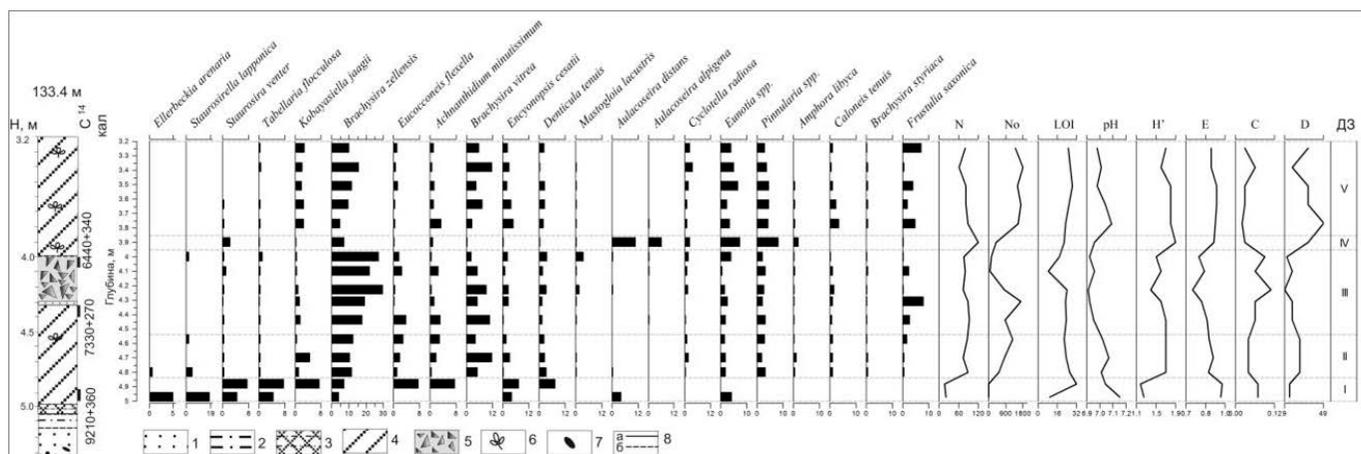


Рис. 8. Литологический разрез и распределение массовых видов диатомовых водорослей в голоценовых осадках озера 2 (%). N – число видов, No – концентрация створок диатомей (млн/г), LOI – потери при прокаливании (%), pH – значения активной реакции воды, реконструированные по диатомовым комплексам, H' – индекс Шеннона-Уивера, бит/экз., E – индекс выравнивания по Пиелу, C – индекс (мера доминирования C) Симпсона, D – индекс разнообразия по Симпсону, ДЗ (I-V) – основные этапы развития экосистемы водоема по результатам кластерного анализа; 1 – песок, 2 – алевроит; 3 – гиттия с алевроитом; 4 – гиттия; 5 – брекчиевый горизонт; 6 – макро-остатки растений; 7 – зерна гравия; 8 – контакты резкие (а), постепенные (б).

ДЗ I (5-4,83 м). В образце 5,00-4,97 м доминанты представлены видом *Staurosirella lapponica* (Grunow) D.M. Williams & Round (18%). В роли сопутствующих видов выступают *Staurosira venter* (Ehrenberg) Cleve & J.D. Möller, *Staurosira construens* Ehrenberg, *Ellerbeckia arenaria* (Moore ex Ralfs) R.M. Crawford, *Aulacoseira distans* (Ehrenberg) Simonsen. Основу ДК составляют бентосные и планктонно-бентосные формы (по 47%). По отношению к солености преобладает группа индифферентов (73%). Отмечается максимальное для разреза содержание алкалофилов (34%) и видов-космополитов (74%). Концентрация створок диатомей – 3,7 млн/г, видовое богатство низкое, 20 видов в образце, индекс разнообразия по Симпсону 14. Содержание органического вещества в изученной колонке ДО в этом образце самое низкое. С глубины 4,91-4,88 м отмечается увеличение концентрации створок диатомей до 4 млн/г и содержания органического вещества до 31%. Увеличивается доля *Staurosira venter*, *Brachysira zellensis*, *Tabellaria flocculosa* (до 7%). Появляются *Achnanthisdium minutissimum* (Kützing) Czarnecki, *Eucocconeis flexella* (Kützing) Meister. Значительно увеличивается доля бентосных форм (79%). Изменяется соотношение видов по отношению к солености: уменьшается доля индифферентов за счет увеличения содержания галофилов (14%) и галобионтов (28%). Надо отметить, что это максимальные значения для разреза. Сокращается доля алькалофильных видов, рассчитанное

значение рН составляет 7,04. В ДК доминанты не отмечены. Индекс Пиелу равен 1, что указывает на равное соотношение всех видов. ДК этого периода отражает начальный этап формирования водоема. Возможно, на данном этапе развития водоема представлял собой залив палео-Имандры или мелководное озеро олиготрофного типа с нормальной реакцией воды.

ДЗ II (4,83-4,57 м) объединяет 3 пробы. Отмечается увеличение концентрации створок диатомей в отложениях (до 1264 млн/г) и видового богатства (92 вида), индексов Шеннона-Уивера до 1,7 и разнообразия по Симпсону до 25. Доминируют бентосные виды: *Brachysira zellensis*, *B. vitrea*. Суммарная численность видов рода *Cyclotella* колеблется в пределах 1,7-4,5 %. Отличительной особенностью комплексов является присутствие *Mastogloia lacustris* (Grunow) Grunow. Рассчитанное значение рН соответствует нейтральной среде. Содержание органического вещества уменьшается к верхним слоям интервала до 21 %.

ДЗ III (4,57-4,00 м) объединяет 5 проб. Образцы с глубины 4,47-4,44 м и 4,34-4,31 м отобраны из гиттии, а образцы 4,26-4,23 м, 4,13-4,10 м, 4,06-4,00 м - из брекчиевого горизонта. При этом явные отличия видового состава и экологических характеристик ДК не выявлены. Важным признаками изменений условий, произошедших в этот период, является значительное снижение концентрации створок диатомей до 75 млн/г и низкое содержание органического вещества (%). Индекс разнообразия по Симпсону ниже, чем на начальном этапе формирования водоема. Число видов уменьшается от нижнего слоя интервала к верхнему от 92 до 75. Основная доля, как в ДЗ II, принадлежит бентосным формам. Доминантом является вид *Brachysira zellensis* (до 30%), субдоминантом – *B. vitrea* (до 9%). Вид *Mastogloia lacustris* встречается единично, а на глубине 4,06-4,00 м его доля достигает 3,7 %.

ДЗ IV (4,00-3,83 м) представлена одной пробой. Доминирует планктонный вид *Aulacoseira distans* (Ehrenberg) Simonsen (11 %), а *A. alpigena* (Grunow) Krammer занимает субдоминантное положение (6,5 %). Увеличивается доля видов рода *Eunotia* (7,5%). Изменения видового состава и комплекса доминантов отражают обводнение водоема. Отмечается самое высокое видовое богатство, 120 видов в образце (индекс разнообразия по Симпсону составил 33, индекс Шеннона-Уивера – 1,9). Выявлены 18 видов (15 % от всех выявленных видов), которые обнаружены только в этом интервале. Доля *Brachysira zellensis* составляет 7%. Отмечено присутствие *Mastogloia lacustris*. В структуре видов по географической приуроченности отмечается максимальное содержание бореальных видов (16 %). Постепенно увеличивается концентрация створок диатомей до 400 млн/г. Реконструируемое значение рН соответствует околонеutralной реакции воды.

ДЗ V (3,83-3,25 м) объединяет 5 проб. Отмечается полная смена доминирующего комплекса. Исчезают виды рода *Aulacoseira*, доля планктонных форм снижается до 5%. Вверх по разрезу численность представителей рода *Brachysira* возрастает, вновь занимая доминирующее положение. Увеличиваются концентрация диатомей и содержание органического вещества (до 25 %). Отмечается снижение видового богатства. Присутствие *Mastogloia lacustris* не зафиксировано только в самом верхнем образце с глубины 3,28-3,25 м. Происходящие изменения отражают быстрое уменьшение глубины водоема, заболачивание его берегов.

Из общего списка диатомей, встреченных в ДК, общими для двух озер оказались 53 таксона (23,6 % флоры), из них в доминирующие комплексы входят *Brachysira zellensis*, *B. brebissonii*, *B. foliis*. Общих доминантов нет. Индекс Серенсена равен 0,38. В данном случае можно говорить о низком сходстве таксономического состава голоценовой диатомовой флоры исследуемых озер.

Такое заключение подтверждается кластерным анализом (рис. 9). При сравнении ДК отчетливо выделяются группа А, состоящая из слоев ДО озера 2, и группа Б - из слоев ДО озера 1.

Обсуждение

Таксономический состав, разнообразие и экологическая структура ДК в двух исследуемых водоемах, расположенных достаточно близко друг к другу, отличаются. Невысокое, по сравнению с озером 2, таксономическое богатство ДК озера 1, вероятно объясняется малой площадью самого водоема и отсутствием выраженного поверхностного стока, что ограничивало разнообразие условий для развития различных видов диатомей на протяжении голоцена.

По составу и характеру экологических групп ДК изученных озер определяются как пресноводные, характерные для относительно мелководных водоемов. Одним из важнейших показателей флористического богатства является родовой спектр. В обоих водоемах наиболее богаты видами роды *Eunotia* и *Pinnularia* (рис. 2, 4), но относительные численности этих родов в составе диатомовых флор значительно различаются. Так, в озере 1 доля родов *Eunotia* и *Pinnularia* достигает 23 % и 25 %, соответственно, тогда как в ДК озера 2 их относительная численность не превышает 7,5 % и 8,5 %, соответственно. В озере 1 *Frustulia rhomboides* доминирует на протяжении всего периода существования водоема, его доля варьирует от 20 % до 33 %, тогда как в озере 2 на долю видов рода *Frustulia* приходится от 0 до 8 %. Многие виды из родов *Eunotia*, *Pinnularia* и *Frustulia* являются строго пресноводными, небольшое повышение концентрации солей в воде действует на них негативно. Структура ДК по отношению к солёности в озере 1 характеризуется преобладанием индикаторной группы видов-галофобов, а в озере 2 преобладают виды-индифференты, и отмечены виды-галофилы. Такие различия указывают на более высокую минерализацию вод в озере 2.

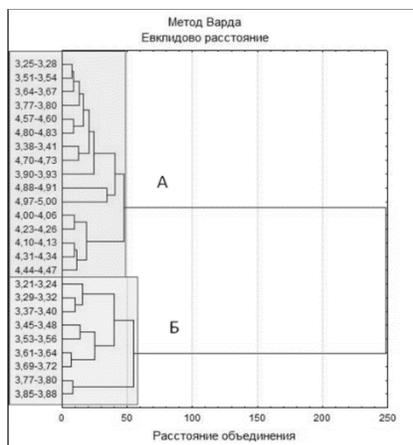


Рис. 9. Кластеры слоев ДО озер по относительной численности видов диатомовых водорослей.

Особый интерес представляет нахождение вида *Mastogloia lacustris* в составе олигогалобной флоры в осадках озера 2 (рис. 10). Этот вид также обнаружен нами в современных сообществах перифитона олиготрофных озер на северо-западе Мурманской области. Относительно экологии этого вида данные противоречивы. В одних источниках этот вид описывается как алькалифил и эвригалинный мезогаLOB, характерный для водоемов, отделившихся от моря [8] или подпитываемых минерализованными трещинными (грунтовыми) водами [22]. В числе массовых видов *Mastogloia lacustris* отмечен в прибрежной зоне Малого Аральского моря при минерализации 9,12-9,16 ‰ [19]. В других источниках [5, 34] вид описан как пресноводный. По-видимому, *Mastogloia lacustris* является видом с широким экологическим оптимумом, который может обитать в среде с низким и высоким содержанием солей. Присутствие *Mastogloia lacustris* в ДО озера 2 зафиксировано с момента интенсивного накопления органики (глубина 4,83-4,80 м) в первой половине атлантического периода до субатлантического периода. Возможно, развитие данного вида происходило в результате изменения химического состава воды. Озеро расположено в зоне разломов и не исключено, что в него одновременно поступали как трещинные, так и поверхностные воды.

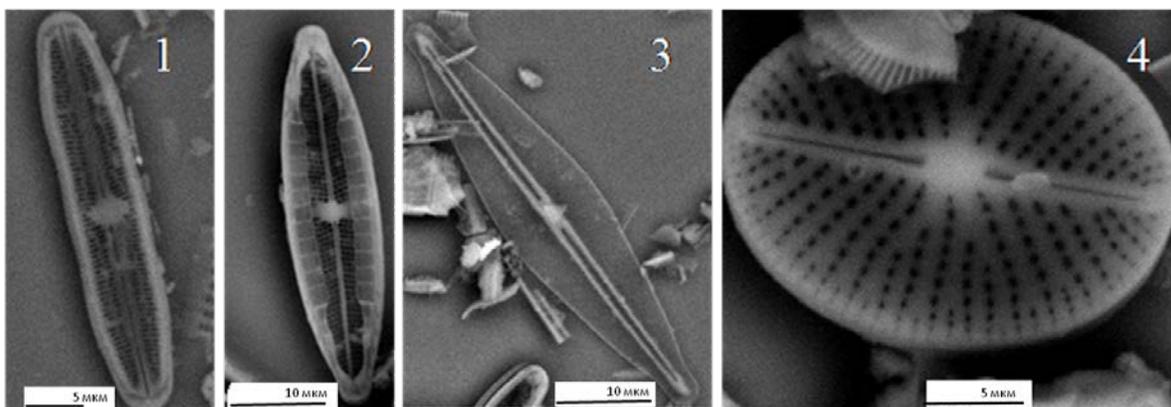


Рис. 10. Некоторые представители диатомовых водорослей из донных отложений озера 2:

1 – *Brachysira zellensis*. 2 – *Mastogloia lacustris*. 3 – *Frustulia saxonica*. 4. – *Cavinula pseudoscutiformis*.

По отношению к местообитанию в обоих озерах доминирующее положение занимают бентосные формы и обрастатели. В озере 2 отмечены истинно планктонные формы диатомей, что указывает на большую глубокководность, по сравнению с озером 1, где планктонные формы не выявлены. Различаются экологические группы в озерах и по отношению к pH воды. Преобладание алкалифилов вместе с алкалибионтами, значительное количество индифферентных, в том числе циркумнейтральных, диатомей обусловлено нейтральной или слабощелочной реакцией вод в озере 2, что подтверждают и восстановленные по ДК значения активной реакции воды (рис. 7). При этом высокая доля ацидофильных диатомей в озере 1 отражает слабокислые условия обитания на протяжении всего периода развития водоема, о чем свидетельствуют реконструированные значения pH (рис. 4).

В озере 1 ДК имеют олигодоминантный характер, доминанты представлены двумя-тремя видами, характерными для дистрофных озер и болот, на протяжении всей изученной толщи, и их доля изменяется в пределах от 15 % до 33%. В то же время в ДК озера 2 отмечается монодоминирование.

Распределение показателей индекса Пиелу (Е) в озере 1 изменяется от 0,66 до 0,99, составляя в среднем 0,79; в озере 2 этот показатель варьирует в пределах 0,75-0,98 при средних значений для керн – 0,88. Несмотря на присутствие массовых видов в озере 1, индекс Пиелу все же характеризуется высокими значениями, но он ниже, чем в озере 2, в котором отмечено большое число единичных таксонов. Индекс Пиелу отражает выравненность видов в озере 2.

Показатели меры доминирования по Симпсону (С) в пробах из озера 1 изменяются от 0,11 до 0,16, в среднем - 0,13. В озере 2 этот показатель варьирует в пределах от 0,02 до 0,11, в среднем составляя 0,05. наименьшие значения отмечены в пробах из озера 2, в которых обнаружено наибольшее число видов и разновидностей. Низкие показатели индекса Симпсона также объясняются присутствием большого числа «единичных» видов диатомей и небольшим числом «массовых» видов. В озере 1 среднее значение индекса выше, чем в озере 2, что подтверждает наличие доминирующих видов.

Индекс разнообразия по Симпсону изменяется в таких диапазонах: в озере 1 – от 6,5 до 9,3, в среднем составляя 7,5, в озере 2 – от 9 до 50, в среднем 23,3. Минимальные значения индекса Шеннона-Уивера характерны для образцов с олиго- и монодоминантным составом видов преимущественно из родов *Frustulia* и *Brachysira*. Ископаемая диатомовая флора озера 2 характеризуется высоким разнообразием.

Низкое сходство таксономического состава ДК в озерах также указывает на различия условий развития диатомовой флоры.

Судя по характеру ДК озера 1, в котором основная роль принадлежит донным видам из родов *Frustulia* и *Brachysira*, способным развиваться преимущественно на мхах, а также высокому содержанию органического вещества в пробах, ДО накапливались в холодном мелководном олиготрофном водоеме со слабокислой средой. Озеро сформировалось на заболоченном участке в начале атлантического времени, а затем происходило постепенное сокращение его площади и глубины. Границы между диатомовыми зонами отражают смену экологических условий обитания диатомовой флоры, при этом не наблюдаются резкие литологические границы. Возможно, в результате увеличения поступления биогенных веществ и снижения минерализации происходит замещение одного вида другим внутри доминантного рода *Brachysira*. Замещение видов рода *Eunotia* видами рода *Pinnularia* (*P. bacilliformis*), возможно, произошло в результате изменении водности и поверхностного стока, заболачивании водоема в условиях сухого холодного климата [22].

Озеро 2 представляло собой сравнительно мелководный водоем до начала атлантического периода. Состав ДК из брекчиевого горизонта сходен с флорой из нижележащих слоев, что указывает на однородность условий окружающей среды. Резкое снижение общего обилия диатомей связано с поступлением огромного количества терригенного материала с водосборной площади. Богатая диатомовая флора и доминирование планктонных видов, характерных для более крупных озер, наблюдаемая в вышележащем слое, и их последующее исчезновение также свидетельствуют в пользу предположения, что такой характер нарушений вызван эрозией, перемещением и последующим переотложением осадков.

Заключение

Выявлены значительные различия в таксономической и экологической структуре ДК в голоценовых ДО изученных водоемов. Более значительным видовым богатством характеризуются ДК более крупного озера 2 с выраженным поверхностным стоком. Общей особенностью водоемов является значительная доля бентосных форм и обрастателей в составе палеосообществ диатомей. Разнообразие и выравненность диатомей озерных экосистем могут быть оценены как высокие. В структуре ДК единичные и обычные таксоны выступают основой разнообразия диатомовых водорослей, которое снижается с ростом доли доминантов.

Различия в относительной численности родов *Eunotia* и *Pinnularia*, занимающих главные места в родовых спектрах, в соотношении индикаторных групп по отношению к солености отражают разную минерализацию вод в озерах, а также разную степень заболоченности ландшафтов. Большое число таксонов, присутствие планктонных форм в озере 2 позволяет утверждать, что оно было глубже, чем в настоящее время.

Результаты диатомового анализа, сопряженные с данными радиоуглеродного датирования, позволяют выделить основные этапы эволюции водоемов, которые охватывают периоды от бореального до субатлантического времени. Накопление гиттии в озере 2 началось в бореальный период (9300-8000 ¹⁴С л. н.). Низкие видовое богатство и содержание органического вещества, присутствие холодолюбивых видов указывают на то, что на начальном этапе накопление осадков происходило в холодноводном олиготрофном водоеме. В атлантический период (8000-4600 ¹⁴С л. н.) формировались более богатые в видовом отношении ДК, увеличились концентрация диатомей и содержание органического вещества, преобладали донные виды и обрастатели. Озеро представляло собой олиготрофный, мелководный, хорошо прогреваемый водоем с частично заболоченными берегами. В этот период на основании литологического и диатомового анализов выявлены последствия тектонической активности в зоне Имандровской депрессии. К этому же периоду приурочено формирование озера 1. В ДК преобладали бентосные виды *Frustulia rhomboides*, *Brachysira follis*, *B. brebissonii*, эпифиты *Eunotia* spp. Большинство

компонентов комплекса – ацидофилы, галофобы, арктоальпийские виды, что указывает на изначально кислую среду, низкую минерализацию воды и холодные условия развития флоры. Дальнейшее потепление и увлажнение сопровождалось повышением уровня воды в озере, притоком гуминовых вод, снижением минерализации воды, берега заболачивались, следствием чего явилось увеличение доли *Frustulia rhomboides* и *Eunotia* spp., внутри доминантного рода *Brachysira* один вид вытеснил другой. В суббореальный период (4600-2500 ¹⁴С л. н.) продолжает накапливаться гиттия, водоемы мелеют. Признаком дальнейшего зарастания и заболачивания берегов в условиях сухого и холодного климата в озере 1 являются уменьшение доли *Eunotia* spp и увеличение доли видов рода *Pinnularia*.

Таким образом, исследование таксономического состава и экологической структуры диатомовых комплексов донных отложений малых водоемов депрессии озера Имандра показало, что они не были постоянными на протяжении голоцена и изменялись под влиянием эволюции палеообстановок. Основными факторами, определявшими развитие диатомовых комплексов, являлись:

- 1) климатические изменения, обусловившие различные периоды увлажненности;
- 2) локальные условия, такие как происхождение и строение котловины озера, его глубины, размера, типа бассейна;
- 3) дифференцированные неотектонические движения и связанные с ними изменения локальных условий осадконакопления.

Благодарности

Авторы выражают благодарность З.И. Слуковскому за помощь при работе за электронным микроскопом. Работа выполнена в рамках Госзадания тем НИР №0226-2015-0001 и № 0226-2019-0054 и частично поддержана грантом РФФИ № 18-05-60125 Арктика.

ЛИТЕРАТУРА

Список русскоязычной литературы

1. Баринаева СС, Медведева ЛА, Анисимова ОВ. Биоразнообразие водорослей-индикаторов окружающей среды. Тель-Авив: Piles Studio; 2006.
2. Боровичёв ЕА, Денисов ДБ, Корнейкова МВ, Исаева ЛГ, Разумовская АВ, Химич ЮР, Мелехин АВ, Косова АЛ. Гербарий ИППЭС КНЦ РАН. Труды Кольского научного центра РАН. 2018; 9(9-6):179-86.
3. Давыдова НН. Диатомовые водоросли – индикаторы природных условий водоемов в голоцене. Л.: Наука; 1985.
4. Денисов Д.Б. Изменения гидрохимического состава и диатомовой флоры донных отложений в зоне воздействия горнорудного производства (Кольский полуостров). Водные ресурсы. 2007;34(6):719-30.
5. Диатомовый анализ. Кн. 1. Л.: Госгеолгиздат, 1949.
6. Диатомовые водоросли СССР. Ископаемые и современные. Т. 1. Л.: Наука, 1974.
7. Евзеров ВЯ, Корсакова ОП, Колька ВВ. История развития морских бассейнов в Беломорской депрессии за последние 130 тысяч лет (состояние вопроса и перспективы исследований). Бюлл. Комиссии по изучению четвертичного периода. 2007;(67):54-65.
8. Каган ЛЯ. Диатомовые водоросли евро-арктического региона. Аннотированная коллекция (древние и современные морские и пресноводные). Апатиты: КНЦ РАН; 2012.
9. Кашулин НА, Беккелунд А, Даувальтер ВА, Петрова ОВ. Апатитовое горно-обогащительное производство и эвтрофирование арктического озера Имандра. Арктика: экология и экономика. 2019;3(35):16-34.
10. Косова АЛ, Денисов ДБ, Николаева СБ. Развитие экосистемы озера Тридцатка (Мурманская область) в голоцене по результатам диатомового анализа донных отложений. Труды Карельского научного центра РАН. 2018;(9):77-91.
11. Косова АЛ, Малышева МБ, Денисов ДБ. К методике камеральной обработки проб для диатомового анализа донных отложений. Квартер во всем его многообразии. Фундаментальные проблемы, итоги изучения и основные направления дальнейших исследований: Материалы VII Всероссийского совещания по изучению четвертичного периода (Апатиты, 12–17 сент. 2011 г.). Апатиты; СПб. 2011; 1(А-К): 294–95.
12. Методы экологических исследований водоемов Арктики. Мурманск: МГТУ; 2019.
13. Моисеенко ТИ, Разумовский ЛВ. Новая методика реконструкции катионно-анионного баланса в озерах (диатомовый анализ). ДАН. 2009; 427(1):132-35.
14. Моисеенко ТИ, Денисов ДБ. Возможно ли восстановление озерной арктической экосистемы после длительного загрязнения? Арктика: экология и экономика. 2019;4(36):16-25.
15. Николаева СБ, Лаврова НБ, Толстобров ДС, Денисов ДБ. Реконструкция палеогеографических обстановок голоцена в районе озера Имандра (Кольский регион): результаты палеолимнологических исследований. Труды Карельского научного центра РАН. 2015;(5):34-47.
16. Николаева СБ, Лаврова НБ, Денисов ДБ, Толстобров ДС. Следы катастрофических процессов в донных осадках озер западного побережья озера Бабинская Имандра (Кольский регион). Изв. РГО. 2016;148(4):38-52.

17. Порецкий ВС, Жузе АП, Шешукова ВС. Диатомовые Кольского полуострова в связи с микроскопическим составом кольских диатомитов. Тр. Геоморфол. ин-та. Кольский диатомитовый сборник. 1934;(8): 95-210.
18. Рубинраут ГС, Каган ЛЯ. О формировании Верхнепонойской и Имандровской депрессий. В кн.: История озер в голоцене. Тез. IV Всесоюз. симпозиума по истории озер. Л.: Институт озероведения АН СССР; 1975. С. 63-8.
19. Сапожников ФВ, Калинина ОЮ, Курбаниязов АК, Юсупов Б, Мухитдинова С, Абдимуталип НА. О состоянии микрофитобентоса водоемов системы Аральского моря по исследованиям комплексной международной экспедиции. Известия Национальной академии наук Республики Казахстан. Серия биологическая и медицинская. 2017;(3):171-6.
20. Толстоброва АН, Толстобров ДС, Колька ВВ, Корсакова ОП. История развития озера Осинового (Кольский регион) в поздне- и постледниковое время по материалам диатомового анализа донных отложений. Труды Карельского научного центра РАН. 2016;(5):106-16.
21. Шилова О.С. Голоценовые диатомеи болот Кольского полуострова и Северо-Восточной Карелии. М.: МАКС Пресс; 2011.
22. Шелехова Т.С. Этапы развития малых озер северо-западной Карелии в голоцене по данным диатомового анализа (на примере озер горы Нуорунен). Вопросы геологии докембрия Карелии. Петрозаводск: КНЦ РАН. 1993: 160-181.

Общий список литературы/ Reference List

1. Barinova SS, Medvedeva LA, Anisimova OV. Bioraznoobraziye Vodorosley-Indikatorov Okruzhayushey Sredy. [Biodiversity of Environmental Indicator Algae]. Tel Aviv: Pilies Studio, 2006. (In Russ.)
2. Borovichov YeA, Denisov DB, Korneykova MV, Isaeva LG, Razumovskaya AV, Khimich YuR, Melekhin AV, Kosova AL. [Herbarium of INEP KSC RAS]. Trudy Kolskogo Nauchnogo Tsentra RAN. 2018;9(9-6):179-86. (In Russ.)
3. Davydova NN. Diatomovye Vodorosli - Indikatory Prirodnikh Usloviy Vodoyemov v Golotsene [Diatoms as Indicators of Environmental Conditions of Water Bodies in the Holocene]. Leningrad: Nauka; 1985. (In Russ.)
4. Denisov DB. [Changes in the hydrochemical composition and diatomic flora of bottom sediments in the zone of influence of metal mining production (Kola Peninsula)]. Vodnye Resursy. 2007;34(6):719-30. (In Russ.)
5. Diatomovyy Analiz Kn. 1. [Diatom Analysis. Book 1]. Leningrad: Gosgeolizdat; 1949. (In Russ.)
6. Diatomovye Vodorosli SSSR T. 1 (Iskopaemye i Sovremennyye) [Diatoms of the USSR (Fossil and Recent). Vol. 1]. Leningrad: Nauka, 1974. (In Russ.)
7. Yevzerov VYa, Korsakova OP, Kolka VV. [The history of the development of marine basins in the White Sea depression over the past 130 thousand years (the state of the issue and research prospects)]. Biulleten Komissii po Izucheniyu Chetvertichnogo Perioda. 2007;(67):54-65. (In Russ.)
8. Kagan L.Ya. Diatomovye Vodorosli Yevro-Arkticheskogo Regiona. Annotirovannaya Kolleksiya (Drevniye i Sovremennyye, Morskiye i Presnovodnye) [Diatoms of the Euro-Arctic region. Annotated collection (Ancient and Modern; Marine and Freshwater)]. Apatity: Izdatelstvo Kolskogo Nauchnogo Tsentra RAN; 2012. (In Russ.)
9. Kashulin NA, Bekkelund A, Dauvalter V A, Petrova OV. [Apatite mining and processing production and eutrophication of the Arctic Lake Imandra]. Arktika: Ekologiya i Ekonomika. 2019;3(35):16-34. (In Russ.)
10. Kosova AL, Denisov DB, Nikolayeva SB. [The history of Lake Tridsatka (Murmansk region) ecosystem development in the Holocene based on diatom sediment records]. Trudy Karelskogo Nauchnogo Tsentra RAN. 2018;(9):77-91. (In Russ.)
11. Kosova AL, Malysheva MB, Denisov DB. [On the methods of cameral treatment of samples for the diatom analysis of bottom sediments]. In: Kvarter vo Vsem Yego Mnogoobrazii. Fundamentalnye Problemy, Itogi Izucheniya i Osnovnye Napravleniya Dalneyshikh Issledovaniy. Apatity, Saint Petersburg; 2011;1(A-K). P. 294-5. (In Russ.)
12. Metody Ekologicheskikh Issledovaniy Vodoyemov Arktiki. Murmansk: MGTU; 2019. (In Russ.)
13. Moiseyenko TI, Razumovsky LV. [A new technique reconstructing the cationic-anionic balance in lakes (diatom analysis)]. Doklady Akademii Nauk; 2009;427(1):132-5. (In Russ.)
14. Moiseyenko TI, Denisov DB. [Is possible to restore the Arctic lake ecosystems after long-term pollution?]. Arktika: Ekologiya i Ekonomika. 2019;4(36):16-25. (In Russ.)
15. Nikolayeva SB, Lavrova NB, Tolstobrov DS, Denisov DB. [Reconstructions of Holocene paleogeographic conditions in the Lake Imandra area (Kola region): results of paleolimnological research]. Trudy Karelskogo Nauchnogo Tsentra RAN. 2015; (5): 34-47. (In Russ.)
16. Nikolayeva SB, Lavrova NB, Denisov DB, Tolstobrov DS. [Traces of catastrophic processes in the bottom sediments of lakes on the west coast of Lake Babinskaya Imandra (Kola region)]. Izvestiya RGO. 2016;148(4):38-52. (In Russ.)
17. Poretsky VS, Zhuze AP, Sheshukova VS. [Diatoms of the Kola Peninsula as related to the microscopic composition of Kola diatomites]. Trudy Geomorfologicheskogo Institutata Kolskiy Diatomitovyy Sbornik. 1934;(8):95-210. (In Russ.)
18. Rubinraut GS, Kagan LYa. [On the Formation of the Upper Ponoj and Imandrovskaya Depressions]. In: Istoriya Ozer v Golotsene. Leningrad: Institut Ozerovedeniya AN SSSR; 1975. P. 63-8. (In Russ.)

19. Sapozhnikov FV, Kalinina OYu, Kurbaniyazov AK, Yusupov B, Mukhitdinova S, Abdimutalip NA. [About the condition of the microphytobenthos of reservoirs of the Aral Sea system based on studies carried out by a joint international expedition]. *Izvestiya Natsionalnoy Akademii Nauk Respubliki Kazakhstan. Seriya Biologicheskaya i Meditsinskaya*. 2017;(3):171-6. (In Russ.)
20. Tolstobrova AN, Tolstobrov DS, Kolka VV, Korsakova OP. [Late Glacial and Postglacial history of Lake Osinovoye (Kola region) inferred from sedimentary diatom assemblages]. *Trudy Karelskogo Nauchnogo Tsentra RAN*. 2016;(5):106-16. (In Russ)
21. Shilova OS. *Golocenovye Diatomei Bolot Kolskogo Poluoostrova i Severo-Vostochnoy Karelii [Holocene Diatoms of Bogs of the Kola Peninsula and North-East Karelia]*. Moscow: MAKS Press; 2011. (In Russ.)
22. Shelekhova TS. [Stages of the development of small lakes of Northwestern Karelia in the Holocene according to diatom analysis (exemplified with lakes of Mount Nuorunen)]. In: *Voprosy Geologii Dokembriya Karelii*. Petrozavodsk: KNC RAN; 1993. P. 160-81. (In Russ.)
23. *An Atlas of British Diatoms*. Ed. PA Sims. Bristol; 1996.
24. Denisov DB, Genkal SI. Centric diatom algae of Lake Imandra (Kola Peninsula, Russia). *Int J Algae*. 2018;20(1):23-32.
25. Guiry MD, Guiry GM. *AlgaeBase*. World-Wide Electronic Publication. National University of Ireland. Galway, 2019. URL: <http://www.algaebase.org>.
26. Jacq K, Giguët-Covex Ch, Sabatier P, Perrette Y, Fanget B, Coquin D, Debret M, Arnaud F. High-resolution grain size distribution of sediment core with hyperspectral imaging. *Sedimentary Geology*. 2019;393-394: 1-10.
27. Juggins S. *C2 Version 1.5 User guide*. Software for ecological and palaeoecological data analysis and visualisation. Newcastle University, Newcastle upon Tyne. 2007.
28. Kociolek JP. A worldwide listing and biogeography of freshwater diatom genera: a phylogenetic perspective. *Diatom research*. 2019; 33(4):509-34.
29. Krammer K. *Cymbella*. In: Lange-Bertalot H, ed. *Diatoms of Europe*. 3. Ruggell: A.R.G. Gantner Verlag K.G; 2002.
30. Krammer K. *Cymboplectra, Delicata, Navicymbula, Gomphocymbellopsis, Afrocybella*. In: Lange-Bertalot H, ed. *Diatoms of Europe*, 4. Ruggell: A.R.G. Gantner Verlag K.G; 2003.
31. Krammer K. The genus *Pinnularia*. In: Lange-Bertalot H, ed. *Diatoms of Europe*. 1. Vaduz: A.R.G. Gantner Verlag K.G; 2000.
32. Krammer K., Lange-Bertalot H. *Bacillariophyceae - Subwasserflora von Mitteleuropa*. Bd. 2(1-4). Stuttgart/ Jena: Gustav Fisher Verlag; 1988-1991.
33. Lau DCP, Christoffersen KS, Erkinaro J, Hayden B, et al. Multitrophic biodiversity patterns and environmental descriptors of sub-Arctic lakes in northern Europe. *Freshwater Biol*. 2020; 00:1-19. <https://doi.org/10.1111/fwb.13477>
34. Lange-Bertalot H, Hofmann G, Werum M, Cantonati M. *Freshwater Benthic Diatoms of Central Europe: Over 800 Common Species Used in Ecological Assessment*. In: M. Cantonati, M.G. Kelly, H. Lange-Bertalot (Eds.). Schmittgen-Oberreifenberg: Koeltz Botanical Books; 2017.
35. Maier DB, Gälman V, Renberg I, Bigler C. Using a decadal diatom sediment trap record to unravel seasonal processes important for the formation of the sedimentary diatom signal. *J Paleolimnol*. 2018;60:133-52.
36. Zgrundo A, Wojtasik B, Convey P, Majewska R. Diatom communities in the High Arctic aquatic habitats of northern Spitsbergen (Svalbard). *Polar Biology*. 2017;40(4):873-90.



© ФОНД НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ «XXI ВЕК»
РОССИЙСКАЯ ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ АКАДЕМИЯ

БИОСФЕРА

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

УДК 631.417:630*43:630*187:582.478

ВЛИЯНИЕ ЛЕСНЫХ ПОЖАРОВ НА ФОРМИРОВАНИЕ ПРОФИЛЯ ПОДЗОЛОВМ.А. Надпорожская^{1*}, Б.А. Павлов^{2**}, Д.М. Мирин¹, К.Л. Якконен¹, А.М. Седова¹¹Санкт -Пет ербургский госуда рст венный универси тет , Санкт -Пет ербург, Росси йская Федера ция; ²Инст ит ут мерзлот оведе ния им. П.И. Мельникова СО РАН, Якут ск, Росси йская Федера цияЭл. почт а: * *m.nadporozhskaya@spbu.ru*; ** *borispavlo@yandex.ru*

Ст а т ья пост упила в редакцию 03.03.2020; приня т а к печат и 18.03.2020

В последние годы увеличиваются количество и интенсивность лесных пожаров, поэтому все больше внимания уделяется исследованию пирогенных почв. Наряду с другими характеристиками оценивается послепожарный возврат в почву из сгоревших растений и лесных подстилок фосфора, щелочных и щелочноземельных металлов и др., но динамика соединений железа и алюминия изучена мало. Между тем, именно эти элементы определяют ведущие почвообразовательные процессы и продуктивность многих почв, а в особенности подзолов под наиболее пожароопасными сосновыми лесами сухих местообитаний. По литературным и полученным авторами данным проведен сравнительно-географический анализ подзолов на кварцевых песках, в которых одним из важных диагностических признаков является элювиально-иллювиальное распределение соединений полуторных оксидов по профилю. Увеличение частоты лесных пожаров нарушает био-педогенную аккумуляцию полуторных оксидов в профиле подзолов. Высказано предположение, что сорбция на древесных углях и детрите не компенсирует выноса соединений железа и алюминия из профиля подзолов. Обсуждаются проблемы таксономии постпирогенных почв.

Ключевые слова: *лесные пож ары, сухие сосновые леса, кварцевые пески, подзолы***THE INFLUENCE OF FOREST FIRES ON THE FORMATION OF THE PROFILE OF PODZOLS**M.A. Nadporozhskaya^{1*}, B.A. Pavlov^{2**}, D.M. Mirin¹, K.L. Yakkonen¹, A.M. Sedova¹¹ Saint-Petersburg State University, Saint Petersburg, Russia; ² P.I. Melnikov Institute of Permafrost, Siberian Branch of the Russian Academy of Science, Yakutsk, RussiaE-mail: * *m.nadporozhskaya@spbu.ru*; ** *borispavlo@yandex.ru*

In recent years, the number and intensity of forest fires has increased and thus more attention is paid to studying the pyrogenic soils. Parameters under study include the post-fire return of phosphorus, alkali and alkaline earth metals, etc. from burnt plants and forest floor to the soil, but the related dynamics of iron and aluminum compounds has been poorly studied. However, these two elements are crucial for soil-forming processes and the productivity of many soils, in particular of the podzols under the most fire-hazardous pine forests in dry habitats. The present analysis comparative geographic is based on literature and original data related to podzols on quartz sand, in which the eluvial-illuvial distribution of sesquioxide compounds along its profile is one of important diagnostic features. An increase in the frequency of forest fires disrupts the bio-pedogenic accumulation of R₂O₃ in podzol profile. It is suggested that sorption on charcoal and detritus does not compensate for the removal of iron and aluminum from the podzol profile. The problems of taxonomy of post-pyrogenic soils are discussed.

Keywords: *aorest fires, dry pine forest, quartz sands, podzols***1. Введение**

Количество, интенсивность и площадь распространения лесных пожаров в последние годы увеличиваются. На территории России ежегодно 15-200 тысяч пожаров повреждают 2-17 млн. га лесных земель, это на порядок больше площади лесов, погибающих от вредителей и болезней, и в пять раз больше площади хозяйственных вырубок [22]. Пожары относят к одному из существенных факторов лесного почвообразования [33; 5; 24; 38; 18; 44]. Все больше внимания уделяется изучению пирогенных почв. Выявлены основные характерные изменения почв лесных гарей. По времени проявления эти изменения можно разделить на две группы: относительно более изученные краткосрочные пирогенные и почти не изученные длительно действующие постпирогенные. Во время пожара под действием высоких температур поверхностные слои почв теряют органическое вещество, погибают корни, беспозвоночные, микроорганизмы и т.д. Наблюдается дистрофикация почв. Сокращается вклад органогенных горизонтов в общий запас почвенного углерода. В почвах лесных гарей улучшается аэрация и интенсифицируются окислительные процессы, аммонификация и нитрификация, возрастают степень разложения внутрипочвенного опада и потери общего углерода [34; 26; 18; 48, 44, 49]. В поверхностных минеральных горизонтах повышается рН, увеличиваются степень насыщенности обменными основаниями, содержание подвижных органических и минеральных соединений [24; 19; 25; 43, 52]. Действие огня изменяет состав форм углерода, увеличивая долю гидрофобных соединений, что отражается на структуре почвенной системы, в частности – биохимическом составе и популяции микроорганизмов [48]. Повышенное содержание водорастворимых соединений в почвах сосняков и ельников сохраняется 10-16 лет после низовых пожаров [18], а сорбция на древесных углях может препятствовать выносу водорастворимых веществ [5;

53]. Масштаб пирогенных изменений лесных почв, краткосрочных и длительных, зависит от первоначальных запасов опада и подстилки, интенсивности и продолжительности горения.

Особенно пожароопасны сухие сосновые леса. На Карельском перешейке влияние низовых пожаров на сосняки на полимиктовых песках формирует стадии восстановительно-деградационных сукцессий: верещатник – брусничник – бруснично-черничник с елью. Низовые пожары возвращают экосистему на более ксероморфную и менее продуктивную стадию [39]. В подзолах на бедных кварцевых песках юга Ленинградской области (ЛЮ) подзолистые горизонты имеют большую мощность, утяжеление гранулометрического состава иллювиального горизонта выражено гораздо меньше, чем на полимиктовых песках. Под действием пожаров сосняки на таких подзолах формируют аналогичные сукцессионные ряды [40], но восстановительные послепожарные сукцессии замедляются.

Сокращение межпожарных периодов ведет к уменьшению плодородия почв и деградации лесных экосистем. Ежегодные низовые пожары в хвойно-широколиственных лесах Амурской области способствуют выносу зольных элементов в аккумулятивные части ландшафтов [6]. В полевых исследованиях [32] и в вычислительных экспериментах с математической моделью [51] показано, что низовые пожары, случающиеся чаще, чем раз в 30 лет, сокращают продуктивность древостоя и запасы органического вещества в почве. Несмотря на большой объем проведенных работ, еще не разработаны критерии оценок повреждения почв лесных гарей [52, 48].

Сосновые леса в России занимают 115,24 млн. га или 16,06% лесопокрытой площади РФ [1]. В регулировании режимов трофности и влажности песчаных почв, на которых в основном распространены сухие сосновые леса, большую роль играют соединения железа и алюминия. Именно эти элементы являются типоморфными для подбуров и подзолов [23]. Ожелезнение почвенного профиля, формирование иллювиально-железистых, иллювиально-железисто-гумусовых горизонтов, способствуют повышению влажности и плодородия лесных почв [39]. Дифференциация соединений полуторных оксидов в профиле подзолов формируется под действием нескольких факторов, из которых пирогенный часто не принимается во внимание.

В подзолах на кварцевых песках типоморфные элементы, железо и алюминий, содержатся в минимальных количествах, поэтому их перераспределение под влиянием внешних факторов может быть критично для обеспечения формирования сорбционных характеристик минеральной фазы и аккумуляции биогенных веществ. Под действием лесных пожаров железо и алюминий из органических форм (фитомассы, детрита и лесной подстилки) переходят в минеральные формы и могут мигрировать в виде растворов и дисперсных частиц по почвенному профилю до выноса в грунтовые воды [24; 6].

Работы, где изучен аспект влияния лесных пожаров на главный диагностический признак подзолов, распределение в почвенном профиле валовых и оксалаторастворимых форм полуторных оксидов, единичны [18; 45].

Настоящее сообщение посвящено анализу последствий лесных пожаров на перераспределение соединений железа и алюминия в профиле подзолов на кварцевых песках.

2. Объекты и методы исследований

Объектом исследований являются подзолы сосновых лесов на кварцевых песках Ленинградской области (ЛЮ), Республики Коми (РК), и Центральной Якутии (ЦЯ), формирующиеся в условиях периодического влияния лесных пожаров (табл. 1).

Номенклатура почв дается по действующей классификации почв России [23] с уточнениями применительно к лесному пирогенезу [41; 10].

Сведения о климате районов исследований приводятся по опубликованным данным [29; 20; 37]. Давность лесных пожаров оценивается по видовому составу живого напочвенного покрова, по старшему возрасту когорты подроста и по изменению количества и ширины годичных колец древесных [12]. Полевые исследования растительных покровов и почв выполнены общепринятыми методами в почвоведении и геоботанике [31; 21]. Пробоподготовка и лабораторные исследования почвенных образцов выполнены в аналитических лабораториях кафедры агрохимии Санкт-Петербургского государственного университета и почвенного института им. В.В. Докучаева по соответствующим методикам [2; 8]. Минералогический анализ песчаных фракций выполнен методом шлихового опробования [2; 37].

3. Результаты исследований и их обсуждение

Подзолы на кварцевых песках формируются на хорошо дренированных субгоризонтальных поверхностях (см. табл. 1).

Климатические показатели районов ключевых участков соответствуют основным условиям протекания подзолистого и альфегумусового процессов. В изученном ряду наиболее теплой и влажной является ЛЮ, наиболее холодными и сухими – РК и ЦЯ. Следствием влияния климата является уменьшение высоты и полноты древостоя, а также изменение видового состава живого напочвенного покрова, а именно увеличение доли лишайников в условиях одиотипных экотопов.

Табл. 1.

Условия и факторы почвообразования в районах исследований

Географическое положение	Растительность	Рельеф	Средняя годовая температура воздуха, °С	Годовая сумма осадков, мм	Коэффициент увлажнения по Н.А. Иванову	Пожар	
						Вид	Давность, годы
Разрез 1-14. Подзол иллювиально-железистый ¹							
Ленинградская область, Лужский район, Толмачево	Сосняк кустарничково-зеленомошный	Ледниковая гряда	+4,0	711	1,9	Низовой	70
Разрез 3-14. Подзол иллювиально-железистый ¹							
Ленинградская область, Курортный район, Молодежное	Сосняк кустарничково-зеленомошный	Дюнный комплекс приморской равнины	+ 5,4	633	1,9	Верховой	>90
Разрез 70. Подзол иллювиально-железистый ²							
Республика Коми, надпойменная терраса р. Вычегда	Сосняк кустарничково-лишайниковый	Дюнный комплекс на речной террасе	-1,3	560	1,3	Низовой	35
Разрез 406. Подзол иллювиально-железистый ²							
Республика Коми, надпойменная терраса р. Печора	Сосняк кустарничково-лишайниковый	Дюнный комплекс на речной террасе	-1,3	560	1,3	Низовой	70
Разрез 8-ТУК-2014. Подзол иллювиально-железистый ненасыщенный мелкоосветленный песчаный ³							
Центральная Якутия. Правобережная терраса р. Вилюй	Парковый сосновый лес бруснично-лишайниковый	Дюнный комплекс тукулана Кызыл Сыр	-8,2	285	0,7	Низовой	23-25
Разрез 13-ТУК-2014. - Подзол иллювиально-железистый ненасыщенный мелкоосветленный песчаный (пирогенный)							
Центральная Якутия. Правобережная терраса р. Вилюй	Горелый участок паркового леса бруснично-лишайникового в 2014 г.	Дюнный комплекс тукулана Кызыл Сыр	-8,2	285	0,7	Низовой	7 дней

Примечания: ¹ [42]; ² [20]; ³ [28].

Установление срока прохождения лесного пожара достаточно сложный методический прием. Природные пожары как характерный элемент динамики и функционирования сухих сосняков возникают от 1-3 до 5-6 раз за жизнь одного поколения древостоя. Лесные пожары – стихийное явление, их действие может проявляться неравномерно в пространстве, поэтому определение срока давности выгорания лесной подстилки и растительности провести непросто. Надёжное датирование низового пожара возможно по сопоставлению числа годичных колец от сердцевины до «пожарного шрама» (то есть до участка ствола с повреждённым при пожаре камбием) с числом годичных колец от сердцевины до неповреждённой при пожаре поверхности ствола [11]. В некоторых случаях давность низового пожара можно определить по анализу хода роста деревьев, по подсчету годичных колец и измерению их ширины. При выгорании лесной подстилки и повреждении тонких корней прирост древесины может замедляться на несколько лет. Уточнение времени пожара проводят также по дополнительным признакам: видовому составу живого напочвенного покрова и возрасту поколений сосен в древостое. Изменения в живом напочвенном покрове в северной тайге наиболее заметны в течение 10-20 лет, но прослеживаются до 30-

60 лет после пожара [11]. В южной тайге послепожарные смены комплексов видов в живом напочвенном покрове проходят быстрее.

Выгорание лишайниково-мохового яруса и подстилки приводит к повышению вероятности прорастания семян сосны, выживанию всходов и формированию хорошо выраженного яруса подроста [9; 13; 14]. При интерпретации этих данных следует принимать во внимание, что не любой пожар приводит к появлению подроста. Обильное семеношение у сосны бывает раз в 2-4 года. При этом первые 5 лет после сильного пожара всходы сосны практически не приживаются, возможно, из-за разрушения комплекса микоризообразующих грибов в почве. Возобновление сосны активно происходит только до восстановления лишайниково-мохового покрова, состоящего из крупных таежно-боровых видов, т.е. до 20-30 лет после пожара. Потом интенсивность появления подроста сосны ослабевает. Во время низовых пожаров средней интенсивности подрост сосны высотой до 2-3 м (10-20 лет) гибнет полностью [9]. Поэтому в случае последовательных пожаров с перерывом менее 20 лет информация о первом пожаре не выявляется. После верховых пожаров формируются разновозрастные сосняки [25].

Согласно проведенному нами геоботаническому обследованию участка Толмачево в ЛО при возрасте основного поколения деревьев 100-120 лет низовой пожар прошел около 70 лет назад, а на участке Молодежное ЛО современный 90-летний древостой вырос по сплошной гари (табл. 1). Этим срокам соответствуют видовое разнообразие живого напочвенного покрова и мощности лесных подстилок, находящиеся на стадиях относительного восстановления и стабилизации: Толмачево – $6,6 \pm 1,1$, Молодежное – $7,8 \pm 1,2$ см (средние по 20 измерениям для каждого участка). В целом эти данные соответствуют приведенным в литературе: средняя мощность лесных подстилок на стадии стабилизации для сосняков зеленомошных $7,5-8,5$ см [15].

В северной тайге европейской части России мощность лесных подстилок в сосняках лишайниковых на стадии стабилизации составляет $2,5-3,5$ см при средней скорости нарастания $0,033$ см/год за первые 60 лет после пожара [15]. В холодном континентальном климате ЦЯ восстановление лесных подстилок сосняков лишайниковых протекает почти с той же скоростью, $0,030$ см/год [36]. Давность пожара в сосняках ЦЯ, определенная по возрасту кустарниковой ольхи, выросшей неподалеку от ключевого участка с разрезом 8 ТУК-2014, составляет 23-25 лет. Мощность лесной подстилки здесь соответствует этому периоду и составляет около $0,7-1,0$ см. На участке соснового леса вблизи разреза 13 ТУК-2014 в сезон обследования прошел беглый низовой пожар, опаливший напочвенный лишайниковый покров и подстилку, мощность которой почти не изменилась и осталась близка мощности подстилки участка 8 ТУК-2014. По мощности лесных подстилок сосняков кустарничково-лишайниковых РК (1 и 2 см) [20], ориентируясь на литературные данные [36; 15], с большой вероятностью можно предположить, что низовые пожары прошли за 30-35 и 65-70 лет до обследования.

Главным диагностическим признаком почв альфегумусового отдела [23] является специфический горизонт, где выражена аккумуляция органического вещества, а также соединений Fe и Al. Для этих почв характерны: кислая реакция всего профиля, ненасыщенность основаниями.

В лесных подстилках сосняков ЛО морфологически выделяются три подгоризонта, различающиеся по степени трансформации опада: слабо разложенный (O'), ферментированный (O'') и гумифицированный (O'''). Под подстилками залегают темно-серые песчаные прослойки с обильными древесными угольками (неравномерной мощности, 1-2 см). В кустарничково-лишайниковых сосняках РК [20] и ЦЯ [28] подстилки слабо дифференцированы по степени разложения опада, меньшей мощности, но также подстилаются песчаными прослойками (около 0,5 см) с обильными древесными угольками. Количество древесных угольков связано с силой и видом прошедших лесных пожаров, а также запасами горючих материалов.

Некоторые подзолистые горизонты также обогащены древесными угольками, из-за этого они приобретают светло-серую окраску. Такие горизонты мы обозначили индексом E_{pit} . В подзолах участка Молодежное ЛО и ЦЯ древесные угли распределены по всей мощности подзолистого горизонта. В подзолах участка Толмачево ЛО и РК подзолистый горизонт делится на две части: верхнюю E_{pit} и нижнюю E (без включений). Для всех изученных подзолов характерно наличие иллювиально-железистых горизонтов, ржаво-бурых тонов разной интенсивности, без включений. По общим морфологическим признакам рассматриваемые почвы сосновых лесов соответствуют диагностическим критериям подтипа иллювиально-железистых подзолов. Наименее морфологическая дифференциация выражена в профилях подзолов ЦЯ. Морфометрические свойства изученных почв сухих сосновых лесов приведены в табл. 2.

В изученных почвах содержание фракции физической глины ($<0,01$ мм) не превышает 5,5% (табл. 3). В песчаных породах всех участков преобладают зерна кварца и полевых шпатов. В песчаных породах участка Толмачево ЛО отмечено также повышенное содержание зерен граната (11%). Все эти минералы устойчивы к химическому выветриванию и механической абразии [37]. Пленки гидроксидов железа на поверхности песчинок песчаных почвообразующих пород, отмеченные на участках ЛО и ЦЯ, маркируют субэральные эоловые стадии их преобразования.

Минералогический состав почвообразующих пород влияет на особенности формирования профиля подзолов. На мономинеральных песках чаще формируются подзолы иллювиально-железистые, на полиминеральных песках – подзолы иллювиально-гумусовые [23]. Железо по кларковому числу среди металлов в земной коре занимает 2 место после алюминия. По А.П. Виноградову кларки Fe_2O_3 – 6,65 %, Al_2O_3 – 15,21% [7], а среднее содержание в почвах Al_2O_3 – 13,46% и Fe_2O_3 – 5,43%

[3]. Эта закономерность отражает соотношение алюминия и железа в земной коре в целом (алюминий на 3-м месте по распространенности, а железо – на четвертом). Количественная диагностика кварцевых песков в геологии и почвоведении различается. В.Д. Тонконовым [35] было предложено разделять почвообразующие пески на группы по содержанию средней суммы валовых полуторных оксидов: 6,1% - для кварцевых и 16,6% - для полиминеральных песков.

Табл. 2.

Мощность генетических горизонтов почв сухих сосновых лесов, см

Тип леса	Лесная подстилка			a _h	E _{pir} /E	V _f (B _i)
	O'	O''	O'''			
<i>Разрез 1-14. Подзол иллювиально-железистый</i>						
Сосняк кустарничково-зеленомошный	0-2	2-5	5-7	(1-2)	7-10/10-15	17-36
<i>Разрез 3-14. Подзол иллювиально-железистый</i>						
Сосняк кустарничково-зеленомошный	0-2	2-6	6-9	(1-3)	/9-16	19-23 ВНФ 23-45
<i>Разрез 70. Подзол иллювиально-железистый</i>						
Сосняк кустарничково-лишайниковый	0-2			следы	2-10/10-17 (28)	17 (28)-30 (37)
<i>Разрез 406. Подзол иллювиально-железистый</i>						
Сосняк кустарничково-лишайниковый	0-1			следы	1-3/3-9(22)	9 (22)-35
<i>Разрез 8-ТУК-2014. Подзол иллювиально-железистый ненасыщенный мелкоосветленный песчаный</i>						
Парковый сосновый лес бруснично- лишайниковый	0-3			(0,5)	/3-9	10-30
<i>Разрез 13-ТУК-2014. Подзол иллювиально-железистый ненасыщенный мелкоосветленный песчаный (пирогенный)</i>						
Горелый участок паркового соснового леса бруснично- лишайникового в 2014 г.	-			(0,5)	-	-

Примечание: a_h - прослойка с древесными углями.

Табл. 3.

Минералогический, валовой и гранулометрический составы почвообразующих песчаных пород

Минералогический состав ¹	SiO ₂ , %	Fe ₂ O ₃ , %	Al ₂ O ₃ , %	SiO ₂ /R ₂ O ₃	Физ. глина, %
<i>Разрез 1-14. Подзол иллювиально-железистый</i>					
Кварцево-гранатово-полевошпатовый (74-11- 9)	97,2	0,3	1,4	103	4,3
<i>Разрез 3-14. Подзол иллювиально-железистый</i>					
Кварцево-полевошпатовый (45-40)	84,3	1,0	8,8	15	4,6
<i>Разрезы 70 и 406. Подзолы иллювиально-железистые</i>					
Кварцевый и кварцево-полевошпатовый (нет данных)	89,3	0,7-0,9	4,0-5,0	34-27	2,0-5,0
<i>Разрезы 8-ТУК-2014 и 13-ТУК-2014.</i>					
<i>Подзолы иллювиально-железистые ненасыщенные мелкоосветленные песчаные (в т.ч. числе пирогенный)</i>					
Кварцево-полевошпатовый (75-87 - 5-20) ²	93,0	0,7	1,4	85	4,5-5,5

Примечания: ¹ в скобках приведены доли компонентов минералогического состава в %%; ² данные по [37].

В ряду представленных почв почвообразующих породах (мелко- и среднезернистых кварцевых песках) участков Толмачево ЛО, ЦЯ и РК сумма полуторных оксидов составляет, соответственно: 1,7-2,1-5,9 % (см. Табл. 3 и 4).

Эта сумма достигает 9,8% в песках участка Молодежное ЛО, но при таком же невысоком вкладе Fe₂O₃, около 1%. В целом, все рассматриваемые почвообразующие пески характеризуются пониженным и средним содержанием алюминия и чрезвычайно низким железа и могут быть отнесены к группе кварцевых песков. И.В. Забоева [20] автоморфные почвы на кварцевых песках предлагала выделить в отдельную классификационную форму – литогенный тип подзолов, на которых при дефиците влаги и элементов минерального питания растений развиваются чрезвычайно уязвимые к действию внешних нарушающих факторов сосновые леса. Одним из таких нарушающих факторов являются лесные пожары.

Изученные почвы под сосняками кустарничково-зеленомошными ЛО – сильнокислые, а под сосняками кустарничково-лишайниковыми РК и ЦЯ – среднекислые, и характеризуются невысоким содержанием обменных оснований, что соответствует требованиям классификации подзолов по этим показателям. Содержание подвижных соединений фосфора и калия максимальны в органогенных горизонтах, что маркирует их биогенное накопление и трансформацию при разложении лесной подстилки (табл. 5).

Табл. 4.

Средние оценки содержания (по трем аналитическим определениям, кроме [20]) различных форм соединений железа и алюминия в изученных почвах, % к сухой почве

Глубина, см.	Горизонт	Валовые формы		Оксалатнорастворимые формы		% от валовых форм	
		Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃ окс.	Al ₂ O ₃ окс.	Fe ₂ O ₃ окс.	Al ₂ O ₃ окс.
<i>Разрез 1-14. Подзол иллювиально-железистый</i>							
5-7	O'''	0,33	0,94	0,187	0,190	56,7	20,2
7-10	E _{pir}	0,27	0,85	0,011	0,068	4,1	8,0
10-15	E	0,18	0,80	0,002	0,024	1,1	3,0
40-50	BF	0,40	1,70	0,090	0,230	22,5	13,5
<i>Разрез 3-14. Подзол иллювиально-железистый</i>							
6-9	O'''	0,51	1,93	0,280	0,290	54,9	15,0
9-16	E _{pir}	1,01	8,80	0,019	0,050	1,9	0,6
40-80	BF	1,33	8,80	0,080	0,320	6,0	3,6
<i>Разрез 70. Подзол иллювиально-железистый</i>							
0-2	O	н/о	н/о	0,640	0,475	н/о	н/о
5-10	E _{pir}	н/о	н/о	0,200	0,240	н/о	н/о
10-17	E	н/о	н/о	0,160	0,190	н/о	н/о
17-30	BF	н/о	н/о	0,810	0,580	н/о	н/о
<i>Разрез 406. Подзол иллювиально-железистый</i>							
0-1	O	н/о	н/о	0,230	0,603	н/о	н/о
1-3	E _{pir}	0,65	2,44	0,180	0,310	27,7	12,7
3-9	E	0,34	2,14	0,070	0,430	20,6	20,1
9-15	BF	1,14	4,11	0,220	1,150	19,3	28,0
<i>Разрез 8-ТУК-2014. Подзол иллювиально-железистый ненасыщенный мелкоцвет лентный песчаный</i>							
2-3	O	0,38	1,91	0,190	0,240	50,0	12,6
3-9	E _{fpir}	0,73	5,30	0,140	0,130	19,2	2,5
10-20	BFH	0,65	4,70	0,120	0,110	18,5	2,3
20-30	BF	0,87	5,80	0,070	0,290	8,0	5,0
<i>Разрез 13-ТУК-2014. Подзол иллювиально-железистый ненасыщенный мелкоцвет лентный песчаный</i>							
3-4	O _{pir}	0,40	1,81	0,162	0,080	40,5	4,4
4-8	E _{fpir}	0,47	3,30	0,060	0,080	12,8	2,4
15-25	BF	0,75	4,50	0,060	0,080	8,0	1,8
30-40	BC	0,57	4,70	0,020	0,080	3,5	1,7

Примечание: н/о – не определено

Послепожарное подщелачивание почв гарей в сосновых лесах РК существенно в первые два года, через 10 лет уже не заметно [45]. На всех рассматриваемых нами ключевых участках сосновых лесов после пожаров прошло больше 20 лет. Но в E_{pir} по сравнению с нижележащим подгоризонтом E повышены содержание обменных оснований, подвижных соединений фосфора и калия за счет сорбции на древесных углях.

Подзолы диагностируются по сочетанию подстилочного, подзолистого и альфегумусового горизонтов и соответствующей иллювиально-иллювиальной дифференциацией содержания силикатных и несилкатных форм полуторных оксидов [23]. После выгорания лесной подстилки полуторные оксиды, аккумулированные в ней, попадают на/в подзолистый горизонт вместе с золой и углями. Отмечено повышение содержания оксалатнорастворимых форм железа и алюминия сразу после низового пожара в иллювиально-железистых подзолах [45]. Поскольку на гарях степень промывания почвы относительно усиливается [6; 18; 44], то и подвижные формы полуторных оксидов могут выноситься из почв гарей.

Масштабы постпирогенного перераспределения соединений железа и алюминия в почвах зависят от различий алюминия и железа по биогенности и химической природе. Например, бактерии активно используют железо в качестве энергетического материала, концентрируя его в новообразованиях, алюминий же накапливается пассивно как минерализационный остаток органического вещества [3]. Показано влияние грибного мицелия на биогенное накопление железа в лесной подстилке [50]. В листьях берез, выросших на трехлетней лесной гари, концентрация железа возросла на 60% по сравнению с контролем, при этом содержание алюминия увеличилось только на 10% [19]. Комплексы железа с гумусовыми

кислотами быстрее осаждаются в почвенном профиле, чем комплексы с алюминием [30]. При этом вынос алюминия может дополнительно возрастать за счет суспензионной миграции [35], особенно на фоне пониженного (<2%) валового содержания Fe₂O₃ [46].

Табл. 5.

Физико-химические свойства изученных почв

Глубина, см.	Горизонт	pH _{H2O}	pH _{KCl}	ГК ¹	Обменные основания, мг-экв/100 г почвы		ППП ² , %	С общ., %	P ₂ O ₅	K ₂ O
					Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺			мг/100 г почвы	
<i>Разрез 1-14. Подзол иллювиально-железистый</i>										
0-2	O'	4,5	3,5	н/о	н/о	н/о	94,4	40,8	11,1	68,8
2-5	O''	4,1	3,2	н/о	н/о	н/о	93,0	39,4	9,8	39,2
5-7	O'''	4,0	3,0	53,0	10,1	4,0	62,6	30,8	5,6	27,7
7-10	E _{rig}	3,9	3,7	4,5	0,3	0,1	1,3	0,6	0,4	1,0
10-15	E	4,5	4,0	0,5	н/о	н/о	0,4	0,2	0,2	0,3
40-50	BF	4,6	4,5	1,0	0,2	0,1	0,8	0,3	3,2	0,7
<i>Разрез 3-14. Подзол иллювиально-железистый</i>										
0-2	O'	4,7	3,8	н/о	н/о	н/о	95,3	40,2	15,4	12,0
2-6	O''	4,5	3,3	н/о	н/о	н/о	92,8	39,0	18,5	65,7
6-9	O'''	4,3	3,1	74,0	25,6	6,0	78,6	27,4	7,8	74,3
9-16	E _{rig}	4,7	4,4	10,0	1,2	0,1	1,5	0,7	1,1	1,2
40-80	BF	5,5	5,4	2,0	0,4	0,1	0,8	0,2	5,3	0,9
<i>Разрез 70. Подзол иллювиально-железистый</i>										
0-2	O	4,1	3,0	86,6	10,6	3,8	78,3	н/о	н/о	86,0
5-10	E _{rig}	4,9	3,8	0,7	0,3	0,3	0,2	0,2	н/о	1,0
10-17	E	4,9	3,9	0,7	0,4	0,4	0,1	0,1	н/о	1,0
17-30	BF	4,8	4,2	1,9	0,3	0,3	0,4	0,4	н/о	7,0
<i>Разрез 406. Подзол иллювиально-железистый</i>										
0-1	O	4,7	3,6	44,0	17,3	13,7	58,9	н/о	23,0	н/о
1-3	E _{rig}	4,9	3,3	4,4	1,3	0,6	3,0	1,1	1,0	н/о
3-9	E	5,1	3,6	0,8	0,3	0,1	0,3	0,2	0,0	н/о
9-15	BF	5,3	3,9	1,7	0,3	0,1	1,2	0,4	3,0	н/о
<i>Разрезы 8-ТУК-2014 и 13-ТУК-2014.</i>										
<i>Подзолы иллювиально-железистые ненасыщенные мелкоцветленные песчаные</i>										
2-3	O	4,2	3,7	н/о	н/о	н/о	85,2	н/о	н/о	н/о
3-9	E _{f_{rig}}	5,4	4,2	7,3	1,9	0,4	5,2	1,4	1,5	5,9
10-20	BF	5,2	4,3	1,7	0,5	0,0	1,0	0,6	1,9	1,3
20-30	BHF	5,2	4,2	2,4	0,1	0,1	0,5	1,9	5,3	1,6
40-50	BC	5,0	4,4	1,2	0,0	0,1	0,5	0,9	3,4	1,1
60-70	C	5,2	4,4	1,0	0,0	0,1	0,4	0,4	3,1	1,1

Примечания: ¹ГК – гидролитическая кислотность, мг-экв./100 г почвы; ²ППП – потеря при прокаливании (550°C); ³Почвы разрезов 8 и 13 ТУК-2014 различаются по давности повреждения пожарами, но сходны по химико-аналитическим характеристикам, поэтому данные приведены только по первому разрезу; н/о – не определено.

Динамика полуторных оксидов в почвах гарей усложняется процессами капиллярного подтягивания почвенных растворов, поглощения и перераспределения по микоризе и корням, а так же возможным аэральным перераспределением минеральных частиц сразу после пожара [47]. Капиллярное подтягивание почвенных растворов выражено тем сильнее, чем ближе к поверхности почвы уровень грунтовых вод. В случае подзолов в сухих сосновых лесах этот процесс может быть выражен очень слабо: вероятно, в период летней жары после дождей может действовать в поверхностных горизонтах. По мере восстановления лесной подстилки в альфегумусовом профиле подзолов устанавливается новое равновесие с факторами среды состояние.

Не все рассмотренные нами подзолы имеют четкую дифференциацию профиля по содержанию полуторных оксидов (рис. 1).

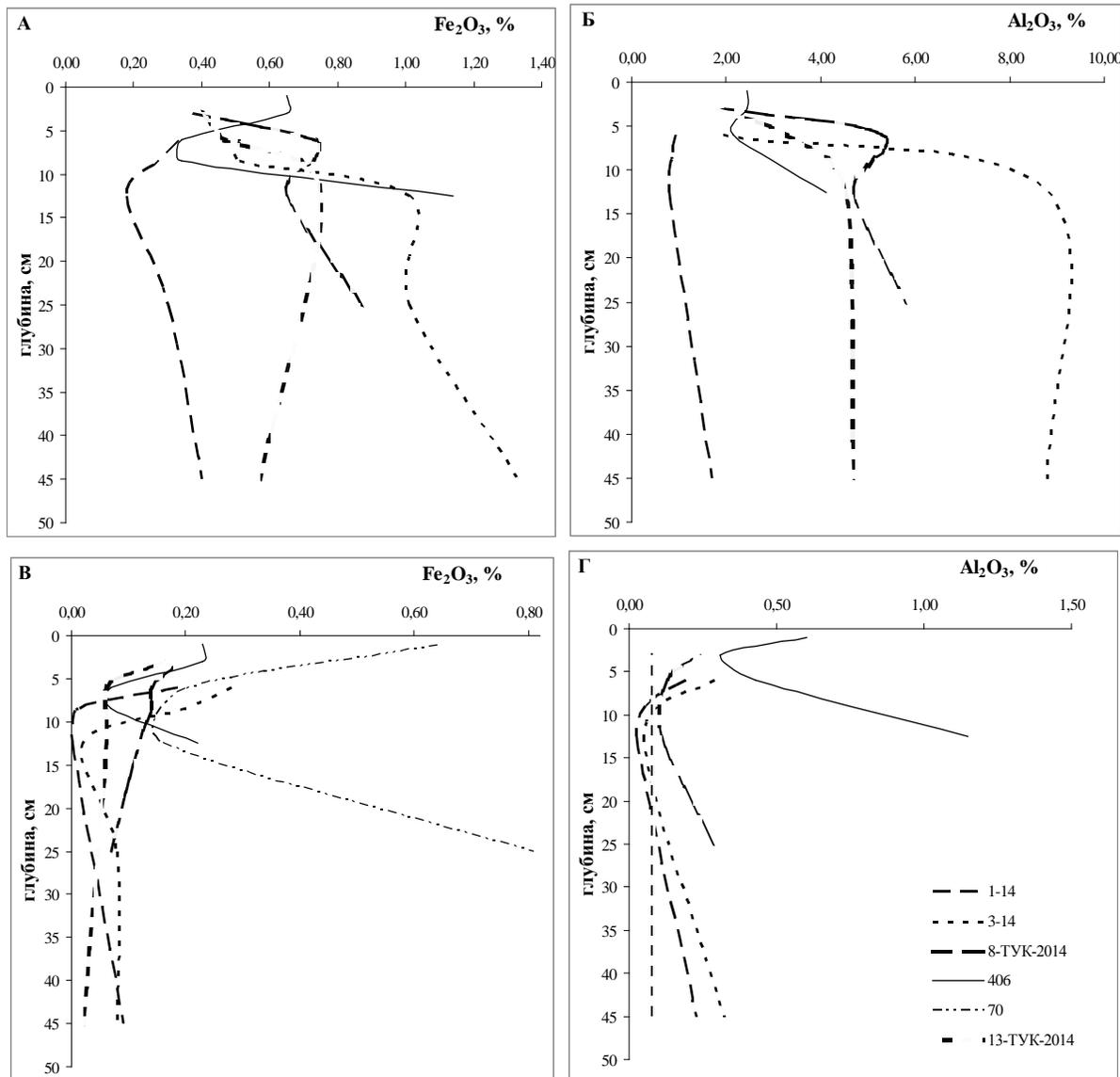


Рис. 1. Распределение по профилям изученных почв: **А** - валовые формы железа, **Б** - валовые формы алюминия; **В** – оксалаторастворимые формы железа, **Г** – оксалаторастворимые формы алюминия.

Условные обозначения: 1-14 – Разрез 1-14. Подзол иллювиально-железистый;
 3-14 – Разрез 3-14. Подзол иллювиально-железистый;
 8-ТУК-2014 – Разрез 8-ТУК-2014. Подзол иллювиально-железистый ненасыщенный мелкоосветленный песчаный;
 70 – Разрез 70. Подзол иллювиально-железистый;
 406 – Разрез 406. Подзол иллювиально-железистый;
 13-ТУК-2014 – Разрез 13-ТУК-2014. Подзол иллювиально-железистый ненасыщенный мелкоосветленный песчаный (пирогенный).

Не выражена или выражена слабо дифференциация валовых форм полуторных оксидов: Молодежное ЛО, где был верховой пожар 90 лет назад и в подзолистом горизонте обильны древесные угольки, 8 ТУК 2014, ЦЯ, где в условиях криоаридного климата межпожарные периоды составляют 20-30 лет). По содержанию оксалаторастворимых форм полуторных оксидов дифференциация не выражена в двух из шести рассмотренных профилей (оба – ЦЯ). Подзолистый горизонт

выделяется во всех описанных профилях (см. Табл. 2), его сероватый цвет *зачастую* обусловлен наличием древесных углей. Помимо этого, восстановительная послепожарная сукцессия может проходить стадию с активизацией травянистых растений в живом напочвенном покрове, затем восстанавливаются кустарнички. В этом случае в подзолистый горизонт поступает опад корней трав и кустарничков. Наличие корней в подзолистом пирогенном горизонте отмечено в монографии И.В. Забоевой [20].

В органогенных горизонтах изученных почв в вытяжку Тамма переходят 30-60% Fe_2O_3 и 4-20 % Al_2O_3 от их валового количества. Доля подвижных соединений железа больше, чем алюминия. Повышенное содержание подвижных соединений полуторных оксидов в лесной подстилке говорит не только об их потенциальной миграционной способности. В лесных подстилках, также как в иллювиальных горизонтах, могут происходить соосаждение и коагуляция комплексов железа, алюминия и фульвокислот. Механизм закрепления гумусовых веществ в лесных подстилках, зависимость этого процесса от содержания полуторных оксидов практически не изучены [41].

В $E_{\text{pг}}$ по сравнению с нижележащими E повышено содержание валовых и оксалаторастворимых форм железа, а превышение концентраций валовых и подвижных форм алюминия незначительно или не выражено. Концентрация полуторных оксидов в $E_{\text{pг}}$ не выше их содержания в ВФ. В минеральных горизонтах всех рассматриваемых почв преобладают неэкстрагируемые формы полуторных оксидов. Концентрация подвижных соединений алюминия в вытяжке Тамма равна или немногим больше содержания подвижных соединений железа.

Итак, хемогенная дифференциация по содержанию полуторных оксидов выявлена не во всех профилях рассмотренных постпирогенных подзолов. Высказано предположение, что частые природные низовые пожары (раз в 20-30 лет) в криоаридном климате Якутии приводят к ослаблению элювиально-иллювиальной дифференциации вследствие циклического пирогенного обогащения оподзоленных горизонтов золой, угольками и сажей [28]. При периодичности пожаров 70-90 лет в Ленинградской области после низового пожара дифференциация профиля подзолов выражена (участок Толмачево), после верхового пожара – нет (участок Молодежное). Обусловлено ли это особенностями почвообразующих песков или перераспределением соединений полуторных оксидов из-за действия лесных пожаров?

Насколько велико поступление полуторных оксидов с золой в почву по сравнению с их запасами в минеральных горизонтах? По литературным данным мы оценили размеры поступления валовых [30; 20; 29; 26; 27] и оксалаторастворимых форм полуторных оксидов [27] после низового пожара при условии полного выгорания лесной подстилки подзолов соснового леса (табл. 6).

Варьирование запасов оксидов железа и алюминия значительно в ряду представленных почв, что отражает разнообразие исходных данных по качеству почвообразующих пород, полноте и возрасту древостоя, видовому разнообразию напочвенного покрова. В изученной литературе нет сведений о давности и виде прошедших лесных пожаров. В рассмотренных почвах запасы валовых форм железа меньше запасов валовых форм алюминия. Это соответствует пропорции содержания алюминия и железа в земной коре и в почвах. Среднее поступление полуторных оксидов после выгорания лесной подстилки в почву мало по сравнению с их валовыми запасами в подзолистом горизонте. Но по сравнению с запасами оксалаторастворимых форм этих элементов в подзолистом горизонте поступление из выгоревшей подстилки в среднем составляет 20% для Fe_2O_3 и 50% для Al_2O_3 . Мы рассчитали долю соединений железа и алюминия в подстилке от их содержания в подзолистом горизонте, предположив, что все полуторные оксиды подстилки могут после ее сгорания перейти в подвижные формы (табл. 6). Получается, что в среднем после пожара из полностью выгоревшей лесной подстилки в подзолистый горизонт одновременно может поступить 25% от содержащихся там подвижных соединений железа, и 60% - алюминия.

Поступающие после пожара подвижные соединения железа и алюминия не задерживаются в подзолистом горизонте, поскольку его поглощательная способность незначительна, но могут быть сорбированы древесными углями. Учитывая большую миграционную способность соединений алюминия, нельзя исключить и больший его вынос в иллювиальный горизонт и за пределы профиля. Возможно, эти потери невелики на фоне преобладающего содержания соединений алюминия в почве, лесной подстилке и растительном опаде. Железо в рассмотренных подзолах на кварцевых песках дефицитно, его выносу препятствует его большая биогенность. Полученные расчетные характеристики согласуются с полевыми наблюдениями [34]: вынос из профиля ненарушенного иллювиально-железистого подзола составлял 43 и 114 %% железа и алюминия от их поступления с опадом и атмосферными осадками, соответственно.

В работе [16;17] рассмотрены почвы сосновых лесов на песчаных отложениях в юго-восточном Прибайкалье, где вследствие частых низовых пожаров при сохранении взрослого древостоя формируются редкотравно-мертвопокровные редины практически без признаков возобновления молодняка и кустарничков. В этих почвах под влиянием угля снижается кислотность, увеличивается содержания обменного кальция, формируется гуматный тип гумуса. Такие пирогенные почвы предлагают выделить на уровне подтипа: псаммоземы гумусовые, постпирогенные. Почвы в восстанавливающихся сосняках после верхового пожара предложено называть слаборазвитый псаммозем гумусовый.

Полагаем, что несмотря на то, что в профилях подзолов, подвергшихся влиянию пожаров, не всегда ясно выражена дифференциация по валовым и подвижным полуторным оксидам, эти почвы еще не соответствуют характеристикам псаммозема. Псаммоземы, согласно классификации почв России, образуются на песках, подверженным золовым процессам <http://soils.narod.ru/interactive/slab/Slab.html>.

Табл. 6.

Запасы и соотношения валовых и оксалаторастворимых форм полуторных оксидов (Fe₂O₃ и Al₂O₃) в подстилке (О) и подзолистом (Е) горизонтах подзолов иллювиально-железистых, г/м²

Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃
О		Е	
<i>Валовые: среднее по 15 разрезам (минимум – максимум)*</i>			
25±21 (4 – 77)	71±77 (77 – 306)	890±636 (219–2339)	3817±3028 (465 – 3028)
<i>Оксалат ораст воримые: среднее по 5 разрезам (минимум – максимум)**</i>			
8,1±5,2 (2,6 – 15,9)	16,4±7,9 (7,7 – 25,6)	100,6±51,6 (46,8–172,8)	121,0±59,7 (24,0 – 168,0)
<i>Валовые формы в О, в % от валовых форм в Е</i>		Источники данных: * [30; 20; 29; 26; 27]; ** [27]	
2,8 (1,8 – 3,3)	1,9 (1,3 – 3,1)		
<i>Валовые формы в О, в % от оксалат ораст воримых форм в Е</i>			
24,8 (8,5 – 44,8)	58,7 (25,0 – 182,1)		

Так, подзол иллювиально-железистый, с учетом концепции форм гумуса, будет называться на разных стадиях постпирогенной сукцессии: подзол иллювиально-железистый малогумусный, или сухой грубогумусный, или грубогумусный, как это было предложено О.Г. Чертовым с использованием классификации форм гумуса лесных почв [39; 40]. Видовой эпитет дается по мощности и физико-химическим свойствам лесной подстилки на данном этапе сукцессии. Скорость восстановления мощности подстилки определяется факторами внешней среды.

Для обозначения действия пожара, как его силы (верховой, низовой), так и частоты (степень нарушения естественной растительности, ксерофитизация и олиготрофизация почвы) стоит применять наименование «пирогенный» как это предложено в работах А.А. Дымова [18; 45]. Степень пирогенности следует нормировать по количеству и качеству поступивших и сохранившихся древесных углей, сажи, золы и обугленных растительных остатков. Эти вопросы требуют детального обсуждения в научном сообществе. Учет степени нарушения верхних органогенных и органоминеральных горизонтов, разработка детальных таксономических подходов важны для нормирования нагрузок на лесные экосистемы, планирования противопожарных и ~~лесово-почво-~~послепожарных восстановительных мероприятий.

4. Заключение

Низовые пожары, являясь довольно частым полициклическим стимулятором развития сосновых лесов, определяют некоторую самобытность подзолообразовательного процесса на кварцевых песках в таежной зоне. Эта самобытность обусловлена кратковременными бесподстилочными стадиями трансформации почвенных профилей, когда выщелачивание подвижных веществ интенсивнее их биогенной аккумуляции и сорбции горелым детритом и угольками. На этом фоне полуторные оксиды железа и алюминия, являясь основными морфохимическими маркерами подзолообразовательного процесса, в первые годы после низовых пожаров аккумулируются в виде водорастворимых и аморфных форм в элювиальных и иллювиальных горизонтах, а также могут быть вынесены из профиля. Через несколько лет послепожарной регенерации напочвенного растительного покрова, с ростом мощности лесных подстилок постепенно начинает восстанавливаться равновесный с факторами среды химический профиль подзолов по валовым и аморфным формам железа и алюминия.

Полученные материалы свидетельствуют о том, что низовые пожары в сосняках на кварцевых песках в таежной зоне, вероятно, не являются конструктивным фактором почвообразования, поскольку не изменяют его основного морфолого-генетического направления - подзолообразования. Они лишь несколько его корректируют в части частичного или полного уничтожения (выгорания) лесных подстилок и за счет этого относительно быстрого насыщения нижележащих минеральных горизонтов подвижными элементами, которые, регенерируют в процессе послепожарных сукцессий при условии нечастых лесных пожаров.

5. Благодарности

Исследования выполнены при поддержке грантов: РФФИ № 15-04-08707 «Влияние литогенного фактора на трансформацию органического вещества в почвах сосновых лесов» и РФФИ № 15-45-05129 р_востока «Плейстоценовые криопустыни (тукуланы) Центральной Якутии». Авторы выражают благодарность К.А. Бахматовой, Н.П. Битюцкому, Д.Е. Конюшковой и О.Г. Чертову за критические замечания при подготовке рукописи к публикации, Н.В. Ковш и А.Ф. Шаяхметовой за участие в полевых и лабораторных работах.

ЛИТЕРАТУРА

Список русскоязычной литературы

- Алексеев ВА, Зимницкий ПВ. Статистические данные о биоразнообразии древесных ресурсов России на начало XXI века. СПб.: Санкт-Петербургский лесной экологический центр; 2006.
- Аринушкина ЕВ. Химический анализ почв и грунтов. М.: МГУ; 1970.

3. Аристовская ТВ. Микробиология подзолистых почв. М.-Л.: Наука; 1965.
4. Бараш ИГ, Буланов ВА, Гладкочуб ДП, Донская ТВ, Иванов АВ, Летникова ЕФ, Миронов АГ, Сизых АИ, Скляров ЕВ. Интерпретация геохимических данных. М.: Интерметинжиниринг; 2001.
5. Безкоровайная ИН, Иванова ГА, Тарасов ПА, Сорокин НД, Богородская АВ, Иванов ВА, Конард СГ, Макрае ДДж. Пирогенная трансформация почв сосняков средней тайги Красноярского края. Сибирский экологический журнал. 2005;12(1):143-152.
6. Брянин СВ. Миграция и аккумуляция зольных элементов в лесных ландшафтах под влиянием периодических пожаров на Амуро-Зейской равнине. Фундаментальные исследования. 2014;(8):859-863.
7. Виноградов АП. Проблемы геохимии и космохимии. Избранные труды. М.: Наука;1988.
8. Воробьева ЛА. Теория и практика химического анализа почв. М.: Геос; 2006.
9. Герасименко ГГ, Ипатов ВС. Влияние низовых пожаров на развитие сухих сосновых лесов на песчаных почвах. Вестник ЛГУ Сер 3 Биол.1984;3(1):32-36.
10. Герасимова МИ, Чертов ОГ, Надпорожская МА. Формы гумуса в почвенных классификациях. В кн.: Лесные почвы и функционирование лесных экосистем. Материалы III Всероссийской научной конференции с международным участием. 2019. с. 18-20.
11. Горшков ВВ. Характеристики восстановления лесных экосистем после пожаров. ДАН. 1993;333;(6):811-813.
12. Горшков ВВ. Принципы и методы анализа давности и периодичности пожаров. В кн.: Методы изучения лесных сообществ. СПб: ВВМ, 2002. с.201-213.
13. Горшков ВВ, Ставрова НИ. Возрастная структура популяций *Pinus sylvestris* L. в северотаежных лесах с различной давностью пожара. Растительные ресурсы. 2002а;(1):3-24.
14. Горшков ВВ, Ставрова НИ. Динамика возобновления сосны обыкновенной при восстановлении бореальных сосновых лесов после пожаров. Бот журн. 2002;87;(2):62-77.
15. Горшков ВВ, Ставрова НИ, Баккал ИЮ. Динамика восстановления лесной подстилки в бореальных сосновых лесах после пожаров. Лесоведение. 2005;(3):37-45.
16. Гынинова АБ, Дыржинов ЖД, Куликов АИ, Гынинова БД, Гончиков БН. Послепожарная эволюция песчаных почв под сосновыми лесами в Прибайкалье. Почвоведение. 2019;(4):451-63.
17. Гынинова АБ, Убугунов ЛЛ, Куликов АИ, Гынинова БД, Гончиков БМ, Бадмаев НБ, Сымпилова ДП. Послепожарная эволюция лесных экосистем на песчаных террасах юго-восточного Прибайкалья. Сибирский экологический журнал. 2020;27(10):13-25.
18. Дымов АА, Дубровский ЮА, Габов ДН. Пирогенные изменения подзолов иллювиально-железистых (средняя тайга, республика Коми). Почвоведение. 2014;(2):144-54.
19. Журкова ИС. Влияние низового пожара на перераспределение химических элементов. Геология и минерально-сырьевые ресурсы Сибири. 2014;3;(2):246-50.
20. Забоева ИВ. Почвы и земельные ресурсы Коми АССР. Сыктывкар: Коми книжное издательство; 1975.
21. Ипатов ВС, Мирин ДМ. Описание фитоценоза: методические рекомендации. СПб: ВВМ; 2008.
22. Исаев АС, Коровин ГН. Лес как национальное достояние России. Лесоведение. 2013;(5):5-12.
23. Шишов ЛЛ, Тонконогов ВД, Лебедева ИИ, Герасимова МИ. Классификация и диагностика почв России. Смоленск: Ойкумена; 2004.
24. Краснощеков ЮН, Безкоровайная ИН, Кузьмиченко ВВ. Трансформация свойств лесной подстилки при контролируемом выжигании шелкопрядников в Нижнем Приангарье. Почвоведение. 2007;(2):170-8.
25. Методы изучения лесных сообществ. СПб: СПбГУ; 2002.
26. Морозова РМ. Лесные почвы Карелии. Л.: Наука; 1991.
27. Морозова Р М, Федорец НГ. Современные процессы почвообразования в хвойных лесах Карелии. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН; 1992.
28. Павлов БА, Вариончик СВ, Павлова МР. Подзолы на песках в центральной Якутии. В кн.: Тезисы докладов V Международной. науч. конф.: «Отражение био-гео-антропоферных взаимодействий в почвах и почвенном покрове». Томск: ТГУ; 2015, с. 73-76.
29. Пестряков ВК. Почвы Ленинградской области. Л.: Лениздат; 1973.
30. Пономарева ВВ. Теория подзолообразовательного процесса. М.-Л.: Наука; 1964.
31. Розанов БГ. Морфология почв. М.: Академический проект; 2004.
32. Санников СН. Экологические катастрофы и микроэволюция популяций. Эко-потенциал. 2014;2(6):42-54.
33. Сапожников АП, Карпачевский ЛО, Ильина ЛС. Послепожарное почвообразование в кедрово-широколиственных лесах. Лесной вестник. 2001;(1):132-65.
34. Стрелкова АА, Морозова РМ. О соотношении процессов биогенной аккумуляции и миграции веществ в подзолистых почвах Карелии. Почвоведение. 1979; (6):62-74.

35. Тонконогов ВД. Автоморфное почвообразование в тундровой и таежной зонах Восточно-Европейской и Западно-Сибирской равнин. М.: Почв. ин-т им. В.В. Докучаева; 2010.
36. Тарабукина ВГ, Саввинов ДД. Влияние пожаров на мерзлотные почвы. Новосибирск: Наука (Сибирское отделение); 1990.
37. Урбан АА, Галанин АА, Чжан ТР. Литолого-минералогическая характеристика перевеваемого песчаного комплекса «Кызыл-Сырский». Разведка и охрана недр. 2013;(12): 23-27.
38. Чевычелов АП. География, состав и свойства пирогенно-трансформированных мерзлотных почв Якутии. Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2013;(8):193-196.
39. Чертов ОГ. О гумусе поверхностно-подзолистых лесных почв Карельского перешейка. Почвоведение. 1973;(1):35-42.
40. Чертов ОГ. Экология лесных земель (почвенно-экологическое исследование лесных местообитаний). Л.: Наука; 1981.
41. Чертов ОГ, Надпорожская МА. Формы гумуса: концепции, классификации, перспективы развития и использования. Почвоведение. 2018;(10):1-13.
42. Шаяхметова АФ, Надпорожская МА, Ковш НВ. Трансформация соединений азота в почвах сосновых лесов. Материалы IX Международной Экологической школы-конференции в усадьбе «Сергиевка». СПб.: ВВМ; 2014, с. 290-294.

Общий список литературы / Reference List

1. Alekseev VA, Zimnitskiy PV. Statisticheskie Dannye o Bioraznoobrazii Drevesnykh Resursov Rossii na Nachalo XXI Veka. Saint Petersburg: Sankt-Peterburgskiy Lesnoy Ekologicheskii Tsentr; 2006. (In Russ.)
2. Arinushkina YeV. Khimicheskii Analiz Pochv i Gruntov. Moscow: Moscow State University; 1970. (In Russ.)
3. Aristovskaya TV. Mikrobiologiya Podzolistykh Pochv. Moscow-Leningrad: Nauka; 1965. (In Russ.)
4. Barash IG, Bulanov VA, Gladkochub DP, Donskaya TV, Ivanov AV, Letnikova EF, Mironov AG, Sizykh AI, Sklyarov YeV. Interpretatsiya Geokhimicheskikh Dannyykh. Moscow: Intermetinzhiniring; 2001. (In Russ.)
5. Bezkorovaynaya IN, Ivanova GA, Tarasov PA, Sorokin ND, Bogorodskaya AV, Ivanov VA, Konard SG, McRae DJ. [Pyrogenic transformation of pine stand soil in middle taiga of Krasnoyarsk region]. Sibirskiy Ekologicheskii Zhurnal. 2005;12(1):143-52. (In Russ.)
6. Brianin SV. [Ash elements migration and accumulation in forest landscapes under regular fire impacts on Amur-Zeya plain (Russian Far East)]. Fundamentalnye Issledovaniya. 2014;(8):859-63.
7. Vinogradov AP. Problemy Geokhimii i Kosmokhimii. Izbrannyye trudy. Moscow: Nauka; 1988. (In Russ.)
8. Vorob'eva LA. Teoriya i Praktika Khimicheskogo Analiza Pochv. Moscow: Geos; 2006. (In Russ.)
9. Gerasimenko GG, Ipatov VS. [The influence of ground fires on the development of dry pine forests on sandy soils]. Vestnik LGU Ser 3 Biologiya; 1984;3(1):32-6. (In Russ.)
10. Gerasimova MI, Chertov OG, Nadporozhskaya MA. [Humus forms in soil classifications]. In: Lesnye Pochvy i Funktsionirovanie Lesnykh Ekosistem. Materialy III Vserossiyskoy Nauchnoy Konferentsii s Mezhdunarodnym Uchastiyem. 2019. p. 18-20. (In Russ.)
11. Gorshkov VV. [Characteristics of restoration of forest ecosystems after fires]. Doklady Akademii Nauk. 1993;333(6):811-3. (In Russ.)
12. Gorshkov VV. [Principles and methods for analyzing the duration and frequency of fires]. In: Metody Izucheniya Lesnykh Soobshchestv. SPb: VVM, 2002. p.201-13. (In Russ.)
13. Gorshkov VV, Stavrova NI. [Age structure of *Pinus sylvestris* L. populations in northern taiga forests with different fire ages]. Rastitelnye Resursy. 2002;(1):3-24. (In Russ.)
14. Gorshkov VV, Stavrova NI. [The dynamics of the regeneration of Scots pine during the restoration of boreal pine forests after fires]. Botanicheskii Zhurnal. 2002;87(2):62-77. (In Russ.)
15. Gorshkov VV, Stavrova NI, Bakkal IYu. [Post-fire restoration of forest litter in boreal pine forests]. Lesovedeniye. 2005;(3):37-45. (In Russ.)
16. Gyninova AB, Dyrzhinov ZhD, Kulikov AI, Gyninova BD, Gonchikov BN. [Post-pyrogenic evolution of sandy soils under pine forests in the Baikal Region]. Eurasian Soil Science. 2019;52(4):414-25. (In Russ.)
17. Gyninova AB, Ubugunov LL, Kulikov AI, Gyninova BD, Gonchikov BM, Badmaev NB, Sympilova DP. [Post-fire evolution of forest ecosystems on sandy terraces in the southeastern Baikal region]. Sibirskiy Sibirskiy Ekologicheskii Zhurnal. 2020;27;(10):13-25. (In Russ.)
18. Dymov AA, Dubrovskii YuA, Gabov DN. [Pyrogenic changes in iron-illuvial podzols in the middle taiga of the Komi Republic]. Pochvovedeniye. 2014;(2):144-54. (In Russ.)
19. Zhurkova IS. [Influence of creeping fire on redistribution of chemical elements]. Geologiya i Mineralno-Syryevye Resursy Sibiri 2014;3(2):246-50. (In Russ.)
20. Zaboeva IV. Pochvy i Zemelnye Resursy Komi ASSR. Syktyvkar: Komi Knizhnoe Izdatelstvo; 1975. (In Russ.)
21. Ipatov VS, Mirin DM. Opisanie Fitotsenoza: Metodicheskiye Rekomendatsii. Saint Petersburg: VVM; 2008. (In Russ.)
22. Isaev AS, Korovin GN. [Forests as a national treasure of Russia]. 2013;6(7):677-82. (In Russ.)

23. Shishov LL, Tonkonogov VD, Lebedev AI, Gerasimov MI. Klassifikatsiya i Diagnostika Pochv Rossii. Smolensk: Oykumena; 2004. (In Russ.)
24. Krasnoshchekov YuN, Bezkorovainaya IN, Kuzmichenko VV. [Transformation of forest litter properties under controlled burning of fir forests defoliated by Siberian moths in the Lower Angara River basin]. Pochvovedeniye. 2007;(2):149-57. (In Russ.)
25. Metody Izucheniya Lesnyh Soobshchestv. Saint Petersburg: Saint-Petersburg State University; 2002. (In Russ.)
26. Morozova RM. Lesnye Pochvy Karelii. Leningrad: Nauka; 1991. (In Russ.)
27. Morozova RM, Fedorets NG. Sovremennye Protsessy Pochvoobrazovaniya v Khvoynykh Lesakh Karelii. Petrozavodsk: Karelskiy Nauchnyi Tsentr; 1992. (In Russ.)
28. Pavlov BA, Varionchik SV, Pavlova MR. [Podzols on the sands of Central Yakutia]. In: Tezisy Dokladov V Mezhdunarodnoy Nauchnoy Konferentsii Otrazheniye Bio-Geo-Antroposfernykh Vzaimodeystviy v Pochvakh i Pochvennom Pokrove. Tomsk: TGU; 2015. p. 73-6. (In Russ.)
29. Pestryakov VK. Pochvy Leningradskoy Oblasti. Leningrad: Lenizdat; 1973. (In Russ.)
30. Ponomareva V V. Teoriya Podzoloobrazovatel'nogo Protsessa. Moscow-Leningrad: Nauka; 1964. (In Russ.)
31. Rozanov BG. Morfologiya Pochv. Moscow: Akademicheskii Proyekt; 2004. (In Russ.)
32. Sannikov SN. [Environmental catastrophes and microevolution of populations]. Eko-Potentsial. 2014;2(6):42-54. (In Russ.)
33. Sapozhnikov AP, Karpachevskiy LO, Ilyina LS. [Post-fire soil formation in cedar-broadwood forests]. Lesnoy Vestnik. 2001;(1):132-65. (In Russ.)
34. Strelkova AA, Morozova RM. [On the relationships between the processes of biogenic accumulation and migration of substances in podzolic soils of Karelia]. Pochvovedeniye. 1979;(6):62-74. (In Russ.)
35. Tonkonogov VD. Avtomorfnoye Pochvoobrazovaniye v Tundrovoy i Tazhnoy Zonakh Vostochno-Evropeyskoy i Zapadno-Sibirskoy Ravnin. Moscow: Pochvennyi Institut Imeni V.V. Dokuchaeva; 2010. (In Russ.)
36. Tarabukina VG, Savvinov DD. Vliyaniye Pozharov na Merzlotnye Pochvy. Novosibirsk: Nauka; 1990. (In Russ.)
37. Urban AA, Galanin AA, Chzhan TR. [Lithological and mineralogical characteristics of the re-drifted sand complex "Kyzyl-Syrskii"]. Razvedka i Okhrana Nedr. 2013;(12):23-7. (In Russ.)
38. Chevychelov AP. [Geography, composition and properties of pyrogenically transformed permafrost soils of Yakutia]. Mezhdunarodnyi Zhurnal Prikladnykh i Fundamentalnykh Issledovaniy. 2013;(8):193-6. (In Russ.)
39. Chertov OG. [Humus of superficially-podzolic forest soils of Karelian isthmus]. Pochvovedeniye. 1973;(1):35-42. (In Russ.)
40. Chertov OG. Ekologiya Lesnyh Zemel (Pochvenno-Ekologicheskoye Issledovanie Lesnykh Mestoobitaniy). Leningrad: Nauka; 1981. (In Russ.)
41. Chertov OG, Nadporozhskaya MA. [Humus forms: Concepts, classification, and prospects for development and usage]. Pochvovedeniye (10):1142-53. (In Russ.)
42. Shayakhmetova AF, Nadporozhskaya MA, Kovsh NV. [Transformation of nitrogen compounds in the soils of pine forests]. In: Materialy IX Mezhdunarodnoy Ekologicheskoy Shkoly-Konferentsii v Usadbe «Sergiyevka». Saint Petersburg: VVM; 2014. p. 290-4. (In Russ.)
43. Bodi MB, Doerr SH, Cerda A, Mataix-Solera J. Hydrological effects of a layer of vegetation ash on underlying wettable and water repellent soil. Geoderma. 2012;191:14-23.
43. Certini G. Fire as a soil forming factor. Ambio. 2014;43:191-5.
44. Dymov AA, Gabov DN. Pyrogenic alterations of Podzols at the Northeast European part of Russia: Morphology, carbon pools, PAH content. Geoderma. 2015; 241-242: 230-7.
45. Duchaufour Ph, Souchier B. Roles of iron and clay in Genesis of acid soils under a humid, temperate climate. Geoderma. 1978; 20;(1):15-26.
46. Giesler R, Ilvesniemi H, Nyberg L, van Hees P, Starr M, Bishop K, Kareinen T, Lundström US. Distribution and mobilization of Al, Fe and Si in three podzolic soil profiles in relation to the humus layer. Geoderma. 2000;94;(2-4):249-63.
47. Gonzalez-Perez JA, Gonzalez-Vila FJ, Almendros G, Knicker H. The effect of fire on soil organic matter – a review. Environ Int. 2004;30:855-70.
48. Kurth VJ, Hart S C, Ross ChS, Kaye JP, Fulé PZ. Stand-replacing wildfires increase nitrification for decades in southwestern ponderosa pine forests. Oecologia. 2014;175;(1):395-407.
49. Lundstrom US et al. Advances in understanding the podzolization process resulting from a multidisciplinary study of three coniferous forest soils in the Nordic Countries. Geoderma. 2000;94:335-353.
50. Nadporozhskaya MA, Chertov OG, Bykhovets SS, Shaw CH, Maksimova EY, Abakumov EV. Recurring surface fires cause soil degradation of forest land: A simulation experiment with the EFIMOD model. Land Degrad Dev. 2018;29;(7):2222-32.
51. Neary DG, Klopatek CC, DeBano LF, Ffolliott PF. Fire effects on belowground sustainability: a review and synthesis. Forest Ecology and Management. 1999;122:51-71.
52. Wang J, Xiong Zh, Kuzyakov Ya. Biochar stability in soil: meta-analysis of decomposition and priming effects. Bioenergy. 2016;8;(3):512-523.

УДК: 91

ОСОБО ОХРАНЯЕМЫЕ ПРИРОДНЫЕ ТЕРРИТОРИИ И КОРЕННЫЕ НАРОДЫ: СПОСОБЫ РЕШЕНИЯ КОНФЛИКТОВ В СРАВНЕНИИ МЕЖДУ БРИТАНСКОЙ КОЛУМБИЕЙ (КАНАДА) И ПРИМОРСКИМ КРАЕМ (РОССИЯ)

А.В. Бочарникова

*Санкт-Петербургский научно-исследовательский центр экологической безопасности
Российской академии наук, Санкт-Петербург; Россия*

Эл. почта: aleksandra.bocharnikowa@yandex.ru

Статья поступила в редакцию 11.02.2020; принята к печати 23.05.2020

Целью создания особо охраняемых природных территорий (ООПТ) является сохранение природного наследия. Населяющие их коренные малочисленные народы, занятые охотой, рыболовством и оленеводством, сильно зависят от природных условий. Любые изменения территории, связанные с промышленным воздействием или коммерческой деятельностью, затрагивают экономику коренных народов. При этом зачастую коренное население имеет свою точку зрения на то, как надо сохранять природу. Поэтому между местным населением и администрацией ООПТ часто возникают конфликты. Причинами взаимного недопонимания может быть отсутствие четких границ внутри территории, охраняемой государством, а также то, что местные жители вынуждены покинуть охотничьи угодья и лишиться возможности заниматься традиционными промыслами. Более того, местные жители тяжело воспринимают новые ограничения психологически, поскольку «это всегда была территория предков». После организации ООПТ появляются туристы, не знакомые с местными традициями. На территориях проживания коренного населения есть священные места, при посещении которых необходимо соблюдать определенные нормы. Многие проблемы зависят от региона, но есть и общие: незаконные вырубki, браконьерские охота и рыболовство, неконтролируемый туризм. В данной статье рассмотрены более и менее успешные варианты опыта соуправления природными территориями.

Ключевые слова: *коренные малочисленные народы, особо охраняемая природная территория, соуправление, традиционное природопользование, социальные институты.*

PROTECTED AREAS AND INDIGENOUS PEOPLES: APPROACHES TO CONFLICTS SOLVING IN BRITISH COLUMBIA (CANADA) AND PRIMORSKIY REGION (RUSSIA) COMPARED

A.V. Bocharnikova

*Saint-Petersburg Research Center of Environmental Safety, the Russian Academy of Sciences,
Saint Petersburg, Russia*

E-mail: aleksandra.bocharnikowa@yandex.ru

The aim of establishing of protected areas is the preservation of natural heritage. The small populations of indigenous peoples engaged in hunting, fishing, and reindeer herding are heavily dependent on natural conditions. Any territorial alterations associated with industry and commerce impact the indigenous economy. The indigenous peoples often have their original approaches to nature protection. Therefore, conflicts between the locals and the administration of protected areas happen frequently. The reasons of mutual misunderstanding include the lack of clearly delineated borderlines within protected areas, the necessity for the locals to abandon their hunting territories and constrains imposed on their traditional trades. Moreover, it is often hard for the indigenous peoples to accept emerging restrictions related to what has been ever belonging to their ancestors. After a protected area has been established, it often becomes an attraction for tourists unfamiliar with local traditions. There often sacred places in territories inhabited by the indigenous peoples. Strict rules must be observed by those who visit such places. Many problems are region-specific. Common problems include illegal deforestation, hunting and fishing and uncontrolled tourism. The present paper discusses more and less successful approaches to co-administration of protected areas.

Keywords: *indigenous peoples, protected areas, co-administration, traditional nature management, social institutes.*

Коренные малочисленные народы и природные ресурсы: трансформация стратегии управления

Традиционное природопользование коренных народов сильно зависит от ландшафта [23]. Связь этноса и ландшафта определяет, какие отрасли хозяйства развиваются [7]. Любые изменения природы делают традиционное природопользование проблематичным. Ограничения, которые мешают осуществлять традиционную хозяйственную деятельность, часто создают государство и промышленные компании [22].

Развитие традиционного общества определяют неформальные институты: социальные практики, выработанные в результате адаптации к существующим природным и социально-экономическим условиям. Источниками институтов становилось само сообщество, другие народы, а также государство, а сейчас – еще и рынок.

Общими для коренных народов являются следующие институты:

- *Коллективное принятие решений*

Как правило, все вопросы, которые были связаны с распределением ресурсов и границ, решались коллективно [20].

Традиционное природопользование регулировалось нормами общинного права, в основе которых было представление о том,

что вся земля является живой [11]. Количество зверя определяли сами охотники, как и выбирали территорию, на которой осуществлялась охота. Все решения принимали на сходе.

- *Общая собственность на землю*

Поскольку по большей части коренные народы вели кочевой или полукочевой образ жизни, землю считали общей. В.К. Арсеньев, изучая удэгейцев, охарактеризовал земельные отношения следующим образом: «Раздел земли они так же не понимают, как раздел воды и воздуха, которыми пользуются наравне и люди, и звери, и птицы. Кто где хочет, тот там и селится. За последние двадцать пять-тридцать лет часть орочей перекочевала на Хунгари, и никто из удэгейцев, живущих на этой реке, не протестовал против этого. Обратное явление – несколько семей удэгейцев перешли на Копи, и копейские орочи отнеслись к этому так, как будто эти удэгейцы живут здесь истари» [1, с. 18].

- *Ограничения на занятия охотой, рыболовством*

Чтобы успешно заниматься охотой, необходимы были знания о животных, об их повадках, например, о территории обитания. Для того чтобы промысел мог осуществляться годами, необходимо было, чтобы охотники контролировали количество животных (точнее, не осуществлялся избыточный промысел) [16]. Для этого на охоту отправлялись в том случае, если закончились запасы [8, 13]. Запрещено было охотиться во время размножения животных, для чего был промысловый календарь, по которому и ориентировались.

- *Наличие священных мест*

У коренных народов есть священные места, где запрещен традиционный промысел, а некоторые – нельзя посещать. Именно в таких местах часто происходит размножение животных и нерест рыб [13]. По классификации Г.П. Харючи, существовало несколько категорий святилищ: общенародные, родовые и семейные. Например, на острове Вайгач есть священная роща, которая является общенародным достоянием ненцев [14]. Отдельной категорией священных мест были кладбища. Система верований коренных народов способствовала сохранению биологических ресурсов, получила в научной литературе название «промысловая этика».

- *Ограничение на охоту на определенные виды животных*

Часто священные места связывали с определенными видами животных, было запрещено на них охотиться. Так, например, у удэгейцев, как и других народов тунгусо-маньчжурской языковой группы, считались священными некоторые виды лягушек [10].

- *Промысловые ритуалы*

Часто проводились ритуалы, связанные с тем, что охотники просили прощения у убитого животного. Например, у удэгейцев, орочей, нанайцев – это медвежий праздник [11].

Таким образом, принятые в обществе правила способствовали сохранению природного разнообразия.

Традиционное природопользование перестает быть неистощительным, когда коренное население вовлекается в рыночные отношения. При занятии традиционным промыслом часто возникает конкуренция с тем населением, которое включено в экономику доминирующего сообщества: появляются коммерческие охота и рыболовство. Основной задачей коммерческого природопользования становится добыть и продать как можно больше зверя или выловить рыбы, в то время как объемы традиционного промысла ограничены потребностями самого сообщества [4].

Как правило, конфликты возникают, когда на территории, где коренные жители занимаются промыслами, появляются предприниматели, которые сами занимаются охотой и рыболовством или приводят туристов. Такое природопользование не предполагает ограничивающих установок и истощает экосистему. Местные жители не могут попасть на территорию, доступ к которой перекрывается шлагбаумами.

Еще одна проблема, которая делает невозможным традиционное природопользование, – это промышленное освоение территорий. В этом случае, так же как когда природопользование становится коммерческим, единственным выходом остается создание особо охраняемых природных территорий (ООПТ) [3].

Зарубежный опыт соуправления территориями

Во многих зарубежных странах при создании ООПТ политики, представители государственного управления и представители коренных народов стараются достичь компромисса между управлением ООПТ и обычаями коренных народов [20]. Часть проблем, связанных с отношениями между коренным населением и администрацией ООПТ, совпадает с российскими, но, поскольку национальные парки в Северной Америке появились значительно раньше, там сложились свои практики взаимодействия.

На Севере Канады в провинции Юкон существует практика заключения соглашений между общинами коренных народов и правительством [23].

95% национальных парков Канады расположено там, где проживает коренное население. Однако современная политика по отношению к коренным народам сложилась не сразу. Когда на территории Канады появились англичане, политика стала колонизаторской: природные ресурсы использовались для промышленности. Местные жители были ассимилированы: родной язык был запрещен, дети – отправлены на принудительное обучение в интернате. Эти процессы способствовали вымиранию целых племен.

Когда в Канаде организовывали ООПТ, группы индейцев оказались вынужденными переселяться. Серьезные изменения в политике в Северной Америке начались со второй половины XX века. В Канаде и США эти процессы происходили по-разному. Когда представители государственной власти начали сотрудничать с индейцами, алеутами и иннуитами, были приняты основополагающие документы [17].

Первый национальный парк в Канаде в окрестностях города Банф создали в 1885 г. На этой территории проживали индейцы племен стоуни, ктунаха, тсутина, кайна, пикани и сиксики. Парк находился на территории провинции Альберта, и его организация была связана с открытием термальных источников. Когда создавали парк, индейцы были вынуждены жить в резервациях. Такое решение вызывало протест, более того, все равно местные жители нарушали режим, проникая на территорию незаконно.

Ярким примером такой политики является история создания морской резервации парка Гуаи Хаанас на островах Шарлотта. Большая часть населения проживает лишь на одном острове – Грэм, хотя всего территория состоит из 200 островов. На этой территории обитают редкие виды животных, в том числе американский черный медведь и горностай [18]. Племя индейцев хайда было когда-то многочисленным, но в результате контактов с колонистами, которые привезли с собой европейские болезни, в конце 1880 г. из 12000 оставалось всего 350. Сейчас по всей Канаде к племени хайда относят себя 2500–3000 человек, которые сохранили разделение на кланы ворона и орла как историческую память. Со времен, когда деревни индейцев находились на островах Шарлотта, сохранились тотемические столбы, на которых осуществлялись захоронения (в концов они были уничтожены католическими миссионерами).

Аборигены занимались охотой, рыболовством и промыслом моллюсков, а зимой строили временные дома. Традиционная культура индейцев хайда была во многом утеряна, отчасти из-за того, что ее представители вымерли, отчасти – в результате ассимиляционной политики государства.

В 1985 г. община индейцев выступила с предложением создать территорию наследия индейцев хайда и оградить ее от вырубок, которые проводились лесопромышленными компаниями. На островах Шарлотта основные вырубки осуществляют японские лесопромышленные компании. Брошенная деревня хайда Станг-Гваи получила статус объекта Всемирного наследия ЮНЕСКО. И только тогда вырубки прекратились на этой территории [18].

Однако правительство Канады решило организовать национальный парк, и процесс его создания сопровождался постоянными протестами индейцев, которых уже оставалось очень мало.

Так описывали очевидцы¹ процесс создания парка:

«В 1985-м г. вожди оставшихся племен хайда вышли на блокаду на острове Лиэл. На старое видео практически невозможно смотреть без слез. Маленькие, сгорбленные старички и старушки в очках сидят прямо на земле, в дождь, перекрывая собой вход грузовикам на проселочную дорогу. Грузовики не могут проехать за лесом. Вызывают полицию. Индейцам зачитывают их права, грозят двумя годами тюрьмы.

– Два года? Мне уже 100 лет, какая разница, где еще два? А там кофе в тюрьме есть? Если есть кофе, мне нормально.

– Да поймите же, мы это делаем не ради себя. Мы уже старые. Мы ради детей. Если вырубить весь лес, где будут дети жить? Не только наши дети. Даже дети белых людей. На чем будут делать деньги ваши дети, если вы вырубите весь лес?

– Я хочу задать правительству Канады только один вопрос, кто сделал эти острова? Правительство Канады или Бог? Если не правительство Канады, то почему оно их продает как свое?»

В итоге, в результате переговоров южная часть архипелага, которая не была заселена, стала заповедником, в ней было запрещено рубить лес. Это решение было поддержано общиной.

В 1988 г. была создана резервация, но серьезные изменения в политике по отношению к аборигенному населению произошли только в 1993 г.: правительство Канады подписало соглашение с общиной индейцев, которые входили в созданный до этого Совет индейцев племени хайда.

Сейчас островами Шарлотта управляет совместная комиссия по управлению архипелагом. Комиссия состоит из 2 представителей индейцев и двух представителей администрации. Финансовую поддержку оказывает государственная структура – парки Канады. Также была принята Программа наблюдателей хайда – 30 человек местных жителей следят за порядком в национальном парке. На официальном уровне опыт создания резервации на островах Шарлотта является достаточно удачным.

Национальный парк «Бикин» в России

Проблема отношений коренного населения и администрации ООПТ является актуальной для многих регионов. Существует несколько политических стратегий, которые помогают добиться компромисса. В России, по сравнению с зарубежными странами, опыт создания национальных парков небольшой: самый первый парк «Лосиный остров» был создан только в 1981 г. [3]. Как правило, цели и задачи экономической деятельности коренного населения не совпадают с целями и задачами администрации ООПТ, поскольку жители занимаются охотой, рыболовством и оленеводством, что противоречит режиму ООПТ.

¹ <http://kitya.livejournal.com/241392.html>

Природные условия бассейна реки Бикин и коренное население

Бассейн реки Бикин отличается уникальными природными условиями: на территории верхней и средней части бассейна реки Бикин растут кедрово-широколиственные леса, которые являются редкими доледниковыми лесами Евразии. Сейчас они либо сильно изменены, либо исчезли [2].

В горах Сихотэ-Алинь есть несколько географических зон: горные тундры, заросли кедрового стланика, в нижней и средней частях есть заросли ольховника и рододендрона, ниже – еловые и пихтово-еловые леса, долинные леса, горные лиственные и мелколиственные леса [15].

В лесах можно найти редкие виды растений, которые имеют лекарственное значение: аралия, лимонник, элеутерококк, амурский бархат. В бассейне реки Бикин обитают животные более 50 видов, в том числе 16 хищных, таких как енотовидная собака, амурский барсук, американская норка, соболь, колонок, выдра, бурый и гималайский медведь. Много редких и краснокнижных видов [15].

Бассейн реки Бикин – территория традиционного проживания удэгейцев и нанайцев.

Жизнь коренного населения прямо связана с природными условиями, а отношение к природе в течение истории претерпевало изменения. По классификации культурно-хозяйственных типов М.В. Левина и Н.Н. Чебоксарова, удэгейцы относятся к «таежным охотникам и рыболовам» [9], для которых главное значение имела охота, а рыболовство – вспомогательное.

Еще в середине XIX века удэгейцы и нанайцы стали селиться на труднодоступных протоках, что способствовало сохранению традиционных видов деятельности. Удэгейцы бассейна реки Бикин охотились на оленя, кабана, лося, росомаху, енотовидную собаку и колонка. Соболь у удэгейцев не был традиционным видом охотничьего промысла, на него стали охотиться после контактов с русскими и китайцами [12].

Помимо охоты и рыболовства население, проживающее в бассейне реки Бикин, занималось собирательством: они собирали черемшу, дикий лук, свежие корни папоротника, корни дикой лилии, мяту, подорожник. Из ягод собирали жимолость, голубику, красную смородину, клюкву, шиповник и калину [12].

Традиционные институты удэгейцев бассейна реки Бикин и их трансформация

Отношение коренного населения к природе определялось некоторыми правилами, которые выработало аборигенное сообщество.

- Старались добывать не больше, чем требовалось для стабильного существования сообщества и сохранения природного равновесия. Часть правил сохранилась и по настоящее время: «Когда находишься в тайге, то для еды бьешь коз, их хватит поесть. А изюбра бьешь, когда едешь домой, тогда уже его делишь» [6, с. 68]. Похожие запреты касались рыболовства и собирательства.
- На промысле часто проводили ритуалы. Удэгейцы проводили «медвежий праздник»: после того как убивали медведя, его тушу поворачивали головой на запад, а свежавали ее все участники охоты. До XX века переодевались в праздничную одежду, и было не принято говорить о том, что собираешься на охоту, иначе добычи не будет [12, с. 87].
- Запреты на охоту на определенные виды животных. У удэгейцев была запрещена охота на тигра, которого считали предком; определенные ограничения касались охоты на медведя. Еще в XIX веке был обычай кровной мести тигру, если он на кого-то нападал. Если человек на охоте встречал тигра, то добычу оставляли тигру.
- Были священные деревья. У удэгейцев священные деревья нельзя было срубить, и запрещено было загрязнять места около них. Благодаря традиционным представлениям сохранялись определенные виды деревьев. К ним относят большой ильм, ясень, дух и пихту [10, с. 73–74].
- Зонирование территории. Существовали священные места, на которых нельзя было заниматься охотой и рыболовством. Вся территория делилась на промысловую и запретную. Благодаря этому священные места становились местом размножения животных, что позволяло восстанавливать популяции. Запретным местом являлась священная гора Сивантай. Запрещено было заниматься промыслом также на родовых кладбищах [11].
- Санитарно-экологические правила. Существовал запрет выкидывать внутренности в реку при разделывании туш животных.
- Гендерное разделение труда. В традиционном обществе общественный строй был патриархальный, существовало четкое разделение труда между мужчиной и женщиной. Мужчины занимались охотой и рыболовством, а на женщину возлагалась вся домашняя работа – работа около юрты и шитье одежды.

Серьезные изменения институтов, которые регулировали традиционное природопользование удэгейцев, начались с включением их в рыночные отношения. До активных контактов с русскими и китайцами преобладали традиционные методы охоты: оружием были копье, луки, использовались петли и ловушки. С появлением огнестрельного оружия охота интенсифицировалась, и ограничение на добычу сверх необходимой перестало действовать. Если раньше преобладала мясная охота, то после активного взаимодействия с китайцами, русскими и корейцами главной стала пушная охота, в особенности охота на соболя. Однако часть правил сохраняется даже после вовлечения местного населения в рыночные отношения: запрет охоты на тигра, наличие священных мест и санитарно-экологические правила [4].

В советское время процесс разрушения традиционных институтов был приостановлен, поскольку не было рынка сбыта. Зонирование территории осуществлялось государством, также у коренных народов появлялись новые отрасли, например сельское хозяйство [5].

В постсоветский период отношение коренного населения к природе очень сильно изменилось: поскольку не было легального рынка сбыта, активно развивался черный рынок, а традиционные институты, которые защищали природу от избыточного потребления, стали вытесняться рыночными. В особенности спросом пользовались продукты для восточной медицины – лапы и желчь медведя, струя кабарги, женьшень.

Запрет на убийство тигра оставался. Но в советское время многие промысловые праздники не проводились, поскольку были запрещены [4].

До создания национального парка «Бикин» охота, рыболовство и собирательство оставались основными занятиями, например, жителей поселка Красный Яр. Деление участков сохранилось такое же, как и в советское время. В 2014 г. по учету, который вела община «Тигр», официально в промысловом сезоне принимал участие 91 охотник. Пушная охота включала промысел соболя, норки и белки, при этом охотники должны были сдавать пушнину в общину, и далеко не всегда удавалось добыть нужное количество зверя. Местные охотники могли сдавать пушнину помимо общины скупщикам по значительно более высокой цене [5].

Новой отраслью, в которую были активно вовлечены коренные жители, стал туризм: работая проводниками, жители смогли в 2014 г. зарабатывать по 3000–4000 рублей за один день². Более того, такой туризм никак не регулировался.

Таким образом, с вовлечением в рыночные отношения традиционные институты разрушались и заменялись рыночными.

Еще одной угрозой для природных экосистем бассейна реки Бикин стали вырубки. Постоянно на освоение территории претендовали лесопромышленные компании, а местные жители объединялись с представителями общественных организаций, как экологических, так и коренных малочисленных народов Севера, в борьбе против вырубок [15].

В 1980–1990 гг. произошел значительный рост общественных объединений, в том числе была создана Ассоциация коренных малочисленных народов Севера, Сибири и Дальнего Востока.

В Пожарском районе Приморского края активные вырубки начались еще в 1960-х гг., однако в бассейне реки Бикин лесопромышленные компании появились только в 1970–1980 гг. После вырубки леса в Красноармейском районе численность удгейцев сократилась до нескольких семей, что показывает прямую связь между истощением среды и аборигенными народами [15].

Конфронтация коренных жителей и лесопромышленных компаний продолжалась с 1980 по 2011 г. Источниками новых институтов были жители Бикина, государственные структуры и экологические организации. Первый серьезный конфликт, который способствовал объединению жителей Краснояровского поселения, произошел в 1989 г. с компанией «Хендэ». Протесты носили широкий характер, в них участвовали жители поселка, в том числе коренное население, а также Ассоциация коренных малочисленных народов Севера, Сибири и Дальнего Востока и представители экологических неправительственных организаций – WWF (World Wildlife Fund – Фонд защиты дикой природы), Friend of Earth International (Друзья Земли), ученые и журналисты.

В 1998 г. был образован заказник «Верхнебикинский», однако его создание не давало гарантий, что вырубки не будут производиться. Более того, организация территории повлекла ограничение на использование механического транспорта для местных жителей, добравшихся до своих угодий (добираться можно было только на лодке) [4].

В 2003 г. ЗАО «Приморские лесопромышленники» предлагало уменьшить площадь Верхнебикинского заказника. Последний серьезный конфликт произошел в 2011 г. с компанией «ЛесЭкспорт».

На первом этапе протесты часто носили нелегитимный характер: они включали пикеты и перекрытие дорог; на втором, начиная с 2000-х, решения принимались на сходах, и велись переговоры.

Предпосылки организации национального парка «Бикин»

Было несколько причин, которые сделали необходимым создание ООПТ федерального значения:

- нагрузка на экосистему, которая была связана, в том числе, и с развитием туризма;
- угроза вырубок;
- браконьерство, в котором участвовали как местные жители, так и приезжие, особенно в связи со сбытом пушнины и продукции для восточной медицины;
- коммерциализация традиционного хозяйства коренных народов;
- географическое положение и уникальная природа;
- требование экологических организаций создать ООПТ федерального значения [5].

² По полевым данным автора.

Организация национального парка «Бикин»: от конфликта к соуправлению

В 2015 г., когда было принято решение о создании национального парка «Бикин», традиционные институты коренных малочисленных народов стали заменяться рыночными. Перед созданием парка появилось множество проблем, которые были связаны с коренным населением.

Большая часть населения поселка Красный Яр, на границе которой создавали национальный парк, работала в общине «Тигр», в общину можно было сдавать продукцию, но по меньшей цене, чем скупщикам в Китай и Корею. Природопользование становилось не традиционным, а коммерческим. Помимо этого, на территории Пожарского района осуществлялись нелегальные вырубki, которые никак не контролировались. Еще одной проблемой стал нерегулируемый туризм, который был источником заработка для местных жителей. Больше всего использовались участки, наиболее близкие к деревне.

Решением этих проблем стало создание национального парка, который, в соответствии с определением в законодательстве, может использоваться не только в природоохранных целях, но и для регулируемого туризма.

Сначала национальный парк создавали стандартным путем, сразу же после решения правительства Российской Федерации, однако это вызвало протест среди местного населения. В 2012 г. община «Тигр», в которой работали местные охотники, направила в правительство обращение против создания любой ООПТ федерального значения. После чего была создана специальная группа, которая состояла из местных жителей и представителей общественных организаций, которые потребовали создать Совет из коренных народов, выделить рабочие места в штате парка и обширную территорию традиционного природопользования. Эти требования были выполнены.

Национальный парк «Бикин» был создан 3 ноября 2015 г. Постановлением Правительства Российской Федерации. Его территория составила 1,1 млн га. Он стал первой территорией, в уставе которой написано, что защита окружающей среды является целью ее организации³. Для регулирования деятельности был создан Совет коренных народов, в состав которых входят старейшины. Совет коренных народов действует при администрации парка.

Проект организации национального парка вызвал раскол в местном сообществе: часть поддерживала создание национального парка, часть – выступала против. Основной причиной негативного отношения к этой идее были опасения жителей, что они не смогут продолжать заниматься традиционной хозяйственной деятельностью [3]. Также не верили, что администрация выполнит свои обязательства. Условиями создания ООПТ были переговоры с местными жителями. Таким образом, создание национального парка «Бикин» можно считать примером успешного соуправления.

Национальный парк «Бикин» и «Удэгейская легенда»

При создании национального парка «Бикин» в 2015 г. было еще и предложение создать территорию традиционного природопользования федерального значения.

Когда жителям поселка Красный Яр предложили создать национальный парк, большая их часть выступила против, сославшись на отрицательный опыт парка «Удэгейская легенда». Этот национальный парк расположен в соседнем Красноармейском районе Приморского края, который также исторически был территорией проживания удэгейцев, но эта территория всегда была менее изолированной, чем в бассейне реки Бикин. Однако, в отличие от Пожарского района, Красноармейский район был намного сильнее затронут лесозаготовками, а удэгейцы и нанайцы смешаны с русскими, украинцами и белорусами.

В 2011 г. автор проводила интервью с охотником общины «Тигр», которая существовала до организации парка. Вот его свидетельства: «Я участвовал в разработке всех документов по территориям традиционного природопользования и посещал некоторые национальные парки, где проживают коренные малочисленные народы. И, как показывает практика, в созданном четыре года назад национальном парке “Удэгейская легенда” в Красноармейском районе до сих пор идет война между администрацией парка и коренными народами. Сначала идут навстречу, когда создают парк. В “Удэгейской легенде” осталась горстка удэгейцев, несколько десятков человек, община находится на этой территории. У них тоже было небольшое охотничье хозяйство 30 тысяч га, а общая площадь национального парка, который создали, где-то 90 тысяч га. Национальный парк создали. Прислала Москва начальника, и всё – у них началась война: поставили шлагбаум, в лес идти нельзя, охотой нельзя заниматься, просто выделили им кусочек – этой общине. Они судились. Судились, наверное, года два, в итоге выиграли этот суд, признали постановление о создании национального парка незаконным, обязали отдать им обратно все (охотничью территорию). В общем, вот такая вот практика везде» [5]. Эта обширная цитата характеризует проблему отношений местного населения и администрации.

Национальный парк «Удэгейская легенда» был создан 9 июня 2007 г. в пределах Красноармейского района Приморского края. Он находится на территории бассейна реки Большая Уссурка и Арму. Население составляет всего 112 человек, состоит из удэгейцев, нанайцев и русских.

³ Устав Федерального государственного бюджетного учреждения «Национальный парк «Бикин», утверждено Минприроды России от 19.04.2016. М.; 2016.

В буферной зоне расположены поселки Дальний Кут (230 человек), Дерсу (37 человек) и Островной (2 жителя). В Красноармейском районе население смешанное, а представителей коренных народов значительно меньше, чем в поселке Красный Яр.

Вокруг территории национального парка землю арендуют лесозаготовительные предприятия, что делает неэффективной защиту природы даже при создании ООПТ федерального значения. Большая часть населения района работает в лесозаготовительной отрасли. До организации ООПТ были проведены общественные слушания, в ходе которых планировалось выделить рабочие места для местных жителей, однако это обещание не было выполнено: за 9 лет было трудоустроено только 8 человек из коренных народов, а сейчас остался один. Штат парка составляют приезжие, более того, территория недостаточно защищена от претензий лесозаготовительных компаний.

Между администрацией парка и коренными жителями установилось взаимное недоверие, более того, местные жители не были вовлечены в управление парком. Реальной проблемой является то, что разделение территории парка на зоны существует на бумаге, сами границы парка четко не определены. Причем очень часто о том, что они нарушили границу зоны, охотники узнают уже задним числом, когда их штрафуют за охоту в неполюженном месте или за то, что они поехали за дровами. Одно из самых главных условий установления доверия между местными жителями и администрацией парка – это когда границы четко установлены и понятны для всех [5].

В 2009 г. община «Удэге», границы которой находятся на территории парка, подала в суд на администрацию национального парка за нарушение прав коренных народов. Этот конфликт отразился в СМИ федерального значения: тогда удэгейцев обвинили в том, что они сотрудничают с лесорубами. В конечном счете община выиграла суд, а территория более 20 тыс. га была выведена в пользу общины. Проблемой стало то, что территория скорее использовалась для вырубок, которые приносили основной доход для местных жителей.

Основными причинами того, что коренное население не участвовало в процессе соуправления, были конфликт с администрацией, отсутствие гарантий прав коренных народов в документах, отсутствие активистов среди местного населения и то, что в Красноармейском районе больше всего смешанного населения.

Заключение

Исторически традиционное сообщество выработало ряд практик, которые были направлены на сохранение природы. Все необходимые решения принимали коллективно, не было частной собственности на землю. Существовали ограничения, связанные с промыслом: старались добывать не больше, чем требовалось для того, чтобы обеспечить семью. Также запрещено было охотиться (а также заниматься другой хозяйственной деятельностью) на священных местах, были определенные виды животных и растений, которые считались священными. Такие практики подкреплялись традиционной системой верований. Все эти правила трансформируются, когда народы вовлекаются в рыночные отношения. Более того, на территории часто возникают конфликты с промышленными компаниями, а также теми, кто занят коммерческими охотой и рыболовством. Единственным выходом становится создание ООПТ, но в этом случае необходимо сочетать интересы местного населения с природоохранными.

Первый опыт создания национальных парков Канады был неудачным: местные жители были вынуждены переселиться в резервации. На островах Шарлотты создана морская резервация, управление островом осуществляется Комиссией, состоящей из администрации и представителей коренного населения.

У коренного населения бассейна реки Бикин также сложились традиционные институты, поскольку экономика была связана с природой. Рыночные отношения, другие народы и государства способствовали трансформации традиционных институтов. Угрозами для природы стали вырубки и то, что само природопользование стало коммерческим, на территории стал развиваться нерегулируемый туризм. При организации национального парка «Бикин» компромисс с местным населением был достигнут, поскольку был создан Совет коренных народов, в то же время в «Удэгейской легенде» конфликт между администрацией парка и коренным населением так и остался.

Литература

Список русскоязычной литературы

1. Арсеньев ВК. Лесные люди удэгейцы. Владивосток: Книжное дело; 1926.
2. Бочарников ВН, Глушенко ЮН, Михайлов КЕ, Егидарев ЕГ. Национальный парк «Бикин». Биота и среда заповедников Дальнего Востока. 2016; (1):3-24.
3. Бочарникова АВ. Коренные народы и особо охраняемые природные территории: опыт соуправления природными ресурсами. М.: ЦС КМНС; 2017.
4. Бочарникова АВ. Трансформация институтов, регулирующих традиционное природопользование (на примере удэгейцев бассейна реки Бикин). Известия РГО. 2017;149(3):73-91.
5. Бочарникова АВ. Влияние трансформации институтов коренных народов Дальнего Востока на изменение политики в сфере традиционного природопользования в Пожарском районе Приморского края. Вестник ПсковГУ. 2019; (15):33-43.
6. Звиденная ОО, Новикова НИ. Удэгейцы: охотники и собиратели реки Бикин. М.: Стратегия; 2010.
7. Клоков КБ. Традиционное природопользование народов Севера: концепция сохранения и развития. Этногеографические и этноэкологические исследования. 1997;(5) 3-44.

8. Крупник ИИ. Древние эскимосские китобои в Арктике: «бойни детенышей» или интуитивная экология? В кн.: Экологические аспекты палеоантропологических и археологических реконструкций. М.; 1992. С. 161-78.
9. Левин МГ, Чебоксаров НН. Хозяйство-культурные типы и историко-этнографические области. М.: Советская энциклопедия; 1955. С. 3-17.
10. Подмаскин ВВ. Проблема этногенеза удэгейцев. В кн.: Проблемы историко-культурных связей народов Дальнего Востока: Сборник науч. трудов ИИАЭ НДВ АН СССР. Владивосток; 1989. С. 72-9.
11. Старцев АФ. Культура и быт удэгейцев (вторая половина XIX–XX вв.). Владивосток: Дальнаука; 2005.
12. Старцев АФ. История социально-экономического и культурного развития удэгейцев (середина XIX–XX вв.). Владивосток: Издательство Дальневосточного университета; 2000.
13. Теребихин НМ. Сакральная экология и традиционные знания народов Севера (к постановке проблемы). Экология человека. 2014;(8):57-9.
14. Харючи ГП. Природа в традиционном мировоззрении ненцев. СПб.: Историческая иллюстрация; 2012.
15. Экосистема бассейна реки Бикин: Среда. Человек. Управление. Владивосток: ДВО РАН; 1997.

Общий список литературы/Reference list

1. Arsenyev VK. Lesnye Liudi Udekheytsy. Vladivostok: Knizhnoye Delo; 1926. (In Russ.)
2. Bocharnikov VN, Glushhenko YuN, Mikhaylov KYe, Yegidarev EG. [National Park “Bikin”]. Biota i Sreda Zapovednikov Dalnego Vostoka. 2016;(1):3-24. (In Russ.)
3. Bocharnikova AV. Korennyye Narody i Osobo Okhraniyemye Prirodnye Territorii: Opyt Soupravleniya Prirodnymi Resursami. Moscow: CS KMNS; 2017. (In Russ.)
4. Bocharnikova AV. [Transformation of regulatory institutes related to traditional land use as it occurs among Udege people of Bisin River basin]. Izvestiya RGO. 2017;149(3):73-91. (In Russ.)
5. Bocharnikova AV. [The impact of transformation of institutes of indigenous people of the Far East on changes in policies related to traditional land use in Pozharskiy District of Primoskiy Region]. Vestnik PskovGU. 2019;(15):33-43. (In Russ.)
6. Zvidennaya OO, Novikova NI. Udegeytsy: Okhotniki i Sobirатели Reki Bikin. Moscow: Strategiya; 2010. (In Russ.)
7. Klokov KB. [Traditional land use among Northern peoples: A concept of preservation and development]. Etnogeograficheskiye i Etnoekologicheskiye Issledovaniya. 1997;(5):3-44. (In Russ.)
8. Krupnik II. [Ancient Eskimo whalers in the Arctic: Calf slaughtering or intuitive ecology?]. In: Ekologichaskiye Aspekty Paleoantropologicheskikh i Arkheologicheskikh Rekonstrutsiy. Moscow; 1992. P. 161-78. (In Russ.)
9. Levin MG, Cheboksarov NN. Khoziaystvo-Kulturnye Tipy i Istoriko-Etnograficheskiye Oblasti. Moscow: Sovetskaya Ensyklopedia; 1955. P. 3-17. (In Russ.)
10. Podmaskin VV. [The problem of ethnogeny of Udege people]. In: Problemy Istoriko-Kulturnykh Svязey Narodov Dalnego Vostoka. Vladivostok; 1989. P. 72-9. (In Russ.)
11. Startsev AF. Kultura i Byt Udegeytssev (Vtoraya Polovina XIX-XX vv.). Vladivostok: Dalnauka; 2005. (In Russ.)
12. Startsev AF. Istoriya Sotsialno-Ekonomicheskogo i Kulturnogo Razvitiya Udjegeytsv (Seredina XIX–XX vv.). Vladivostok: Izdatelstvo Dalnevostochnogo Universiteta; 2000. (In Russ.)
13. Terebikhin NM. [Sacral ecology and traditional law of the Northern Peoples: Posing the problem]. Ekologiya Cheloveka. 2014;(8):57-9. (In Russ.)
14. Khariuchi GP. Priroda v Traditsionnom Mirovozzrenii Nentsev. Saint Petersburg: Istoricheskaya Illjustratsiya; 2012. (In Russ.)
15. Ekosistema Basseyna Reki Bikin Sreda Chelovek Upravleniye. Vladivostok: DVO RAN; 1997. (In Russ.)
16. Frankel S. Traditional Knowledge, Indigenous Peoples, and Local Communities. In: The Oxford Handbook of Intellectual Property Law. DOI: 10.1093/oxfordhb/9780198758457.013.33
17. Gladu JP, Brubacher D, Meek C. Aboriginal experiences in Canada – parks and protected areas. Boreal Footprint Project, Taiga Rescue Network; 2003.
18. Gwaii H. National Marine Conservation Area Reserve and Haida Heritage Site Interim Management Plan and Zoning Plan. Canada, 2010.
19. Nepal S. Involving indigenous peoples in protected area management: Comparative perspectives from Nepal, Thailand, and China. Environ Management. 2002;(30):0748-0763.
20. Rassip W, Yunupingu D et al. Indigenous protected areas in Sea Country: Indigenous-driven collaborative marine protected areas in Australia. Aquatic Conserv Mar Freshw Ecosyst. 2019;(S2):1-14. doi: 10.1002/aqc.3052.
21. Sillitoe P. Indigenous peoples, national parks, and protected Areas: A new paradigm linking conservation, culture, and rights. Mountain Res Develop. 2015; 35(3):311-2.
22. Stevens SF. Conservation through Cultural Survival: Indigenous Peoples and Protected Areas. Washington DC: Island Press; 1997.
23. Zurba M, Beazley KF, English E, Buchmann-Duck J. Indigenous protected and conserved areas (IPCA), Aichi Target 11 and Canada’s Pathway to Target 1: Focusing conservation on reconciliation. Land. 2019;8;10; doi:10.3390/land8010010.

УДК 631.4 (470)

ОРГАНИЧЕСКОЕ ЗЕМЛЕДЕЛИЕ В РОССИИ – БЛАГО ИЛИ КАТАСТРОФА?

К.Е. Стекольников

*Воронежский государственный аграрный университет им. императора Петра I, Воронеж, Россия**Эл. почта: soil@agrochem.vsau.ru**Статья поступила в редакцию 18.12.2019; принята к печати 02.03.2020*

Органическое земледелие (ОЗ), активно внедряемое в России, не может быть альтернативой интенсивному земледелию и не станет таковым из-за присущих ему нерешаемых проблем и несоблюдения законов земледелия. ОЗ не позволит соблюсти законы возврата, а его продуктивность будет ограничена законом минимума. ОЗ всегда будет сопровождаться дефицитом фосфора и калия. Внедрение ОЗ не только не обеспечит получение экологически «чистой» продукции, но и не способно произвести необходимое количество продукции для населения России. Утверждения приверженцев ОЗ о безопасности природных руд, которые предлагается использовать для компенсации выноса питательных элементов, не имеет оснований. Почему химический элемент из минерального удобрения опасен, а из природной руды – безопасен? Неужели так кардинально меняется природа и свойства химического элемента? Если следовать логике апологетов ОЗ, то это так. На синтез 1 моля азота симбиотические клубеньковые бактерии затрачивают 20,17 МДж, а технический азот получается при затратах 1,56 МДж, то есть он энергетически в 12,93 раза дешевле. Поэтому все рассуждения приверженцев ОЗ о «бесплатном» азоте безосновательны.

Ключевые слова: *органическое земледелие, круговорот элементов питания, баланс элементов питания, биологический азот, энергетика биологической фиксации азота, плодородие почв, экологическая безопасность продукции.*

ORGANIC AGRICULTURE IN RUSSIA: A GOOD OR A DISASTER?

K.E. Stekolnikov

*Emperor Peter the Great Voronezh State Agrarian University named after, Voronezh, Russia**E-mail: soil@agrochem.vsau.ru*

Organic farming (OF), which is being actively introduced in Russia, cannot be an alternative to intensive agriculture and, because of its inherent unsolvable problems and non-compliance with the laws of agriculture, will not become such an alternative. OF will not provide for compliance with the Law of Return, and its productivity will be limited by the Law of Minimum. OF always will be accompanied by the shortage of phosphorus and potassium. OF introduction will not provide environmentally "clean" products. Moreover, it will be unable to produce enough products for the population of Russia. The claim of OF proponents that natural ores, which are supposed to compensate for nutrient removal, are safe is unsubstantiated. Indeed, why is a chemical element from a mineral fertilizer dangerous, whereas the same from a natural ore is safe? Can the properties of the element change so dramatically? They can, according to OF proponents logics, which thus denies the laws of Nature and science. The symbiotic rhizobia use 20.17 MJ to produce one mole of nitrogen, whereas technical nitrogen is obtained at the cost of 1.56 MJ, i.e. the latter is 12.93 times cheaper in energy terms. Therefore, the argument that OF provides for "gratuitous" nitrogen is false.

Keywords: *organic farming, nutrient cycle, nutrient balance, organic nitrogen, energy, biological nitrogen fixation, soil fertility, environmentally safe products.*

Выдающийся мыслитель XVIII века Жан-Жак Руссо писал: «Единственное средство удержать государство в состоянии независимости... – это сельское хозяйство. Обладай вы хоть всеми богатствами мира, если вам нечем питаться, вы зависите от других. Торговля создает богатство, **а сельское хозяйство обеспечивает свободу**».

«Разве не поразителен факт, что в России, где такая масса роскошнейших земель, урожай наиболее распространенных хлебов – пшеницы, ржи и прочего – в два-три раза ниже, чем в Англии, Голландии, Бельгии, Франции и Германии. Неужели же мы никогда не примем действенных мер к устранению этого поразительного и крайне бедственного для России факта». Эти слова принадлежат В.В. Докучаеву – ученому, создавшему науку почвоведение. И сказаны они в далеком 1886 г. Прошло 130 лет, что изменилось? Ничего. Россия и в XXI веке продолжает так же отставать от развитых стран мира по урожайности сельскохозяйственных культур. Ах да, появилось «органическое земледелие».

13 мая 2017 г. Президент Российской Федерации поручил Правительству РФ до 15 июня внести в Госдуму проект федерального закона «О производстве и обороте органической продукции (продукции органического производства) и внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации». Соответствующий Федеральный закон № 280-ФЗ от 3 августа 2018 г. вступил в силу с января 2020 г. В нем нет никаких особых требований, предъявляемых к качеству готового продукта. Речь идет лишь о способах производства.

Сертификация касается только производства органической продукции, а стандарты безопасности едины для любых пищевых продуктов. Трудно представить ситуацию, при которой на прилавках одни продукты будут безопаснее других. Когда на полке лежит упаковка фабричных яиц ценою 50–70 рублей, а рядом – упаковка яиц от производителя экологически

«чистых» фермерских яиц за 280 рублей, кто может дать гарантию, что фермер не закупил партию фабричных яиц, удалил маркировку и выдал их за свой продукт? Карлу Марксу принадлежит фраза: «Ради получения 300% выгоды капиталист зарежет собственную мать». Неужели природа человека настолько изменилась, что современный капиталист (или фермер) устоит перед соблазном получить 500% прибыли? Автор в это не верит.

Возникает вопрос, откуда же свалилось это «благо»?

В первой четверти XX века австрийский родоначальник антропософии (греч. – «человеческая мудрость») Рудольф Штейнер (1861–1925) полагал, что от недостатков химизации человечество спасет «биодинамическое земледелие». Под этим земледелием понимается поддержание плодородия с помощью компостов, получаемых путем поливания куч растительных остатков фекалиями человека и домашних животных. В последующем эта идея переросла в направление «перманентная культура» (органическое земледелие).

Обратим внимание на то, что автор направления не призывал отказаться от минеральных удобрений, а предлагал только способ покрытия их дефицита. Изначально разумная идея была существенно извращена его последователями.

До 1940-х гг. органическое земледелие не тревожило головы людей. Во время Второй мировой войны в Англии государственные деятели развивали концепцию безминерального питания растений. Для этого была веская причина: шла война, а Великобритания – остров, находившийся в блокаде. Химия – только на нужды войны. Но и после войны продолжились теоретические и практические изыскания в сфере органического земледелия. Хотя, чему тут удивляться, даже алхимия продержалась несколько веков, и были люди, серьезно занимавшиеся ею.

В 1960-е гг. грянула «зеленая революция» – селекционеры создали сорта культур с удвоенной урожайностью. На волне этой революции поднялись вечно голодающие страны – Индия, Пакистан, Мексика и другие. В 1972 г. в Версале была основана Международная Федерация органического сельскохозяйственного движения (IFOAM) – бизнес, однако, и самый изверский – без гарантий.

Цели весьма скромные – насадить свои идеи и завоевать весь мир. Смысл прост – органические «экологически чистые» овощи и фрукты просто обязаны стоить дороже, ибо важны человеческое здоровье, возврат к «истокам», чистая земля и многие другие блага. Да кто бы с этим спорил? Но ведь важен и способ достижения этого «блага», желателен честный и научно обоснованный. А вот с последним просто катастрофа. Вместо науки – заурядный обман.

Высокая стоимость органических продуктов обусловлена не их ценностью, а низкой эффективностью их выращивания. Большие объемы продукции невозможно получить органическими методами ведения хозяйства. Нужны дотации. И они в странах Европы есть. В частности, для производителей органических овощей размер субсидий составляет 625 евро/1 га, в Швейцарии один из самых высоких уровней субсидий, в то время как в Германии данный показатель равен в среднем 500 евро/га. Годовой размер государственных субсидий для производства продукции органического земледелия в Австрии – 600 млн евро. Дотации на 1 га при выращивании овощей – 800 евро/1 га, садов – 508 евро/1 га, пашни – 327 евро.

Ничего подобного нашим фермерам даже не снилось. Вот это и есть реалии органического земледелия.

Но есть еще одно обстоятельство, пожалуй, главное, весьма способствующее продвижению органического земледелия. Начиная с 1990-х годов во всем мире, и особенно в России, стремительно падает уровень образования. Образование общего, заставляющего людей думать и анализировать. Неграмотным населением управлять значительно проще, а значит, и донести до населения какую-либо идею не составляет особого труда. Ложь, повторенная многократно, превращается в правду, особенно для самих лгущих. В качестве наиболее убедительного аргумента для населения используется отсутствие пестицидов в «альтернативной» продукции и снижение загрязнения окружающей среды. Но где гарантия того, что в продукции нет остатков пестицидов, если сертифицируется способ производства, а не сама продукция? Приверженцы органического земледелия (см. например, [6]) оперируют мифами и передержками, и мы это докажем.

Миф № 1. Природа не пашет, и нам не надо.

Но ведь Природа и не убирает, у нее есть только биомасса, которая и остается на месте. А для людей нужен урожай, его надо вырастить, а для этого – посеять, а потом еще и убрать.

Масса трактора – 10–15 т, сеялки – 10–15 т, бункера с семенами и удобрениями – еще 3–5 т, и все это 25–35 т на колесах, по переувлажненной почве. На уборке сахарной свеклы работают только зарубежные комбайны, и очень хорошие. Но собственная масса комбайна немецкой фирмы Холмер с полным бункером – 54 т. То же и с зерноуборочными комбайнами. Дело в том, что масса комбайнов постоянно возрастает с увеличением их мощности и производительности. Масса комбайнов Ростсельмаш варьирует в пределах 11–15 тонн. При объеме бункера 5–7 м³ суммарная масса может превышать 16–22 т. У зарубежных комбайнов она еще выше, они и мощнее, и качественнее, но их масса с зерном достигает 30 т – как у танка 2-й мировой войны, но он на гусеницах.

Последствия известны – верхний слой почвы до глубины 0,5 м превращается в бетон (в сухом состоянии), а сама почва уплотняется на глубину до 1 м и более. Для того чтобы растения развивались нормально, требуется определенное соотношение между основными частями почвы: твердыми частицами, водой и воздухом. Оптимальной будет такая почва, в которой твердые частицы составляют 50%, вода – 30 и воздух – 20%.

Если почва переуплотнена, урожайность резко снижается. Это объясняется тем, что переуплотненная почва плохо впитывает влагу. «Исследования американских специалистов показали, что уплотнение почв в основных зерносеющих районах США снижает урожай хлебов на 8–13%. Во многих странах, в том числе и СССР, были поставлены специальные опыты. Они показали, что уплотнение пылевато-иловатого суглинка трактором, колеса которого давят на землю с силой 2 кг/см², снижает урожайность картофеля более чем на 50%. Имеются данные, что урожай заметно снижается, когда плотность почвы увеличивается всего на 0,01 г/см³» [3]. А нас призывают обойтись без обработки почвы. Итог известен. Наши черноземы за последние 10–15 лет совершенно утратили зернистую структуру, это уже не черноземы.

Миф № 2. Органическое земледелие – самообеспечиваемая система.

А так ли это на самом деле?

Без вмешательства человека природная биосистема действительно замкнутая, самообеспечиваемая – никакого выноса из нее не происходит. Растения либо отмирают и разлагаются здесь же, либо возвращаются в почву через продукты жизнедеятельности животных.

Сельское хозяйство невозможно без выноса большей части биомассы с места произрастания. Желая регулярно получать урожаи, мы регулярно забираем органику и заключенные в ней элементы минерального питания.

Приверженцы органического земледелия игнорируют круговорот элементов питания и нарушение закона возврата. Ведь главное в органическом земледелии – это полный отказ от применения минеральных удобрений и химических средств защиты растений. Последнее мы не будем рассматривать, уделим основное внимание реализации полного отказа от минеральных удобрений. Возможен ли он без нарушения круговорота элементов питания и закона возврата? При ответственном отношении к проблеме ответ однозначен – невозможен. И это не голословное утверждение. Подтвердим это мнениями расчетами.

Нами рассчитан баланс элементов питания за ротацию 6-польного севооборота в стационарном опыте [3]. Опыт был заложен на черноземе выщелоченном, малогумусном среднетяжелосуглинистом в 1987 г. В опыте 15 вариантов. Для проведения исследований нами были выбраны следующие варианты опыта: 1 – контроль абсолютный, 2 – контроль фон (40 т/га навоза), 3 – фон + N60P60K60, 5 – фон + N120P120K120, 13 – фон + 21 т/га дефеката, 15 – дефекат + N60P60K60. Здесь цифры при обозначениях химических элементов означают их количество (т/га). Для расчетов мы учитывали вынос элементов питания с товарной и их возврат в почву с нетоварной частью сельскохозяйственных культур. Данные представлены на рис. 1 и 2.

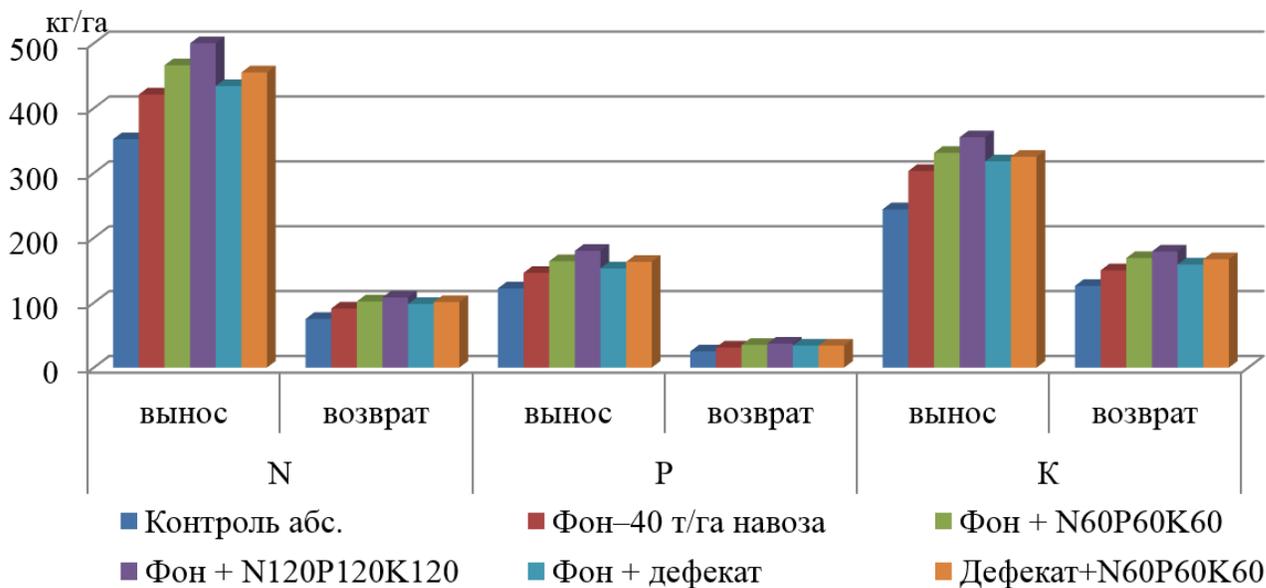


Рис. 1. Вынос и возврат элементов питания за ротацию севооборота (кг/га) [2]

Выбор 6 вариантов из 15 сделан для того, чтобы показать, как влияют системы применения удобрения на вынос и возврат элементов питания. Вариант 1 – экстенсивная система: удобрения не вносятся, урожай формируется за счет естественного плодородия. Вариант 2 – органическая система удобрения. Варианты 3, 5: одинарная (по 60 кг/га азота, фосфора и калия) и двойная доза (по 120 кг/га азота, фосфора и калия) минеральных удобрений по органическому фону – органоминеральная система удобрения. 13 – дефекат (мелиорант для снижения кислотности почвы по органическому фону), 15 – дефекат совместно с одинарной дозой (по 60 кг/га азота, фосфора и калия).

Как следует из рис. 1, вынос элементов питания с товарной частью сельскохозяйственных культур существенно превышает их возврат в почву с нетоварной продукцией.

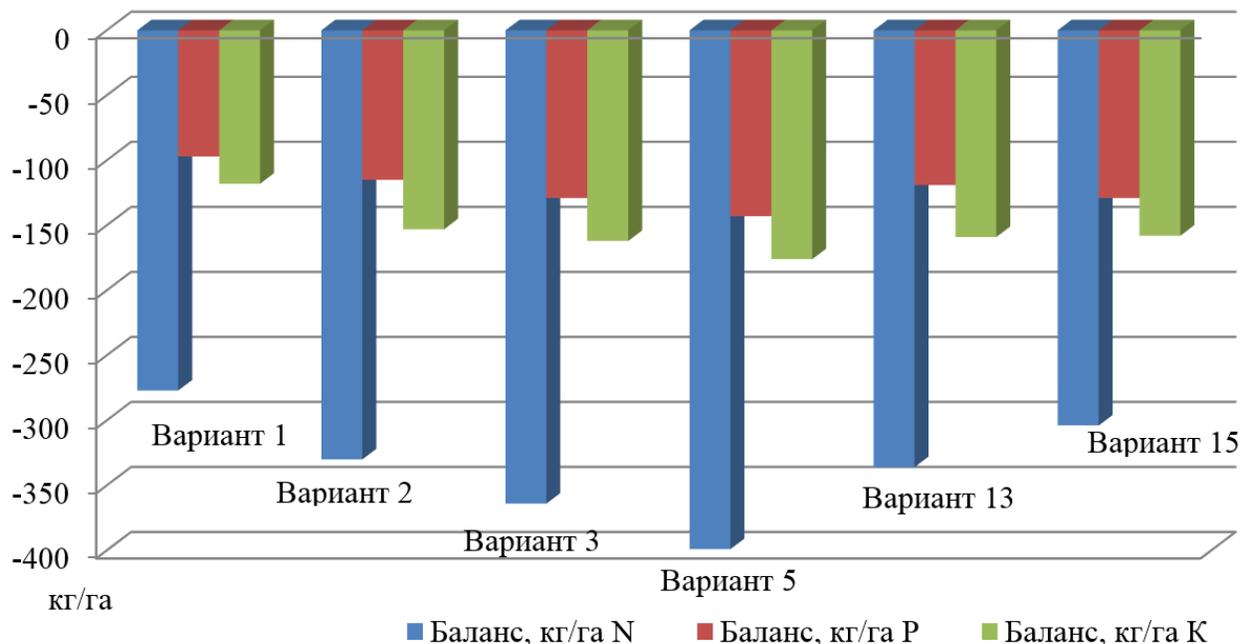


Рис. 2. Баланс элементов питания за ротацию севооборота (кг/га) [3]

Расчет баланса элементов питания показал, что возврат с побочной продукцией составляет: по азоту – 21,3–22,6%, фосфору – 20,5–22,2% и калию – 49,5–51,6%. Из удобренных вариантов наименьший возврат азота и фосфора наблюдается на варианте органоминеральной системы удобрения с двойной дозой минеральных удобрений, а калия – на варианте с органической системой удобрения. На всех вариантах опыта складывается отрицательный баланс по всем элементам питания (рис. 2). Дефицит по азоту составляет 77,4–78,7%, фосфору – 73,8–79,5% и калию – 48,4–50,5%. Как видим, если в органической и органоминеральной системе не достигается даже нулевой баланс элементов питания, то **в биологическом земледелии он просто невозможен.**

Миф № 3. Выращиванием культур (сидератов), предназначенных для последующей заделки в почву с целью улучшить ее структуру, обогатить ее азотом и подавить рост сорняков, можно обеспечить культурные растения оптимально сбалансированным питанием. Так ли это? Рассмотрим это подробнее и обоснуем неверность этого утверждения.

Пример: есть участок почвы определенного химического состава, в котором содержится известное количество органики, химических элементов и соединений. Сею сидераты. Выросшие растения запахали. Вопрос: что добавилось в химическом составе почвы? Ответ – добавились органика и азот. Об азоте чуть позже. Сидераты взяли все химические элементы из почвы, на которой они выросли, а после запахки все вещества в почву и возвратились, то есть взяли в долг и вернули. И только. В почве содержание фосфора, калия и других элементов питания не повысилось даже на миллиграмм. Другое дело, что корневая система сидератов, как биологический насос, перекачала фосфор и калий из нижележащих слоев почвы в верхний слой. Так произошло обогащение верхнего слоя, но в целом в корнеобитаемом слое количество фосфора и калия осталось прежним.

Приверженцы органического земледелия считают, что все бобовые культуры (однолетние и многолетние) обогащают почву азотом. Но не во всех опытах подтверждается факт выделения азотсодержащих соединений из клубеньков в почву. Следует иметь в виду, что ни один вид растений не ставит своей задачей обогащения почвы (субстрата) азотом и/или другими элементами. Ведь в эволюционном развитии бобовые растения «научились» усваивать азот воздуха для того, чтобы выжить в конкурентной борьбе за существование и оставить потомство – **семена, в которые и поступает азот из всех органов растений.** Зачем же им тратить большое количество энергии (углеводов) для фиксации азота, если не для получения собственного потомства, семян и не более.

На рис. 3 показано перераспределение по органам растения кукурузы по фазам вегетации сухого вещества, азота, фосфора и калия [2].

Как следует из данных рис. 3, к концу вегетации в зерне кукурузы сосредотачивается до 38% сухого вещества, более 80% азота и фосфора и до 40% калия. Воспроизводство – это стратегия всего живого на земле, от микробов до человека. И нет другой, более важной задачи, это стратегия выживания.

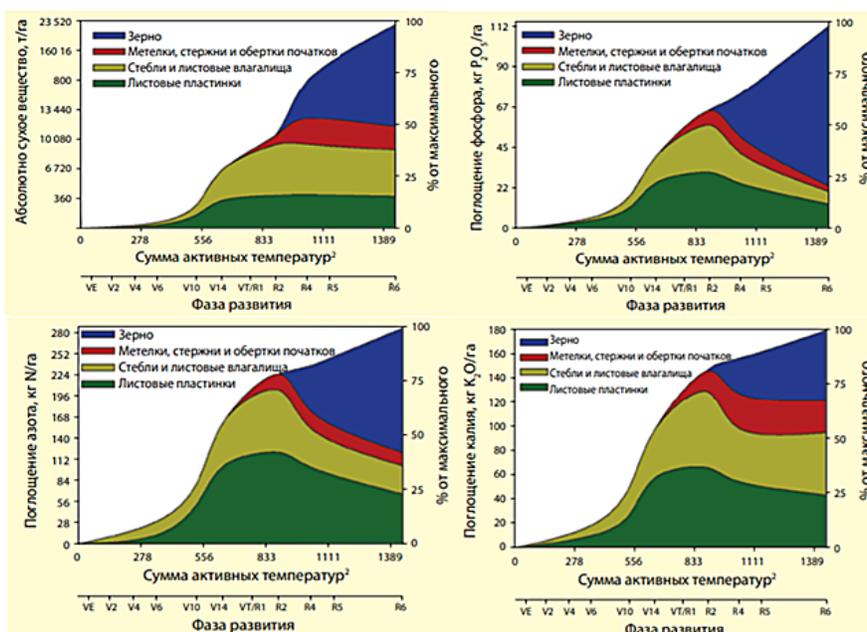


Рис. 3. Перераспределение по органам растения кукурузы по фазам вегетации сухого вещества, азота, фосфора и калия [2]

На фиксацию 1 моля молекул атмосферного азота клубеньковыми бактериями затрачивается 14 молей АТФ, то есть 7 молей глюкозы. А откуда берется эта энергия? Это глюкоза растения-хозяина для симбиотических азотфиксирующих клубеньковых бактерий. Давайте же трезво оценим эти затраты. На синтез 1 кг промышленного аммонийного азота затрачивается 86,6 МДж энергии, а на фиксацию 1 моля атмосферного азота симбиотическими клубеньковыми бактериями затрачивается 14 молей АТФ, то есть 7 молей глюкозы. Вообще-то их требуется 7,5–10 [1, 11]. Но мы проведем расчеты по минимуму, на 7 молей глюкозы. В 1 моле глюкозы (180,16 г) содержится 2881 кДж энергии, а в 7 молях глюкозы (1261,12 г), или 20167 кДж (20,17 МДж). В 1 кг аммонийного азота содержится 55,5 молей, поэтому на синтез 1 моля аммонийного азота расходуется 1,56 МДж энергии. Выходит, что на синтез 1 моля азота симбиотические клубеньковые бактерии затрачивают 20,17 МДж, а технический азот получается при затратах 1,56 МДж, то есть он энергетически в 12,93 раза дешевле!!! Этот процесс необходим для создания полноценных семян и развивается у бобовых растений только при дефиците доступных форм азота и при высоком уровне обеспеченности доступным фосфором и калием, не ниже 4–5 классов, а также подвижного бора и молибдена не ниже средней обеспеченности. При дефиците фосфора, бора и молибдена клубеньки не образуются [1, 11]. Так, может, стоит прекратить фантазии о «даровом» азоте. Ведь 30–50% продуктов фотосинтеза вместо создания урожая тратится на обеспечение элементами питания растения. И эти затраты на элементы питания для растений вынужденные и обусловлены низким уровнем обеспеченности доступными их формами. Почему же ни у кого не возникает естественный вопрос, чем объяснить низкую урожайность бобовых культур 1,5–3,0 т/га по сравнению с зерновыми – 8–12 т/га? Неужели непонятно, что такова плата бобовых культур за «бесплатный» азот. Так, может, надо перестать говорить о «бесплатном», даровом азоте, на получение которого не тратятся невозобновляемые источники энергии. Напомним, что высокие и стабильные урожаи сельскохозяйственных культур в Европе, США и Канаде достигнуты не рассуждениями, а высокими дозами удобрений.

Напомним приверженцам органического земледелия, что Д.Н. Прянишников четко отметил, *в зерновом хозяйстве с урожаем зерна отчуждается больше фосфора, чем с соломой, идущей в навоз* (или оставляемой на поверхности поля). Поэтому в зерновом хозяйстве (да в любом) должно происходить постепенное обеднение почвы фосфором [12]. И Д.Н. Прянишников был не первым, выявившим эту закономерность. Этот дефицитный характер круговорота фосфора был выявлен еще Либихом. Он считал, что навоз, как бы тщательно он ни готовился и как бы регулярно им ни удобряли, *не может вернуть почве того, чего он сам не содержит*, – *фосфора зерна* (любой основной продукции). Именно поэтому Либих предлагал применять фосфаты для устранения дефицита фосфора.

По этому поводу есть аргументированное мнение Г. Канта: «Бобовые культуры связывают атмосферный азот, *но фосфор, калий и кальций в почву не поступают*. Поэтому биологическое хозяйство встает перед проблемой пополнения запасов этих питательных элементов путем закупки фосфатов, доломитовой муки, муки из водорослей, томашлака, а также различного рода отходов». К такому выводу он пришел на основании скрупулезно и добросовестно выполненных исследований более 30 лет назад [5]. Полученные им результаты базируются на круговороте и балансе элементов питания. Это научное исследование, а не призывы о возвращении к Природе.

Табл. 1

Баланс элементов питания в земледелии России [13]

Статьи баланса элементов питания	2006	2007	2008	2009	2010	2011
Внесено элементов питания – всего, млн т д. в.	3,54	3,8	4,85	4,85	4,08	4,54
– с минеральными удобрениями	1,5	1,7	2,2	2,4	2,28	2,44
– с органическими удобрениями	0,67	0,67	0,70	0,75	0,70	0,50
Возврат с соломой и растительными остатками	1,37/15,93*	1,43/15,44	1,95/18,22	1,70/17,35	1,10/15,28	1,60/14,81
Вынос элементов питания, млн т д. в.	8,6	8,7	10,7	9,8	7,2	10,8
Баланс элементов питания, млн т д. в.	–5,0	–4,9	–5,85	–4,95	–3,12	–6,26
Баланс элементов питания, кг/га посевной площади	–66,4	–65,6	–76,0	–65,0	–41,0	–84,0

* – числитель, возврат в млн тонн д. в. (действующего вещества), знаменатель – в %.

Как можно призывать к отказу от применения удобрений, если баланс элементов питания в почвах России и так уже давно отрицательный (см. табл. 1), и пока что другим он быть не может, потому что наши земледельцы и растениеводы *продолжают брать не возвращая*. И это притом что по производству минеральных удобрений Россия занимает одно из ведущих мест в мире. Беда в том, что львиная доля удобрений, на производство которых затрачены огромные ресурсы энергии невозобновляемых источников, идет на экспорт. Поднимаем продуктивность зарубежных производителей. Отечественные и так перебыются, дело привычное.

Органическое земледелие предполагает полный отказ от применения минеральных удобрений. Как следует из данных табл. 1, возврат элементов питания с соломой и растительными остатками, как это предполагается делать в органическом земледелии, не превышает 14,81–18,22%, а дефицит элементов питания соответственно 81,78–85,19%. Каким образом предполагается покрыть этот воистину дичайший дефицит элементов питания в органическом земледелии? Следствие будет только одно – возрастание дефицита элементов питания и деградация почв, *агроистощение*. Но у приверженцев органического земледелия есть своеобразная уловка. Полностью отказываясь от применения минеральных удобрений, они допускают применение естественных агроруд. В том числе и фосфатов. В Воронежской области есть залежи фосфатов [8]. В табл. 2 приводим химический состав местных фосфатов и фосфорных удобрений.

Табл. 2

Содержание ТМ в местных фосфатах и в фосфорных удобрениях, мг/кг (валовые формы)

Элемент	Фосфаты	Фосфорные удобрения	ПДК
As	–	2–1200	2,0
Cd	0,75	0,1–170	3,0
Co	25,3	1–12	5,0
Cr	7,8	65–245	6,0
Cu	8,3	1–300	3,0
F	–	8500–38000	2,8
Hg	0,18	0,01–1,2	2,1
Mn	45	40–2000	1000
Mo	–	0,1–60	–
Ni	16,25	7–38	4,0
Pb	22	7–225	5,1
Se	–	0,5–25	–
Sn	–	3–19	4,5
Zn	21,5	50–1450	23

Как следует из данных табл. 2, местные фосфаты помимо фосфора содержат и тяжелые металлы (ТМ). Сравнение их с фосфорными удобрениями показывает, что различие заключается только в концентрации ТМ. Ведь минеральные фосфорные удобрения в технологическом цикле подвергаются своеобразному концентрированию для повышения содержания P₂O₅. Побочным следствием этого процесса является повышение концентрации ТМ. В местных фосфатах по кобальту, хрому, меди, никелю и свинцу отмечается *многократное превышение ПДК*, как и в фосфорных удобрениях. Утверждения приверженцев органического земледелия о безопасности природных руд, как видим, не имеет оснований. Возникает вопрос, почему химический элемент из минерального удобрения опасен, а из природной руды, органического материала, безопасный? Неужели так кардинально меняется природа и свойства химического элемента? Если следовать

логике апологетов органического земледелия, то это так. Но ведь это уже *средневековье* и *алхимия*. Это полное отрицание законов Природы и науки.

Надо все же помнить, что те же воронежские фосфориты содержат 3,5–15% P_2O_5 . Это значит, что для внесения средней нормы фосфора 60 кг/га потребуется 150 кг двойного суперфосфата, или 600 кг молотого фосфорита, при среднем содержании P_2O_5 10%. И не на всех почвах он будет эффективен. Он эффективен только на кислых, то есть деградированных почвах. На этих почвах ТМ более подвижны и, следовательно, доступны растениям и будут в них накапливаться. О какой же тогда «чистоте» продукции может быть речь? И фосфориты надо еще добыть. В Воронежской области мощность фосфоритов колеблется в пределах 0,3–1,5 м, а средняя мощность – 0,2–0,7 м. Более того, они залегают на глубине от 0,6–0,9 м до нескольких десятков метров. И это не голословные утверждения. Наиболее крупным является Хохольское месторождение, расположенное севернее поселка Хохольский. Средняя мощность плиты – 0,48 м. Продуктивность – 633 кг/м², среднее содержание P_2O_5 в исходной руде – 6,77%. Глубина залегания полезной толщи – от 5,0 до 27,0 м [7]. Так ведь после добычи, которая сопровождается нарушением почвенного покрова, фосфориты надо размолоть и доставить производителю.

А вот это уже приведет к удорожанию конечного продукта. Но ведь платить за это будет не производитель, а потребитель, то есть мы с вами. И это благо? Без гарантии безопасности продукта? А ее и не может быть, потому что конечный продукт не подвергается сертификации, а с природным и «безопасным» фосфатом в почву поступают те же ТМ, что и с минеральными удобрениями. Круг замкнулся. Но потребитель этого не знает, поэтому производитель спокоен, спроса с него и ответственности гарантировано не будет.

Вместо исправления катастрофической обстановки в российском земледелии изобретается очередная «волшебная» палочка, одним взмахом которой будут решены все проблемы. Логика, рассудок и здравый смысл не нужны, когда есть указ Президента России. Мы же все помним известные и так любимые ненавистниками России, выдающими себя за патриотов, слова великого поэта России Ф. Тютчева: «...умом Россию не понять, аршином общим не измерить... в Россию можно только верить». То есть все было бы хорошо, беда в том, *что Россия с умом несовместима*. Блаженны верующие, но ведь когда-то нужно пользоваться и рассудком. Вот тот фон, объективные условия, на которых будет организовано органическое земледелие.

Какой же вывод напрашивается после полученных расчетов? Он прост. Совсем не надо тешить себя мыслями о том, что после бобовых культур в почве может оставаться 150–300 кг/га азота. Надо помнить, что он накапливается в белках бобовых культур и высвобождается после их разложения. Но и после разложения растительных остатков значительная часть азота поглощается микроорганизмами – иммобилизуется. Мобилизация азота микробной массы протекает медленно, за вегетационный период используется всего 30–60% иммобилизованного азота. Растения, таким образом, смогут использовать от 20 до 40–50 кг/га биологического азота [1]. Так ведь биогенный азот может подвергнуться денитрификации и будет просто потерян.

В органическом земледелии отказ от минеральных удобрений основан на замене азота удобрений фиксацией его из атмосферы бобовыми культурами. При этом *фосфор и калий просто выпадают из сферы их внимания*. А ведь человечество стоит на пороге катастрофы. Разведанных запасов сырья для получения фосфорных удобрений хватит по самым оптимистичным прогнозам всего на 50 лет. *Фосфорная проблема становится куда как актуальней, чем азотная*.

И еще одна проблема. Как в органическом земледелии бороться с сорной растительностью, вредителями и болезнями сельскохозяйственных культур? Неужели это возможно биологическими средствами? И это после двух десятилетий интенсивного применения средств химической защиты, когда под их воздействием существенно возросла резистентность новых поколений вредителей и возбудителей болезней. Неужели при нашествии саранчи на органические поля с ней можно будет бороться, посыпая ее табаком?

Миф № 4, и, пожалуй, самый главный – органическое земледелие обеспечит получение экологически «чистой» продукции.

Может ли отказ от применения минеральных удобрений и химических средств защиты растений в течение 3 лет обеспечить получение экологически «чистой» продукции? Мы умышленно взяли в кавычки выражение «чистой», потому что это просто безграмотно. Речь может идти только об экологически безопасной продукции, и это – не игра слов. И еще один вопрос. О качестве питания. Магазины, виноват, маркеты, переполнены продуктами. Неужели в России наступила пора вожделенного изобилия? Но это ведь дважды псевдоизобилие.

Во-первых, это тот редкий случай, когда в России сработал один из рыночных законов – цена продукта и покупательская способность населения. Она бесспорно низкая для большей части населения. Мы уже отмечали, что по урожайности зерновых культур Россия безнадежно и позорно отстает от всех развитых стран, средняя урожайность зерновых в 3–4 раза ниже, чем в Европе. Средний россиянин, живущий за пределами Москвы и Санкт-Петербурга, тратит на питание не менее 30–50% семейного бюджета.

Во-вторых, какие это продукты? Россия вышла на 1-е место по экспорту зерна. Однако для населения России хлеб пекут из *фуражного зерна*. Опять же по причине дешевизны и возможности получать высокую прибыль. Новое поколение россиян уже привыкли к тому, что колбаса – это мясо-содержащий продукт, сыр – молоко-содержащий продукт, есть растительные сливки!!! Как это вам? Или творог, в котором животный жир замещен растительным маслом. Этот вопрос

должен возникнуть у любого человека, посмотревшего состав продукта. Как же так получается, что в составе мясо-содержащего продукта, без указания их доли, перечислены такие ингредиенты, как мука, крахмал, белок (чаще всего соевый), мясо птицы и так далее. Ведь они имеют только одно достоинство – дешевизну. Почему же в таком случае продукт, содержащий в основном дешевые, не мясные ингредиенты, *дороже мяса*? Законы рынка не работают?

Жители России превращены в животных третьего сорта по качеству продуктов питания. Корм для кошек содержит более 80% мясных ингредиентов, корм для собак готовится по старинным семейным рецептам!!! А вот в тушенке для человека содержание жира и мяса составляет 40–50%, без указания их соотношения. Мало того, в тушеной говядине есть свиная шкура!!! Так может теперь-то уж качество органических продуктов кардинально изменится? А может, Карл Маркс все же был прав? Карлу Марксу принадлежит фраза: «Ради получения 300% выгоды капиталист зарежет собственную мать». Неужели природа человека настолько изменилась, что современный капиталист устоит перед соблазном получить 500% прибыли? Автор в это не верит. В стране, где фальсифицируется все и вся, рассчитывать на добросовестность производителей органических продуктов просто несерьезное занятие.

Объявить экологически «чистой» продукцию органического земледелия только на том основании, что не применяются минеральные удобрения, можно. Но где гарантия? Может ли россиянин обратиться в независимую лабораторию и проверить качество продукта? Нет, по причине отсутствия таких лабораторий. А средства массовой информации регулярно сообщают о фальсификации продуктов питания, лекарств и т. д., и т. п. Зададим вопрос, а возможно ли в принципе получить экологически «чистую» продукцию? Ответим – нет. И докажем это.

Теперь о перспективах органического земледелия.

Прежде чем организовывать органическое земледелие, нужно хорошо изучить состав и свойства почв, на которых предполагается внедрять его. А вот достоверных сведений о состоянии наших почв, и прежде всего пашни, в России нет. Как нет и государственной службы, способной это обеспечить. Сведения, которые представляет агрохимическая служба, не могут использоваться для обоснования возможности организации органического земледелия в России. И это прежде всего потому, что изучается только пахотный слой 20–30 см. Но ведь корни растений проникают на глубину 1,5–3 м. Так ведь и мощность преобладающих почв России 2–5 м. **Что содержится в этой толще – сие тайна великая есть.** А ведь состояние земель России назвать благополучным невозможно, если иметь в виду приведенные ниже сведения [10].

Основная площадь земель России 1709,6 млн га, из них пашни – 120 млн га, или 0,89 га на душу населения, при этом:

- 36 млн га пашни подвержены эрозии;
- 2,5 млн га повреждены оврагами;
- 38 млн га переувлажнены;
- 40 млн га засолены;
- 62 млн га загрязнены выбросами промышленных предприятий;
- 1 млн га подвержен техническим разрушениям;
- 3 млн га находятся под свалкой;
- 0,74 млн га превращены в техногенную пустыню;
- 3 млн га загрязнены радионуклидами от аварии в Чернобыле.

Почвы России, мало того что деградированы, они еще и загрязнены – каждый второй гектар (62 млн из 120 млн га). Как на них можно получать экологически «чистую» продукцию? Ведь законы биологии никто не отменял. Надо все же помнить о существовании трофической цепи и о законах превращения вещества и энергии, наконец, о биогенной аккумуляции:

Почва	→	Растение	→	Животное	→	Человек
Х. э. – 0,001%		Х. э. – 0,01%		Х. э. – 0,1%		Х. э. – 1,0%

Представим, что в почве содержится какой-то химический элемент в указанном выше количестве (0,001%). Растение, избирательно поглощая этот элемент, повышает его концентрацию на порядок. Растительная продукция используется на корм животным, и в теле животного концентрация элемента повышается еще на порядок. Если даже остановиться на этом звене, то концентрация химического элемента в животном и его навозе будет в 100 раз выше, чем в почве.

По данным табл. 3 в живых организмах аккумулируются 37 химических элементов, в том числе и тяжелые металлы. Они неминуемо поступают в живые организмы, включая человека (см. табл. 3), потому что необходимы для нормального развития. О какой же тогда «чистоте» может быть речь? Ежедневно с пищей в организм человека должно поступать 17 химических элементов (см. табл. 4) [9], и тяжелые металлы тоже (см. трофическую цепь).

Поэтому надо прекратить врать; не надо позориться обещаниями невозможного. Экологическая «чистота» невозможна, речь может быть только об *экологически безопасной* продукции. Учитывая все выше изложенное, следует, по крайней мере, усомниться в возможности получения таковой продукции.

Табл. 3

Средний элементный состав живого вещества, % живого веса по Виноградову [4]

Группа	Содержание, %	Химические элементы
Макроэлементы	10^1	O, H
	10^0-10^1	C, N, Ca
	$10^{-1}-10^0$	S, P, K, Si
	$10^{-2}-10^{-1}$	Mg, Fe, Na, Cl, Al
Микроэлементы	$10^{-3}-10^{-2}$	Zn, Br, Mn, Cu
	$10^{-4}-10^{-3}$	J, As, B, F, Pb, Ti, V, Cr, Ni, Sr
Ультраэлементы	$10^{-5}-10^{-4}$	Ag, Co, Ba, Th
	$10^{-5}-10^{-6}$	Au, Rb
	$10^{-11}-10^{-6}$	Hg, U
	$10^{-12}-10^{-11}$	Ra

Табл. 4

Суточное поступление химических элементов в организм человека (по Ю.Н. Кукушкину, 1998 [9])

Элемент	Взрослые	Дети	Элемент	Взрослые	Дети
K	2000–5500	530	Cr	0,05–0,2	0,04
Na	1100–3300	260	Co	Около 0,2 (витамин B ₁₂)	0,001
Ca	800–1200	420			
Mg	300–400	60	Cl	3200	470
Zn	15	5	P ₂ O ₅	800–1200	210
Fe	10–15	7	SO ₄ ⁻²	10	–
Mn	2,0–5,0	1,3	I	0,15	0,07
Cu	1,5–3,0	1	Se	0,05–0,07	–
Mo	0,075–0,250	0,06	F	1,5–4,0	0,6

Миф № 5 – обеспечить изобилие продуктов высокого качества.

И это тоже недостижимо по простой причине, которая изложена в самом начале работы. Продуктивность пашни России остается в несколько раз ниже, чем в развитых странах. Органическое земледелие, в том виде, как оно пропагандируется, может только усугубить ситуацию.

Дороговизна органических продуктов делает их недоступными для широких слоев населения. Это общеизвестный факт. Так что, России опять угрожает голод? И вновь нас ждет голод организованный, по благородным побуждениям, это такая забота о здоровье людей?

Таким образом, выгодный проект с экологически «чистым» питанием постепенно завоевывает планету. Автор недаром выделил особенность экологического питания. Экологическая Афера, именуемая «органическим земледелием», – товар, как мы уже показали, забугорный. В обмен на внедрение у нас отсталого, неэффективного сельхозпроизводства Запад вывозит из России 90% наших минеральных удобрений.

И последнее. Казалось бы, при отказе от применения дорогих минеральных удобрений и средств защиты растений должны бы снизиться затраты на производство органической продукции. Но они оказываются наоборот выше, почему? Ответ понятен. Высокая стоимость продукции органического земледелия призвана компенсировать его низкую продуктивность. Это только в интересах производителя, и это – полное игнорирование интересов массового потребителя. В таком случае в России вновь сработает закон рынка – несоответствие цен на продукты покупательской способности населения. Он ведь уже работает в России, не признавать это просто глупо.

Сохранение почв, основного национального достояния, – главная задача государства и людей, в нем живущих. А сохраним ли мы их при таком отношении, когда игнорируются законы Природы, но остаются только призывы к ее сохранению и копированию?

Нам, почвоведом, понятна озабоченность И.А. Крупеникова судьбой чернозема: «Моя научная жизнь, особенно с середины прошлого века, тесно и на многие годы связала меня с черноземом... Наблюдая его в течение 70 лет в разных регионах Евразии, особенно в Молдове, я с сожалением, даже горечью, должен признать, что на моих глазах чернозем за эти десятилетия очень много потерял: утратил во многом свою силу, мощь и красоту, перестал щедро вознаграждать труд

землепашца, экологически и экономически оскудел... Жаль до слез, если люди в конце нашего века уничтожат это великое, неповторимое чудо природы – чернозем – такой красивый среди почв, вековечный кормилец» [8]. Уже уничтожили.

ЛИТЕРАТУРА

Список русскоязычной литературы

1. Бабьева ИП, Зенова ГМ. Биология почв. М.: Изд-во МГУ, 1982.
2. Бендер РР, Хаегеле ДжВ, Руффо МЛ, Белоу ФЕ. Динамика поглощения элементов питания современными гибридами кукурузы. URL: <http://eeca-ru.ipni.net/article/EECARU-2231>.
3. Верзилина НД, Стекольников КЕ. Проблемы органического земледелия в ЦЧР. В кн.: Биологизация земледелия: перспективы и реальные возможности. Воронеж; 2019. С. 45-56.
4. Виноградов АП. Геохимия редких и рассеянных химических элементов в почвах. М.: Изд-во АН СССР; 1957.
5. Кант Г. Биологическое растениеводство: возможности биологических агросистем. М.: Агропромиздат; 1988.
6. Коршунов СА, Любошедская АА, Асатурова АМ, Исмаилов ВЯ, Коноваленко ЛЮ. Органическое сельское хозяйство: инновационные технологии, опыт, перспективы: научно-аналитический обзор. М.: Росинформагротех; 2019.
7. Крайнов АВ, Горюшкин ВВ. Фосфориты района Латненского месторождения (Воронежская область). Возможности использования. Вестник ВГУ Сер Геол. 2017;(3):24-9.
8. Крупеников ИА. Черноземы. Возникновение, совершенство, трагедия деградации, пути охраны и возрождения. Кишинев: Pontos; 2008.
9. Кукушкин ЮН. Химические элементы в организме человека. Соросовский образовательный журнал. 1998;(5):54-8.
10. Лойко ПФ. Земельный потенциал мира и России: пути глобализации его использования в XXI веке. М.: Федеральный кадастровый центр «Земля»; 2000.
11. Пейве ЯВ. Биохимия почв. М.: Гос. Изд-во с.-х. литературы, журналов и плакатов; 1961.
12. Прянишников ДН. Агрохимия. М.: Сельхозгиз; 1934.
13. Чекмарев ПА. Состояние плодородия почв и мероприятия по его повышению в 2012 г. Агрохимический вестник. 2012;(1):2-4.

Общий список литературы/Reference list

1. Babyeva IP, Zenova GM. *Biologiya Pochv*. Moscow: MGU; 1982. (In Russ.)
2. Bender RR, Haegle JW, Ruffo ML, Below FE. Nutrient uptake, partitioning, and remobilization in modern, transgenic insect-protected maize hybrids. *Agronomy J.*, 2013;105:161-70. doi:[10.2134/agronj2012.0352](https://doi.org/10.2134/agronj2012.0352)
3. Verzilina ND, Stekolnikov KE. [Problems of organic agriculture in the Central Chernozem Region]. In: *Biologizatsiya Zemledeliya Perspektivy i Realnye Vozmozhnosti*. Voronezh; 2019. P. 45-56. (In Russ.)
4. Vinogradov AP. *Geokhimiya Redkikh i Rasseyannykh Khimicheskikh Elementov v Pochvakh*. Moscow: Izd-vo AN SSSR; 1957. (In Russ.)
5. Kant G. *Biologicheskoye Rasteniyevodstvo Vosmozhnosti Biologicheskikh Agrosistem*. Moscow: Agropromizdat; 1988. (In Russ.)
6. Korshunov SA, Liubovedskaya AA, Asaturova AM, Ismailov VYa, Konovalenko LYu. *Organicheskoye Selskoye Khoziaystvo: Innovatsionnye Tekhnologii, Opyt, Perspektivy: Nauchno-Analyticheskiy Obzor*. Moscow: Rosinformagrotekh; 2019. (In Russ.)
7. Krainov AV, Goriushin VV. [Phosphorites of Latnenskiy deposit (Voronezhskaya Oblast). Possibilities for their exploitation]. *Vestnik VGU Ser Geol.* 2017;(3):24-9. (In Russ.)
8. Krupenikov IA. *Chernozemy. Vozniknoveniye, Sovershenstvo, Tragediya Degradatsii, Puti Okhrany i Vosrozhdeniya*. Chişinău: Pontos; 2008. (In Russ.)
9. Kukushkin YuN. [Chemical elements in human body]. *Sorosovskiy Obrazovatelnyy Zhurnal*. 1998;(5):54-8. (In Russ.)
10. Loyko PF. *Zemelnyy Potentsial Mira i Rossii: Puti Gloibalizatsii Yego Ispolzovaniya v XXI Veke*. Moscow: Federalnyi Kadastryy Tsentr "Zemlia"; 2000. (In Russ.)
11. Peyve YaV. *Biokhimiya Pochv*. Moscow: Izdatelstvo Selskokhoziaystvennoy Literatuty, Zgurnalov i Plakatov; 1961. (In Russ.)
12. Prianishnikov DN. *Agrokhimiya*. Moscow: Selkhozgiz; 1934. (In Russ.)
13. Chekmarev PA. [The conditions of soil fertility and the measures aimed to increase it in 2012]. *Agrokhimicheskii Vestnik*. 2012;(1)2-4. (In Russ.)

ПРИЛОЖЕНИЯ

Новые книги по материалам публикаций в журнале «Биосфера»

Я спросила у Н. И. Вавилова — почему расщепления гибридов между яровыми и озимыми формами дают все, что угодно, но не 3:1 по Менделю. «Так и должно быть», — ответил Николай Иванович, — 3:1 — это пошлость! Как правило, в более сложных скрещиваниях должны иметь место более сложные числовые отношения».

С. П. Зыбина. «Учитель на всю жизнь» («Природа». 1987. № 10, с. 105)



«Заблуждение не перестает быть заблуждением от того, что большинство разделяет его» (Л. Н. Толстой)

 <p>ДРАГАВЦЕВ Виктор Александрович Академик РАН, Заслуженный деятель науки России, эксперт РАН, профессор генетики. Автор 530 научных публикаций, включая 20 книг</p>	 <p>МАЛЕЦКИЙ Станислав Игнатьевич Доктор биологических наук, профессор; специалист в области генетики растений, эпигенетики и теории эволюции</p>	 <p>ПОПОВ Евгений Борисович Биолог, окончил биофак ЛГУ, аспирантуру АН СССР, автор научных статей и ряда книг по истории и теории биозволюции</p>
---	---	---

Автор романа «Крестный отец» Марио Пьюзо справедливо заметил: «Знаменитыми не рождаются — ими становятся». Это относится и к прорывным открытиям, описанным в этой книге: чтобы начать приносить пользу, они тоже нуждаются в поддержке.

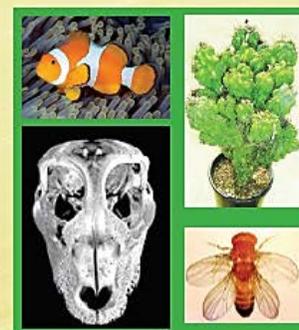
Эконики повезло: её соавторами по праву можно считать депутата Государственной Думы РФ, члена Комитета по экологии и охране окружающей среды ГД РФ В. П. Драчёва, Председателя комиссии по экологии и природопользованию Законодательного собрания Ленинградской области Н. А. Кузьмина и Председателя Совета директоров группы компаний «МИР» (мобилизация интеллектуальных ресурсов) М. В. Арёфьева.

Е. Б. ПОПОВ

В. А. ДРАГАВЦЕВ

С. И. МАЛЕЦКИЙ

 <p>ДРАЧЁВ Владимир Петрович</p>	 <p>КУЗЬМИН Николай Алексеевич</p>	 <p>АРЕФЬЕВ Михаил Викторович</p>
---	---	--



Санкт-Петербург
Издательско-полиграфическая ассоциация
высших учебных заведений
2020

Драгавцев В.А. УРОКИ ЭВОЛЮЦИИ ГЕНЕТИКИ РАСТЕНИЙ. _____ *Биосфера. 2012;4(3):251-62*

Драгавцев В.А. КАК ПОМОЧЬ НАКОРМИТЬ ЧЕЛОВЕЧЕСТВО. _____ *Биосфера. 2013;5(3):279-90*

Драгавцев В.А., Малецкий С.И. ЭВОЛЮЦИЯ ПАРАДИГМ НАСЛЕДОВАНИЯ И РАЗВИТИЯ И ИХ ВЕДУЩАЯ РОЛЬ В СОЗДАНИИ ИННОВАЦИОННЫХ СЕЛЕКЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ. _____ *Биосфера. 2015;7(2):155-69*

Драгавцев В.А., Малецкий С.И. ПУТИ «ГЕНЫ-ПРИЗНАКИ» НЕИСПОВЕДИМЫ. _____ *Биосфера;2016;8(2):143-50*

Драгавцев В.А. СЕЛЕКЦИОННАЯ РАБОТА ДОЛЖНА ОБЕСПЕЧИВАТЬ ПРОДОВОЛЬСТВЕННУЮ БЕЗОПАСНОСТЬ С УПРЕЖДЕНИЕМ ГЛОБАЛЬНЫХ ИЗМЕНЕНИЙ КЛИМАТА. _____ *Биосфера. 2019;11(1):A4-A7*

© ФОНД НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ «XXI ВЕК»
РОССИЙСКАЯ ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ АКАДЕМИЯ

БИОСФЕРА

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



МЕЖДИСЦИПЛИНАРНЫЙ НАУЧНЫЙ
И ПРИКЛАДНОЙ ЖУРНАЛ

БИОСФЕРА

Т. 12, № 1-2 Санкт-Петербург 2020