



ИД «Академия Естествознания»

УСПЕХИ СОВРЕМЕННОГО ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ

Научный журнал

№ 1 2024



ADVANCES IN CURRENT NATURAL SCIENCES

Scientific journal

No. 1 2024



PH Academy of Natural History

Успехи современного естествознания

Научный журнал

Журнал издается с 2001 года.

Журнал зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций. Свидетельство – ПИ № ФС 77-63398.

«Успехи современного естествознания» – рецензируемый научный журнал, в котором публикуются статьи обладающие научной новизной, представляющие собой результаты завершённых исследований, проблемного или научно-практического характера, научные обзоры.

Журнал включен в действующий Перечень рецензируемых научных изданий (ВАК РФ). К2.

Журнал ориентируется на профессиональных работников сельского хозяйства, экологов, научных сотрудников, специалистов в смежных областях знаний, занимающихся изучением наук о земле.

Основные научные направления: 1.6. Науки о Земле и окружающей среде, 2.8. Недропользование и горные науки, 4.1. Агрономия, лесное и водное хозяйство.

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР

Ледванов Михаил Юрьевич, д.м.н., профессор

Технический редактор

Доронкина Е.Н.

ЗАМ. ГЛАВНОГО РЕДАКТОРА

Курзанов Анатолий Николаевич, д.м.н., профессор

Корректор

Галенкина Е.С.,

ОТВЕТСТВЕННЫЙ СЕКРЕТАРЬ

Бизенкова Мария Николаевна, к.м.н.

Дудкина Н.А.

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

д.с.-х.н., доцент *Абдулвалеев Р.Р.* (Уфа); д.г.-м.н., проф., *Абилхасимов Х.Б.* (Астана); д.т.н., проф. *Айдосов А.* (Алматы); д.г.-м.н., проф., *Алексеев С.В.* (Иркутск); д.х.н., проф., *Алоев В.З.* (Нальчик); д.г.н., проф. *Андреев С.С.* (Ростов-на-Дону); д.г.н., доцент, *Андреева Е.С.* (Ростов-на-Дону); д.с.-х.н., доцент *Анищенко Л.Н.* (Брянск); д.с.-х.н., проф. *Байрамбеков Ш.Б.* (Камызяк); д.т.н., проф. *Бейсембаев К.М.* (Караганда); д.т.н., проф. *Белозеров В.В.* (Ростов-на-Дону); д.б.н., доцент *Белоус О.Г.* (Сочи); д.с.-х.н., проф. *Берсон Г.З.* (Великий Новгород); д.г.-м.н., проф. *Бондарев В.И.* (Екатеринбург); д.т.н., профессор *Галкин А.Ф.* (Ухта); д.г.-м.н., проф. *Гавришин А.И.* (Новочеркасск); д.с.-х.н., *Горбачева А.Г.* (Пятигорск); д.с.-х.н., *Горянин О.И.* (Самара); д.г.-м.н., проф. *Гусев А.И.* (Бийск); д.с.-х.н., проф. *Данилин И.М.* (Красноярск); д.б.н., доцент *Долгов А.В.* (Мурманск); д.э.н., проф. *Долятовский В.А.* (Ростов-на-Дону); д.х.н., проф. *Дресвянников А.Ф.* (Казань); д.г.н., проф. *Егорина А.В.* (Усть-Каменогорск); д.т.н., проф. *Ерофеев В.И.* (Томск); д.с.-х.н., проф. *Залесов С.В.* (Екатеринбург); д.с.-х.н., доцент *Захарченко А.В.* (Томск); д.с.-х.н., проф. *Зволинский В.П.* (Волгоград); д.х.н., проф. *Ивашикевич А.Н.* (Москва); д.б.н., доцент *Кавецкий Н.Н.* (Мурманск); д.т.н., проф. *Калякин С.А.* (Донецк); д.с.-х.н., проф. *Караев М.К.* (Махачкала); д.г.-м.н., проф. *Кашаев А.А.* (Иркутск); д.ф.-м.н., проф. *Кобрунов А.И.* (Ухта); д.г.-м.н., доцент *Копылов И.С.* (Пермь); д.г.-м.н., проф. *Костицын В.И.* (Пермь); д.с.-х.н., проф. *Костылев П.И.* (Зерноград); д.э.н., проф. *Косыкова И.В.* (Самара); д.с.-х.н., *Коцарева Н.В.* (Белгород); д.т.н., доцент *Кузьяков О.Н.* (Тюмень); д.г.-м.н., проф. *Кучеренко И.В.* (Томск); д.б.н., проф. *Ларионов М.В.* (Саратов); д.г.-м.н., проф. *Лебедев В.И.* (Кызыл); д.ф.-м.н., проф. *Лерер А.М.* (Ростов-на-Дону); д.г.н., проф. *Луговской А.М.* (Москва); д.г.-м.н., проф. *Мельников А.И.* (Иркутск); д.т.н., проф. *Мусаев В.К.* (Москва); д.т.н., доцент *Нехорошева А.В.* (Ханты-Мансийск); д.с.-х.н., *Никитин С.Н.* (Ульяновск); д.с.-х.н., *Оказова З.П.* (Владикавказ); д.с.-х.н., проф. *Партоев К.* (Душанбе); д.с.-х.н., проф. *Петелько А.И.* (Миценск); д.т.н., проф. *Петров М.Н.* (Красноярск); д.т.н., проф. *Пирумян Г.П.* (Ереван); д.с.-х.н., проф. *Проездов П.Н.* (Саратов); д.г.-м.н., проф. *Сакеев К.С.* (Бишкек); д.б.н. *Сибикеев С.Н.* (Саратов); д.с.-х.н., доцент *Сокольская О.Б.* (Саратов); д.т.н., проф. *Степанов В.В.* (Санкт-Петербург); д.т.н., проф. *Тарасенко А.А.* (Тюмень); д.т.н. *Теплухин В.К.* (Октябрьский); д.э.н., проф. *Титов В.А.* (Москва); д.с.-х.н., проф. *Титов В.Н.* (Саратов); д.с.-х.н., проф. *Тихановский А.Н.* (Салехард); д.г.-м.н., проф. *Трофименко С.В.* (Нернунгри); д.т.н., проф. *Ульрих Е.В.* (Кемерово); д.г.н., проф. *Чодураев Т.М.* (Бишкек); д.с.-х.н., проф. *Шамшиев Б.Н.* (Ош); д.т.н., проф. *Шантарин В.Д.* (Тюмень); д.т.н., проф. *Шатов А.А.* (Уфа); д.ф.-м.н., проф. *Ширатов Д.Ш.* (Улан-Удэ); д.т.н., проф. *Шишелова Т.И.* (Иркутск); д.ф.-м.н., проф. *Шузунов Л.Ж.* (Нальчик); д.г.-м.н., проф. *Юргенсон Г.А.* (Чита); д.т.н., проф. *Яковенко Н.В.* (Воронеж); д.т.н., проф. *Ямалетдинова К.Ш.* (Челябинск)

ISSN 1681-7494

Электронная версия: <http://www.natural-sciences.ru>

Правила для авторов: <http://www.natural-sciences.ru/ru/rules/index>

Двухлетний импакт-фактор РИНЦ = 0,775

Пятилетний импакт-фактор РИНЦ = 0,368

Периодичность

12 номеров в год

Учредитель, издатель и редакция

ООО ИД «Академия Естествознания»

Почтовый адрес

105037, г. Москва, а/я 47

Адрес редакции и издателя

440026, г. Пенза, ул. Лермонтова, 3

Типография

ООО «НИЦ Академия Естествознания»
410035, г. Саратов, ул. Мамонтовой, 5

E-mail

edition@rae.ru

Телефон

+7 (499) 705-72-30

Подписано в печать

31.01.2024

Дата выхода номера

29.02.2024

Формат

60x90 1/8

Усл. печ. л.

10,75

Тираж

1000 экз.

Заказ

УСЕ 2024/1

Распространяется по свободной цене

Подписной индекс в электронном каталоге «Почта России»: П7816

© ООО ИД «Академия Естествознания»

Advances in current natural sciences

Scientific journal

The journal has been published since 2001.

The journal is registered by the Federal Service for Supervision of Communications, Information Technology and Mass Communications. Certificate – PI No. FS 77-63398.

«Advances in current natural sciences» is a peer-reviewed scientific journal that publishes articles of scientific novelty, which are the results of completed research, of a problematic or scientific-practical nature, scientific reviews.

The journal is included in the current List of peer-reviewed scientific publications (HCC RF). K2.

The journal is aimed at professional agricultural workers, environmentalists, researchers, specialists in related fields of study geosciences.

Main scientific directions: 1.6. Earth and environmental sciences, 2.8. Subsoil use and mining sciences, 4.1. Agronomy, forestry and water management.

CHIEF EDITOR

Ledvanov Mikhail Yurievich, Dr. Sci. (Medical), Prof.

Technical editor

Doronkina E.N.

DEPUTY CHIEF EDITOR

Kurzanov Anatoly Nikolaevich, Dr. Sci. (Medical), Prof.

Corrector

Galenkina E.S.,

Dudkina N.A.

EXECUTIVE SECRETARY

Bizenkova Maria Nikolaevna, Cand. Sci. (Medical)

EDITORIAL BOARD

D.Sc., Docent *Abdulvaleev R.R.* (Ufa); D.Sc., Prof. *Abilkhasimov Kh.B.* (Astana); D.Sc., Prof. *Aidosov A.* (Almaty); D.Sc., Prof. *Alekseev S.V.* (Irkutsk); D.Sc., Prof. *Aloev V.Z.* (Nalchik); D.Sc., Prof. *Andreev S.S.* (Rostov-on-Don); D.Sc., Docent, *Andreeva E.S.* (Rostov-on-Don); D.Sc., Docent *Anishchenko L.N.* (Bryansk); D.Sc., Prof. *Bayrambekov Sh.B.* (Kamyzyak); D.Sc., Prof. *Beisembaev K.M.* (Karaganda); D.Sc., Prof. *Belozеров V.V.* (Rostov-on-Don); D.Sc., Docent *Belous O.G.* (Sochi); D.Sc., Prof. *Berson G.Z.* (Velikiy Novgorod); D.Sc., Prof. *Bondarev V.I.* (Ekaterinburg); D.Sc., Prof. *Galkin A.F.* (Ukhta); D.Sc., Prof. *Gavrishin A.I.* (Novocheboksarsk); D.Sc. *Gorbacheva A.G.* (Pyatigorsk); D.Sc. *Goryanin O.I.* (Samara); D.Sc., Prof. *Gusev A.I.* (Biysk); D.Sc., Prof. *Danilin I.M.* (Krasnoyarsk); D.Sc., Docent *Dolgov A.V.* (Murmansk); D.Sc., Prof. *Dolyatovsky V.A.* (Rostov-on-Don); D.Sc., Prof. *Dresvyannikov A.F.* (Kazan); D.Sc., Prof. *Egorina A.V.* (Ust-Kamenogorsk); D.Sc., Prof. *Erofeev V.I.* (Tomsk); D.Sc., Prof. *Zalesov S.V.* (Ekaterinburg); D.Sc., Docent *Zakharchenko A.V.* (Tomsk); D.Sc., Prof. *Zvolinsky V.P.* (Volgograd); D.Sc., Prof. *Ivashkevich A.N.* (Moscow); D.Sc., Docent *Kavtsevich N.N.* (Murmansk); D.Sc., Prof. *Kalyakin S.A.* (Donetsk); D.Sc., Prof. *Karaev M.K.* (Makhachkala); D.Sc., Prof. *Kashaev A.A.* (Irkutsk); D.Sc., Prof. *Kobrunov A.I.* (Ukhta); D.Sc., Docent *Kopylov I.S.* (Perm); D.Sc., Prof. *Kostitsyn V.I.* (Perm); D.Sc., Prof. *Kostylev P.I.* (Zernograd); D.Sc., Prof. *Kosyakova I.V.* (Samara); D.Sc., *Kotsareva N.V.* (Belgorod); D.Sc., Docent *Kuzuyakov O.N.* (Tyumen); D.Sc., Prof. *Kucherenko I.V.* (Tomsk); D.Sc., Prof. *Larionov M.V.* (Saratov); D.Sc., Prof. *Lebedev V.I.* (Kyzyl); D.Sc., Prof. *Lerer A.M.* (Rostov-on-Don); D.Sc., Prof. *Lugovskoy A.M.* (Moscow); D.Sc., Prof. *Melnikov A.I.* (Irkutsk); D.Sc., Prof. *Musaev V.K.* (Moscow); D.Sc., Docent *Nehorosheva A.V.* (Khanty-Mansiysk); D.Sc. *Nikitin S.N.* (Ulyanovsk); D.Sc. *Okazova Z.P.* (Vladikavkaz); D.Sc., Prof. *Partoev K.* (Dushanbe); D.Sc., Prof. *Petelko A.I.* (Mtsensk); D.Sc., Prof. *Petrov M.N.* (Krasnoyarsk); D.Sc., Prof. *Pirumyan G.P.* (Yerevan); D.Sc., Prof. *Proezdov P.N.* (Saratov); D.Sc., Prof. *Sakiev K.S.* (Bishkek); D.Sc. *Sibikeev S.N.* (Saratov); D.Sc., Docent *Sokolskaya O.B.* (Saratov); D.Sc., Prof. *Stepanov V.V.* (Saint Petersburg); D.Sc., Prof. *Tarasenko A.A.* (Tyumen); D.Sc. *Teplukhin V.K.* (Oktyabr'skiy); D.Sc., Prof. *Titov V.A.* (Moscow); D.Sc., Prof. *Titov V.N.* (Saratov); D.Sc., Prof. *Tikhonovskiy A.N.* (Salekhard); D.Sc., Prof. *Trofimenko S.V.* (Neryungri); D.Sc., Prof. *Ulrich E.V.* (Kemerovo); D.Sc., Prof. *Choduraev T.M.* (Bishkek); D.Sc., Prof. *Shamshiev B.N.* (Osh); D.Sc., Prof. *Shantarin V.D.* (Tyumen); D.Sc., Prof. *Shatov A.A.* (Ufa); D.Sc., Prof. *Shirapov D.Sh.* (Ulan-Ude); D.Sc., Prof. *Shishelova T.I.* (Irkutsk); D.Sc., Prof. *Shugunov L.Zh.* (Nalchik); D.Sc., Prof. *Yurgenson G.A.* (Chita); D.Sc., Prof. *Yakovenko N.V.* (Voronezh); D.Sc., Prof. *Yamaletdinova K.Sh.* (Chelyabinsk)

ISSN 1681-7494

Electronic version: <http://www.natural-sciences.ru>

Rules for authors: <http://www.natural-sciences.ru/ru/rules/index>

Impact-factor RISQ (two-year) = 0,775

Impact-factor RISQ (five-year) = 0,368

| | |
|---------------------------------|---|
| Periodicity | 12 issues per year |
| Founder, publisher and editors | LLC PH Academy of Natural History |
| Mailing address | 105037, Moscow, p.o. box 47 |
| Editorial and publisher address | 440026, Penza, st. Lermontov, 3 |
| Printing house | LLC SPC Academy of Natural History 410035, Saratov, st. Mamontova, 5 |
| E-mail | edition@rae.ru |
| Signed for print | 31.01.2024 |
| Format | 60x90 1/8 |
| Circulation | 1000 copies |
| Telephone | +7 (499) 705-72-30 |
| Number issue date | 29.02.2024 |
| Conditionally printed sheets | 10,75 |
| Order | YCE 2024/1 |

Distribution at a free price

Subscription index in the Russian Post electronic catalog: P7816

© LLC PH Academy of Natural History

СОДЕРЖАНИЕ

Сельскохозяйственные науки (4.1.1. Общее земледелие и растениеводство)

СТАТЬЯ

ЗАМАЧИВАНИЕ ЗЕРНА В ВОДНОЙ СУСПЕНЗИИ БЕНТОНитОВОЙ
ГЛИНЫ УСКОРЯЕТ ПРОЦЕСС ПОГЛОЩЕНИЯ ИМ ВОДЫ

Сумина А.В., Полонский В.И., Бортников С.В.8

Сельскохозяйственные науки (4.1.6. Лесоведение, лесоводство, лесные культуры, агролесомелиорация, озеленение, лесная пирология и таксация)

СТАТЬЯ

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ГИБРИДЫ СОСНЫ *PINUS L.* И ДУБА *QUERCUS L.*
ДЛЯ СУХОЙ СТЕПИ НИЖНЕГО ПОВОЛЖЬЯ

Иозус А.П., Завьялов А.А., Бойко С.Ю.14

Сельскохозяйственные науки (4.1.3. Агрехимия, агропочвоведение, защита и карантин растений)

СТАТЬЯ

ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ ФУНГИЦИДОВ ПРОТИВ МУЧНИСТОЙ РОСЫ
НА ТРЕХЛЕТНЕМ ДУБЕ ЧЕРЕШЧАТОМ

*Олива Т.В., Котлярова Е.Г., Акинчин А.В., Колесниченко Е.Ю.,
Морозова Е.В., Гайфутдинова А.В.*20

Географические науки (1.6.8, 1.6.12, 1.6.13, 1.6.21)

СТАТЬИ

ТРАНСФОРМАЦИЯ ЛЕСНОГО ОПАДА В РАЗЛИЧНЫХ СУБСТРАТНЫХ
УСЛОВИЯХ НОВООБРАЗОВАННЫХ ПОЧВ БЕЛЛИГЕРАТИВНЫХ
ЛАНДШАФТОВ

Голеусов П.В.28

ПРОЕКТИРОВАНИЕ УЧЕБНОГО ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МАРШРУТА
ПО ТЕРРИТОРИИ БОТАНИЧЕСКОГО САДА ИМЕНИ И.С. КОСЕНКО
ДЛЯ МАЛОМОБИЛЬНЫХ ОБУЧАЮЩИХСЯ

Максименко А.Г., Хмара И.В., Колесникова И.П.35

Геолого-минералогические науки (1.6.3, 1.6.5, 1.6.6, 1.6.10, 1.6.12, 1.6.17, 1.6.21)

СТАТЬЯ

ИЗМЕНЕНИЕ СВОЙСТВ ГУМИНОВЫХ ВЕЩЕСТВ ВЕРХОВОГО
ТОРФА В ПРОЦЕССЕ ДЕГИДРАТАЦИИ

*Селянина С.Б., Зубов И.Н., Орлов А.С., Пономарева Т.И., Скрыбина А.О.,
Шпанов Д.А., Соколова И.В., Чайковская О.Н., Федорова А.А.*41

Технические науки (1.6.7, 1.6.9, 1.6.16, 2.8.1, 2.8.6, 2.8.7, 2.8.9)
СТАТЬИ

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ РАСЧЕТА ПОТЕРЬ ДАВЛЕНИЯ
ПРИ ТЕЧЕНИИ ВОДОУГОЛЬНОЙ СРЕДЫ В ПРОЦЕССЕ
УТИЛИЗАЦИИ ОТХОДОВ УГЛЕБОГАЩЕНИЯ

Капустин Д.А., Нечай Т.А.47

ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ТОРФОВ И ЗАТОРФОВАННЫХ
ПЕСЧАНЫХ ГРУНТОВ

*Протодьяконова Н.А., Степанов А.В., Тимофеев А.М.,
Кравцова О.Н., Таптырова Н.И.*52

КОМПЛЕКСНОЕ ИЗУЧЕНИЕ СТАБИЛЬНО ПРЯМО И ОБРАТНО
НАМАГНИЧЕННЫХ ГОРНЫХ ПОРОД КАРАЧАЕВО-ЧЕРКЕССИИ
(СЕВЕРНЫЙ КАВКАЗ)

Урусова Б.И., Лайпанов У.М., Узденов Ш.Х.58

Технические науки (1.16.18. Науки об атмосфере и климате)
СТАТЬЯ

СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ И СРЕДСТВА МОНИТОРИНГА
ГРОЗОВОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Керефова З.М., Аджиева А.А., Кортиев А.Л., Гятов Р.А.64

Технические науки (1.6.19. Аэрокосмические исследования Земли, фотограмметрия)
СТАТЬЯ

ТЕХНОЛОГИИ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ
С ПРИМЕНЕНИЕМ БЕСПИЛОТНЫХ ВОЗДУШНЫХ СУДОВ

Осинцева М.А., Рада А.О., Кузнецов А.Д.74

Биологические науки (1.5.15. Экология, 1.5.16. Гидробиология)
СТАТЬЯ

ВЛИЯНИЕ СОЛЕННОСТИ НА ПРОРАСТАНИЕ СЕМЯН РАСТЕНИЙ-
ГАЛОФИТОВ ЛИТОРАЛИ БЕЛОГО МОРЯ: ОЦЕНКА ПЛАСТИЧНОСТИ

Марковская Е.Ф., Терехова Е.Н., Павлова М.А.80

CONTENTS

Agricultural Sciences (4.1.1. General Agriculture and Plant Growing)

ARTICLES

SOAKING THE GRAIN IN AN AQUEOUS SUSPENSION
OF BENTONITE CLAY ACCELERATES THE PROCESS
OF ABSORPTION OF WATER BY IT

Sumina A.V., Polonskiy V.I., Bortnikov S.V.8

Agricultural sciences (4.1.6. Forestry, forestry, forest crops, agroforestry improvement, greening, forest pyrology and taxation)

ARTICLE

PROMISING HYBRIDS OF PINE PINUS L. AND OAK QUERCUS L.
FOR THE DRY STEPPE OF THE LOWER VOLGA REGION

Iozus A.P., Zavyalov A.A., Boyko S.Yu.14

Agricultural sciences (4.1.3. Agrochemistry, agro-soil science, plant protection and quarantine)

ARTICLE

EXPERIENCE OF USING FUNGICIDES AGAINST POWDERY
MILDEW ON THREE-YEAR-OLD PETIOLATE OAK

*Oliva T.V., Kotlyarova E.G., Akinchin A.V., Kolesnichenko E.Yu.,
Morozova E.V., Gayfutdinova A.V.*20

Geographical sciences (1.6.8, 1.6.12, 1.6.13, 1.6.21)

ARTICLES

TRANSFORMATION OF FOREST LITTER IN DIFFERENT
SUBSTRATE CONDITIONS OF NEWLY FORMED SOILS
OF BELLIGERATIVE LANDSCAPES

Goleusov P.V.28

DESIGN OF AN EDUCATIONAL ECOLOGICAL ROUTE THROUGH
THE TERRITORY OF THE BOTANICAL GARDEN NAMED AFTER
I.S. KOSENKO FOR LIMITED MOBILE STUDENTS

Maksimenco A.G., Khmara I.V., Kolesnikova I.P.35

Geological and mineralogical sciences (1.6.3, 1.6.5, 1.6.6, 1.6.10, 1.6.12, 1.6.17, 1.6.21)

ARTICLE

CHANGES IN THE PROPERTIES OF HUMIC SUBSTANCES
OF HIGH-MOOR PEAT DURING DEHYDRATION

*Selyanina S.B., Zubov I.N., Orlov A.S., Ponomareva T.I., Skryabina A.O.,
Shpanov D.A., Sokolova I.V., Chaykovskaya O.N., Fedorova A.A.*41

Technical sciences (1.6.7, 1.6.9, 1.6.16, 2.8.1, 2.8.6, 2.8.7, 2.8.9)
ARTICLES

RESEARCH OF METHODS FOR CALCULATING PRESSURE LOSS
DURING COAL-WATER FLOW IN THE PROCESS OF COAL WASTE
RECYCLING

Kapustin D.A., Nechay T.A.47

THERMOPHYSICAL PROPERTIES OF PEAT AND PEATY SAND SOILS

Protodyakonova N.A., Stepanov A.V., Timofeev A.M., Kravtsova O.N., Tappyrova N.I.52

COMPREHENSIVE STUDY OF STABLY DIRECTLY AND INVERSELY
MAGNETIZED ROCKS OF KARACHAY-CHERKESSIA (NORTH CAUCASUS)

Urusova B.I., Laipanov U.M., Uzdenov Sh.Kh.58

Technical Sciences (1.16.18. Atmospheric and Climate Sciences)
ARTICLE

MODERN METHODS AND TOOLS FOR MONITORING
LIGHTNING ACTIVITY

Kerefova Z.M., Adzhieva A.A., Kortiev A.L., Gyatov R.A.64

Technical sciences (1.6.19. Aerospace exploration of the Earth, photogrammetry)
ARTICLE

LAND REMOTE SENSING TECHNOLOGIES USING UNMANNED
AERIAL VEHICLES

Osintseva M.A., Rada A.O., Kuznetsov A.D.74

Biological sciences (1.5.15. Ecology, 1.5.16. Hydrobiology)
ARTICLE

THE INFLUENCE OF SALINITY ON THE GERMINATION OF SEEDS
OF HALOPHYTE PLANTS IN THE LITTOREL ZONE OF THE WHITE
SEA: ASSESSMENT OF PLASTICITY

Markovskaya E.F., Terebova E.N., Pavlova M.A.80

СТАТЬЯ

УДК 631.895:633.11/.13/.16
DOI 10.17513/use.38200

ЗАМАЧИВАНИЕ ЗЕРНА В ВОДНОЙ СУСПЕНЗИИ БЕНТОНИТОВОЙ ГЛИНЫ УСКОРЯЕТ ПРОЦЕСС ПОГЛОЩЕНИЯ ИМ ВОДЫ

^{1,2}Сумина А.В., ²Полонский В.И., ¹Бортников С.В.

¹ФГБОУ ВО «Хакасский государственный университет имени Н.Ф. Катанова», Абакан,
e-mail: alenasumina@list.ru;

²ФГБОУ ВО «Красноярский государственный аграрный университет», Красноярск

Целью настоящего исследования является анализ зависимости скорости начального поглощения воды зерном овса ярового, ячменя ярового и пшеницы яровой мягкой при его выдерживании в водных суспензиях различных форм бентонита. В работе использовали водные суспензии бентопорошка: исходную (карьерную) глину (0,5 г на 100 мл воды), активированную карбонатом натрия глину в той же концентрации, активированную глину с добавлением глицина. В контроле применяли дистиллированную воду. Эксперименты выполняли с зерном ячменя ярового (сорт Биом), овса ярового (сорт Тубинский) и пшеницы яровой мягкой (сорт Алтайская 70). Ежеминутно измеряли динамику поглощения воды сухим зерном (навеска 50 г) в течение первых 5 мин от начала его замачивания. Во всех вариантах с суспензией бентонита по сравнению с контролем установлены более высокие темпы поглощения воды зерном в первую минуту его замачивания. Опыт превышал контроль в 2,2 (ячмень), 2,4 (овес) и 4,3 раза (пшеница). После замачивания в течение 5 мин средние различия между опытными вариантами, с одной стороны, и контролем, с другой, составили 11 (пшеница яровая мягкая), 40 (ячмень яровой) и 62% (овес яровой). Предложен вероятный механизм зарегистрированного эффекта. При замачивании зерна в суспензии глины возможно отложение твердых частиц внутри капилляров, сопровождающееся сужением последних. Вследствие эффекта уменьшения радиуса капилляров интенсивность поглощения воды зерном из суспензии глины может увеличиться. Добавление ионов натрия и аминокислоты глицина (так называемое активирование бентонитовой глины) способствует некоторому дальнейшему повышению темпов поглощения воды, по-видимому, из-за увеличения адгезии и смачиваемости капилляров в веществе зерна.

Ключевые слова: бентонит, поглощение воды, зерно, овес, пшеница, ячмень

Исследование выполнено за счет гранта Министерства образования и науки Республики Хакасия (Соглашение № 104 от 10.10.2023).

SOAKING THE GRAIN IN AN AQUEOUS SUSPENSION OF BENTONITE CLAY ACCELERATES THE PROCESS OF ABSORPTION OF WATER BY IT

^{1,2}Sumina A.V., ²Polonskiy V.I., ¹Bortnikov S.V.

¹N.F. Katanov Khakass State University, Abakan, e-mail: alenasumina@list.ru;

²Krasnoyarsk State Agrarian University, Krasnoyarsk

The purpose of this study is to analyze the dependence of the rate of initial absorption of water by grain of oats, barley and wheat when it is kept in aqueous suspensions of various forms of bentonite. Water suspensions of bentopowder were used in the work: initial (quarry) clay (0.5 g per 100 ml of water), activated clay with sodium carbonate in the same concentration, activated clay with the addition of glycine. Distilled water was used in the control. Experiments were carried out with barley grain (Biom variety), oats (Tubinsky variety) and wheat (Altayskaya 70 variety). The dynamics of water absorption by dry grain (50 g weight) was measured every minute during the first 5 minutes from the start of its soaking. In all variants with bentonite suspension, higher rates of water absorption by grain in the first minute of its soaking were established in comparison with the control. The experiment exceeded the control by 2.2 times (barley), 2.4 times (oats) and 4.3 times (wheat). After soaking for 5 minutes, the average differences between the experimental variants on the one hand and the control on the other were 11 (wheat), 40 (barley) and 62% (oats). A probable mechanism of the registered effect is proposed. When the grain is soaked in a clay suspension, solid particles may be deposited inside the capillaries, accompanied by a narrowing of the latter. Due to the effect of reducing the radius of the capillaries, the intensity of water absorption by the grain from the clay suspension may increase. Addition of sodium ions and the amino acid glycine (the so-called activation of bentonite clay) contributes to some further increase in the rate of water absorption, apparently due to an increase in the adhesion and wettability of capillaries in the grain substance.

Keywords: bentonite, water absorption, grain, oats, wheat, barley

The research was supported by a grant from the Ministry of Education and Science of the Republic of Khakassia (Agreement No. 104 dated October 10, 2023).

Изменение климатических показателей, особенно в плане выпадения осадков, оказывает заметное влияние на количество и качество урожая большинства выращиваемых культур, особенно в полусухих и аридных регионах, где нехватка воды является существенным ограничивающим фактором в сельскохозяйственном производстве. Ценность продукции растениеводства определяется не только общим количеством воды и эффективностью ее использования, но также зависит от характера распределения осадков в течение вегетационного периода [1].

Зрелое зерно обычно содержит от 86 до 90% сухого материала, главным образом состоящего из углеводов (таких как крахмал, клетчатка, декстрины и сахара), белков, различных витаминов, жиров и минералов. Эти минералы при сжигании образуют зольный остаток. Чтобы процесс прорастания зерна был возможен, содержание воды в нем должно быть минимум 50%. Прорастание зерна становится практически невозможным, если влажность почвы составляет менее 30% от ее полной водоудерживающей способности [2].

При этом семена, которые уже высохли, быстро впитывают влагу и увеличиваются в размере. Если деление и рост клеток зародыша еще не начались, семена можно высушить снова, и они не потеряют свою способность к прорастанию. Это значит, что процесс поглощения воды обратим [3]. Семена зерновых культур начинают поглощать воду, как только вступают в контакт с ней [4]. Химический состав семян разных культур и их биологические характеристики определяют различное требование к количеству необходимой для прорастания поглощенной воды. Эта величина, например, у ячменя равна 48,2% от сухой массы [5]. Скорость впитывания воды зависит от характеристик семян, таких как размер и масса, анатомическое строение, способ поступления воды в семя, проницаемость семенной оболочки и химический состав. Также на скорость влияют поверхность семени, вступающая в контакт с водой, и температура. Генетические факторы также оказывают значительное влияние на процесс поступления воды в семена [2].

Выявлена и последовательность проникновения воды в семена. После набухания кожуры начинается процесс набухания семядолей и гипокотыля, в результате чего их поверхность также заметно возрастает. В этот период происходит биохимическая

подготовка роста, которая затем проявляется в интенсивном удлинении корешка, пронизывающего растянутую кожуру со скоростью около 0,1 мм/ч [3].

Как известно, с эффективным поглощением и использованием воды растительным организмом связана активность его метаболических процессов и, как следствие, продуктивность и устойчивость к действию неблагоприятных экологических факторов. На уровне целого растения указанные изменения сопровождаются, как правило, стимуляцией роста корневой системы [6]. Главный фактор, обеспечивающий полноценные условия для прорастания семян, – это необходимое количество в них воды [2]. Принято считать, что прорастание предопределяется активацией метаболизма, происходящей перед наклеванием семени [7].

Уже при влажности от 20 до 25% в осевых органах запускается первичный обмен веществ. В диапазоне значений влажности от 40 до 55%, по-видимому, начинает синтезироваться белок на запасенной матричной РНК с использованием всех компонентов системы синтеза белка, которые были накоплены при созревании, а также синтезируется матричная РНК семян, обеспечивая выполнение всей генетической программы прорастания. В этом диапазоне влажности также активизируется процесс дыхания, который объясняется завершением процесса образования митохондрий и началом мобилизации крахмала и запасенного белка в семенах. К концу этапа активации обмена веществ в клетках осевых органов подготавливается энергетическое обеспечение для последующих событий и начинается гидролиз запасных веществ. Поступление воды в осевые органы происходит до достижения влажности 55–60% за счет «физического» набухания. Таким образом, активация метаболизма в семенах при наличии влаги в почве происходит всегда [2].

Первый этап прорастания семян представляет собой процесс активации метаболизма, который длится от начала контакта семени с водой до завершения «физического» набухания. Последний обеспечивается за счет механизма капиллярного поглощения влаги, функционирующего вследствие наличия низкого матричного потенциала сухого семени. Установлено, что семена, поглотившие воду в большем количестве в первые четыре часа, оказались более продуктивными [2]. Поэтому агроприемы, способствующие большему относительному поглощению воды семенами, могут быть

эффективными в плане повышения продуктивности культурных растений.

Бентонит – это филлосиликатная глина, состоящая преимущественно из монтмориллонита, экологичный природный материал, обладающий отличными адсорбционными свойствами, и поэтому его можно использовать в качестве естественного и нетоксичного удобрения для почвы. Исследования показали, что применение бентонита повышает влагоудерживающую способность почвы и эффективность использования воды в сельскохозяйственных культурах [8]. Результаты изучения влияния бентонита на темпы поглощения воды семенами при их замачивании нам не удалось встретить в доступной литературе.

Цель исследования состоит в анализе зависимости скорости начального поглощения воды семенами при выдерживании их в водных суспензиях различных форм бентонита.

Материалы и методы исследования

В качестве экспериментальных вариантов были взяты водные суспензии бентопошка (табл. 1): активированной карбонатом натрия глины (0,5 г на 100 мл воды), активированной глины с добавлением глицина, исходной (карьерной) глины в той же концентрации. В контроле использовалась дистиллированная вода.

В экспериментах использовали зерно ячменя (сорт Биом), овса (сорт Тубинский) и пшеницы (сорт Алтайская 70), выращенное на территории Бейского района Республики Хакасия в 2022 г.

Таблица 1

Описание модельных систем

| № | Используемые варианты систем |
|---|---|
| 1 | Дистиллированная вода |
| 2 | Водная суспензия исходной глины (кальциевая форма бентонита) |
| 3 | Водная суспензия активированной глины (натриевая форма бентонита) |
| 4 | Водная суспензия активированной глины + глицин |

В работе были проведены измерения динамики относительного поглощения водных растворов модельных систем зерном указанных выше сельскохозяйственных культур. Суть подхода состояла в анализе динамики поглощения воды зерном в течение первых 5 минут от начала его замачива-

ния. Для этого навеску сухих зерен каждого образца по 50 г (точность измерения 0,1 г) помещали в сосуд с соответствующим раствором ($t = 18-20$ °С). Затем с интервалом 1 мин извлекали из сосуда зерно, промокали его фильтровальной бумагой и взвешивали. После чего по формуле рассчитывали относительное поглощение жидкости зерном за каждую минуту экспозиции:

$$\text{ОПВ} = [(M_{\text{кон}} - M_{\text{нач}}) / M_{\text{нач}}] \times 100\%,$$

где $M_{\text{кон}}$ – масса зерна после процедуры замачивания за каждую минуту; $M_{\text{нач}}$ – исходная масса сухого зерна [9].

Результаты исследования и их обсуждение

Полученные данные представлены на рис. 1–3 и в табл. 2. Результаты говорят, что во всех вариантах с суспензией бентонита по сравнению с контролем существуют более высокие темпы поглощения воды зерном в первую минуту его замачивания. Исходя из табл. 2, по рассматриваемому показателю опытные варианты отличались от контроля в 2,2 раза (яровой ячмень), 2,4 (яровой овес) и 4,3 раза (яровая мягкая пшеница). Подчеркнем, что полученный эффект мало зависел от вида растений. Далее в рассматриваемом физическом процессе с течением времени наблюдаемый разрыв между опытными вариантами, с одной стороны, и контролем, с другой, продолжал увеличиваться. Особенно это заметно у пленчатых зерновых культур – яровых овса и ячменя.

После замачивания в течение 5 мин средние различия между опытными вариантами, с одной стороны, и контролем, с другой, составили 11% (пшеница яровая мягкая), 40% (ячмень яровой) и 62% (овес яровой). Среди вариантов с применением бентонитовой суспензии различия в регистрируемом поглощении воды зерном были относительно слабые.

Каковы возможные механизмы наблюдаемого в работе эффекта? Семя в состоянии покоя представляет собой систему капилляров, пронизывающих сухое органическое вещество, и в первые минуты оно поглощает воду только за счет капиллярных сил, по градиенту так называемого матричного потенциала. Хорошо известно, что капиллярное давление математически выражается прямой зависимостью от поверхностного натяжения жидкости и обратной зависимостью от радиуса капилляра и плотности используемой жидкости.

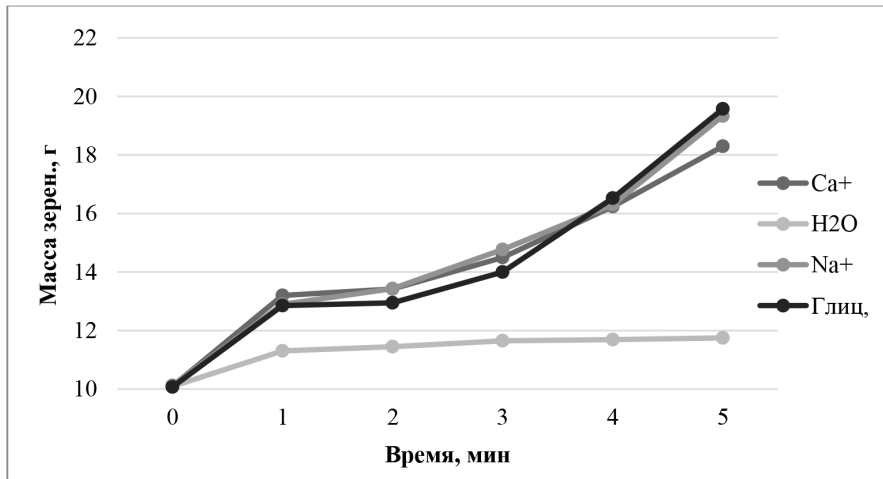


Рис. 1. Поглощение зерном овса ярового воды и растворов на основе бентонита

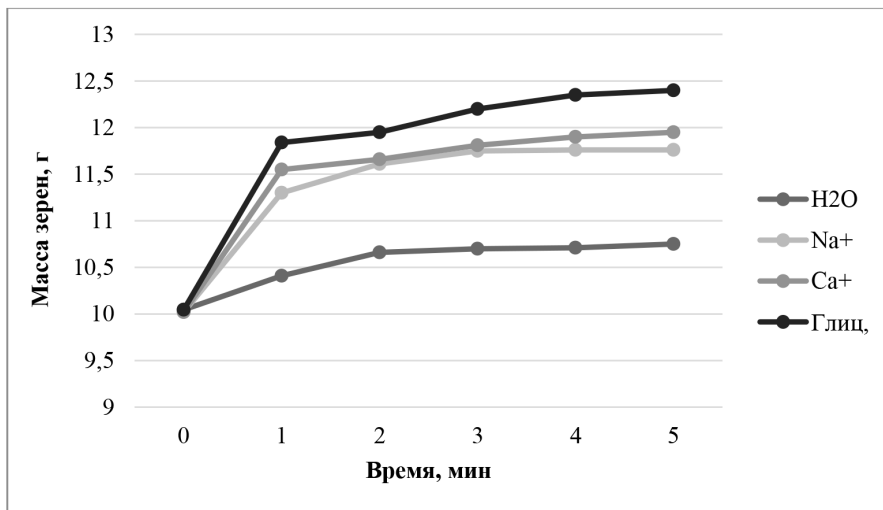


Рис. 2. Поглощение зерном яровой мягкой пшеницы воды и растворов на основе бентонита

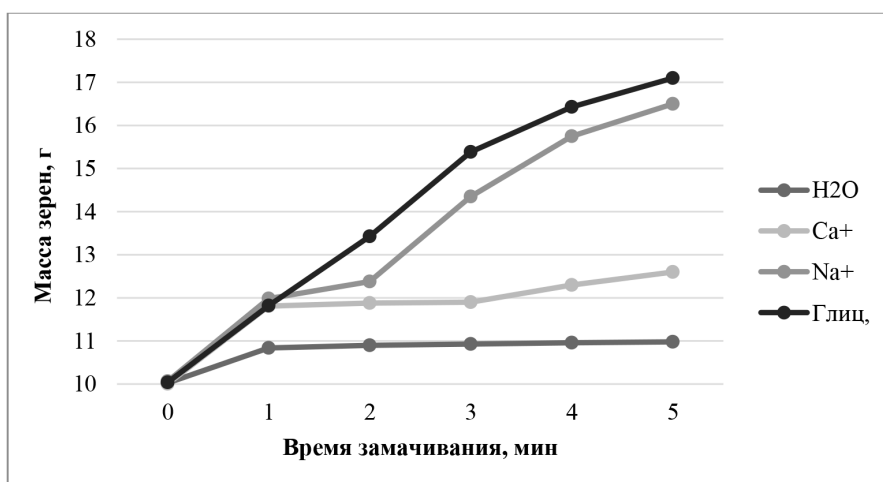


Рис. 3. Поглощение зерном ячменя ярового воды и растворов на основе бентонита

Таблица 2

Поглощение модельных растворов зерном различных культур

| Раствор | Изменение массы по минутам, % | | | | |
|-----------------------|-------------------------------|-------|-------|--------|-------|
| | 0–1 | 1–2 | 2–3 | 3–4 | 4–5 |
| Пшеница яровая мягкая | | | | | |
| H ₂ O | 3,63 | 2,40 | 0,38 | 0,09 | 0,37 |
| Ca ⁺ | 12,77 | 2,74 | 1,21 | 0,09 | 0,85 |
| Na ⁺ | 15,27 | 0,95 | 1,29 | 0,76 | 0,42 |
| Глицин | 17,87 | 0,93 | 2,09 | 1,23 | 0,40 |
| Овес яровой | | | | | |
| H ₂ O | 11,99 | 1,28 | 1,75 | 0,34 | 0,51 |
| Ca ⁺ | 27,41 | 4,11 | 9,98 | 10,39 | 10,55 |
| Na ⁺ | 30,63 | 1,67 | 8,05 | 12 | 12,65 |
| Глицин | 27,59 | 0,74 | 8,11 | 18,032 | 18,45 |
| Ячмень яровой | | | | | |
| H ₂ O | 8,13 | 0,55 | 0,28 | 0,274 | 0,18 |
| Ca ⁺ | 18,04 | 0,59 | 0,17 | 3,361 | 2,44 |
| Na ⁺ | 19,08 | 3,3 | 15,91 | 9,756 | 4,76 |
| Глицин | 17,73 | 13,58 | 14,6 | 6,792 | 4,08 |

С одной стороны, весьма вероятно, что поверхностное натяжение используемых водных суспензий глины будет ниже по сравнению с чистой водой, а плотность таковых будет превышать плотность дистиллированной воды. И первое, и второе должно сопровождаться снижением темпов поглощения воды зерном в опытных вариантах. Но в экспериментах отмечается противоположный эффект. Следовательно, ни поверхностное натяжение, ни плотность используемых суспензий глины не имеют отношения к регистрируемому экспериментальному факту.

С другой стороны, при замачивании зерна в суспензии глины возможно отложение частиц глины внутри капилляров, сопровождающееся их сужением. Вследствие эффекта уменьшения радиуса капилляров интенсивность поглощения воды зерном из суспензии глины может увеличиться. Добавление ионов натрия и аминокислоты глицина (так называемое активирование бентонитовой глины) способствует некоторому дальнейшему повышению темпов поглощения воды, по-видимому, вследствие увеличения адгезии и смачиваемости капилляров.

Таким образом, в результате проведенных исследований были получены новые знания, касающиеся вопроса прайминга

зерна в части изучения механизма начального поглощения воды и растворов на ее основе. Было установлено, что добавление ионов натрия и аминокислоты глицина (так называемое активирование бентонитовой глины) способствует повышению темпов поглощения зерном водных растворов в исследуемом временном интервале, по сравнению с дистиллированной водой, что может быть связано с увеличением адгезии и смачиваемости капилляров. Анализ современной научной литературы подчеркивает большой потенциал фундаментальных и прикладных исследований по изучению механизмов праймирования зерна как варианта, улучшающего его качественные и количественные характеристики, а также повышающего устойчивость к неблагоприятным факторам окружающей среды.

Список литературы

1. Mi J., Gregorich G.E., Xu S., McLaughlin N.B., Ma B., Liu J. Effect of bentonite amendment on soil hydraulic parameters and millet crop performance in a semi-arid region // *Field Crops Research*. 2017. Vol. 212. P. 107–114.
2. Казакова А.С., Майборода А.С. Микрофенологические фазы прорастания семян ячменя: монография. Зерноград: Азово-Черноморский инженерный институт ФГБОУ ВО Донской ГАУ, 2018. 183 с.
3. Кошеляев В.В., Карпова Г.А., Кошеляева И.П. Научное обоснование формирования продуктивности ярового ячменя под влиянием приемов технологии возделывания в лесостепи Среднего Поволжья. Пенза: РИО ПГСХА, 2013. 218 с.

4. Новохатин В.В. Научное обоснование первичного и элитного семеноводства зерновых культур // Достижения науки и техники АПК. Секция: Сельское хозяйство, лесное хозяйство, рыбное хозяйство. 2018. Т. 32, № 9. С. 40–47.
5. Овчаров К.Е. Физиология формирования и прорастания семян. М.: Колос, 1976. 256 с.
6. Chao Wang, Shuxia Wu, Tankari Moussa, Ximei Zhang, Li Li, Daozhi Gong, Weiping Hao, Yanqing Zhang, Xurong Mei, Yufei Wang, Fulai Liu, Yaosheng Wang. Stomatal aperture rather than nitrogen nutrition determined water use efficiency of tomato plants under nitrogen fertigation // Agricultural water management. 2018. Vol. 209. P. 94–101.
7. Глотова И.А., Галочкина Н.А. Влияние источников селена на биохимические процессы при набухании и прорастании зерна пшеницы // Химия растительного сырья. 2017. № 4. С. 211–216.
8. Tahir S., Marschner P. Clay amendment to sandy soil-effect of clay concentration and ped size on nutrient dynamics after residue addition // Journal of soils and sediments. 2016. Vol. 16. P. 2072–2080.
9. Полонский В.И., Сумина А.В. Начальное поглощение воды зерном ячменя связано с показателем его пленчатости // Вестник Красноярского государственного аграрного университета. 2011. № 12. С. 97–102.

СТАТЬЯ

УДК 630*161

DOI 10.17513/use.38201

**ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ГИБРИДЫ
СОСНЫ *PINUS L.* И ДУБА *QUERCUS L.*
ДЛЯ СУХОЙ СТЕПИ НИЖНЕГО ПОВОЛЖЬЯ****Иозус А.П., Завьялов А.А., Бойко С.Ю.***Камышинский технологический институт (филиал)**ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет»,**Камышин, e-mail: ttp@kti.ru*

В тяжелых лесорастительных условиях в сухой степи Нижнего Поволжья актуальным является повышение устойчивости и долговечности растительного материала для вновь создаваемых насаждений. Перспективным направлением является получение и использование в условиях сухой степи межвидовых гибридов основных лесобразующих пород сосны и дуба. Лесоводами Нижневолжской станции по селекции древесных пород 60 лет назад был проведен комплекс селекционных работ и получены межвидовые гибриды сосны и дуба, из которых были созданы опытные селекционные участки. К настоящему времени гибриды на опытных участках прошли первый этап естественного отбора, вызванного воздействием на деревья тяжелых почвенно-климатических условий региона. У сохранившихся на сегодняшний день гибридных деревьев отмечено проявление гетерозиса по сравнению с контрольными вариантами. Гибриды лучше росли, были более устойчивы к неблагоприятным условиям среды, их водный режим более адаптирован для засушливых условий. Гибриды сосны и дуба, полученные на Нижневолжской станции по селекции древесных пород, можно рекомендовать для введения в разные защитные насаждения региона, а также в другие лесорастительные зоны, которые также подвергаются воздействию глобального потепления.

Ключевые слова: сосна обыкновенная, сосна крымская, дуб черешчатый, дуб красный, гибридизация, устойчивость, долговечность

**PROMISING HYBRIDS OF PINE *PINUS L.* AND OAK *QUERCUS L.*
FOR THE DRY STEPPE OF THE LOWER VOLGA REGION****Iozus A.P., Zavyalov A.A., Boyko S.Yu.***Kamyshin Technological Institute (branch) of Volgograd State Technical University,**Kamyshin, e-mail: ttp@kti.ru*

In difficult forest growing conditions in the dry steppe of the Lower Volga region, it is important to increase the stability and durability of plant material for newly created plantations. A promising direction is the production and use of interspecific hybrids of the main forest-forming species of pine and oak in the conditions of the dry steppe. Foresters of the Nizhnevolzhsky station for the selection of tree species 60 years ago carried out a complex of breeding work and obtained interspecific hybrids of pine and oak, from which experimental breeding plots were created. To date, the hybrids in the experimental plots have passed the first stage of natural selection caused by the impact on trees of the severe soil and climatic conditions of the region. The hybrid trees that have survived to date have a manifestation of heterosis, compared with the control variants. The hybrids grew better, were more resistant to adverse environmental conditions, and their water regime was more adapted to arid conditions. Hybrids of pine and oak obtained at the Nizhnevolzhskaya station for the breeding of tree species can be recommended for introduction into various protective plantings of the region, as well as into other forest areas that are also exposed to global warming.

Keywords: scots pine, Crimean pine, pedunculate oak, red oak, hybridization, stability, durability

Процессы глобального потепления в настоящее время активно идут в сухой степи Нижнего Поволжья, к которой относится и Волгоградская область. Результатом глобального потепления уже сейчас является значительное ухудшение лесорастительных условий. К сожалению, перечень деревьев и кустарников, которые используются здесь для создания защитных насаждений, очень беден. Одним из направлений расширения ассортимента древесных пород, а также увеличения их устойчивости и долговечности является межвидовая гибридизация [1, с. 87; 2; 3]. Межвидовые гибриды дуба,

возникшие в условиях естественных насаждений, были обнаружены и описаны еще в XVIII в. Гибриды часто характеризуются эффектом гетерозиса по росту и развитию, а по морфологии носят смешанный или промежуточный характер. Гибридизация позволяет повысить гетерогенность насаждений и отобрать путем селекции наиболее перспективные гибриды с измененной наследственностью. История межвидовой и внутривидовой гибридизации сосны также имеет более чем 150-летнюю историю. Некоторые селекционно-семенные плантации создаются с учетом возможных вари-

антов переопыления клонов для получения гибридных семян. Межвидовая гибридизация имеет наибольшие перспективы получить гетерозисный эффект [4–6]. Исследованиями была установлена генетическая совместимость сосен обыкновенной и крымской, а также некоторых других, из секции *Euritus* [1, с. 47]. В настоящее время имеется большой разрыв между традиционными селекционными и генетическими исследованиями из-за их большой трудоемкости. Между тем в Волгоградской области проводились работы по межвидовой гибридизации сосен и создан генофонд гибридов полученных в 1950–1960-х гг. [1, с. 47; 2]. Данные гибриды отличаются лучшими характеристиками для тяжелых почвенно-климатических условий. Этот опыт нуждается в оценке и выделении наиболее перспективных вариантов скрещивания основных лесобразующих пород защитного лесоразведения в сухой степи – сосны и дуба.

Цель исследования – провести селекционную инвентаризацию ранее созданных в регионе коллекционных опытных участков внутривидовых гибридов сосны и дуба и выделить среди них наиболее перспективные по комплексу признаков.

Материалы и методы исследования

Основная задача, стоявшая перед селекционерами, начавшими в 1955 г. в г. Камышине работу по гибридизации сосны и дуба, заключалась в получении гибридов, устойчивых к засухе, а также к болезням и вредителям. При гибридизации сосны планировали создать быстрорастущие, стройные и смолистые деревья, обладающие к тому же устойчивостью к неблагоприятным факторам среды и хорошим ростом. Для этого была составлена программа скрещиваний, и в насаждениях Нижневолжской станции по селекции древесных пород (филиал) ФНЦ Агроэкологии РАН были взяты те экземпляры разных видов сосен, которые имели лучшие показатели роста, состояния и устойчивости: сосна обыкновенная, черная австрийская, крымская – для преодоления возможных барьеров из той же секции, что и обыкновенная, а также сосна Банка с одинаковым числом хромосом, но из соседней секции. В условиях Камышина сосна обыкновенная начинает активно плодоносить уже с 10–12 лет, поэтому в качестве материнских выбрали хорошо плодоносящие 20-летние растения, а опылителями служили 40-летние лучшие деревья, выде-

ленные по фенотипу. С целью оптимального сочетания искусственного и естественного отбора среди выращенных гибридных сеянцев провели отбор 40% интенсивности и из отобранных сеянцев в 1962 г. заложили селекционное насаждение с размещением деревьев 2x2 м площадью 2,4 га, включающее гибриды и контрольные варианты, за которым периодически проводился комплекс наблюдений. В 2023 г. провели селекционную инвентаризацию этих опытных участков с определением показателей роста по общепринятым в таксации методикам, сохранности, состояния. С целью оценки влияния разных факторов на рост гибридов использовали трехфакторный дисперсионный анализ [7, с. 218]. При гибридизации дуба использовались имеющиеся в коллекционных насаждениях станции дуб черешчатый *Quercus robur* L. и дуб красный *Quercus rubra* L. По ним был проведен комплекс селекционных работ и получены гибриды черешчатый × красный и красный × черешчатый. В 1960 г. из гибридов и контроля были созданы опытные участки на площади 1,8 га с размещением деревьев 3x1 м, за которыми постоянно проводились наблюдения [1, с. 90; 2].

В 2023 г. на опытных участках дуба также был проведен сплошной пересчет гибридных и контрольных деревьев по общепринятым в таксации методикам.

Особенности водного режима, основными из которых являются водоудерживающая способность и интенсивность транспирации, определяли по методикам Л.А. Иванова [8, с. 47; 9, с. 365] и А.А. Ничипоровича [8, с. 47; 9, с. 330]. Гибридный материал оценивался и по фенотипу [10].

Результаты исследования и их обсуждение

Еще в 18-летнем возрасте у гибридного селекционного материала сосны были отмечены существенные различия по таксационным показателям [1, с. 49; 2]. В табл. 1 приводятся основные таксационные показатели гибридов и контроля в возрасте 18 лет. Наиболее успешным по отношению к контролю на 10–15% был рост гибридов – сосна обыкновенная × сосна крымская, сосна крымская × сосна обыкновенная, и во всех вариантах скрещивания, где использовалась сосна Банка, гибриды значительно превосходили этот вид сосен. Водный режим у гибридных растений отличается от контроля лучшей водоудерживающей способностью и менее активной транспирацией [1, с. 50].

Таблица 1

Успешность роста гибридов по сравнению с исходными формами
в разные периоды наблюдений

| Вид, гибрид | Высота 18 лет, м* | | Диаметр 18 лет, см * | | Высота 61 год, м | | | | Диаметр 61 год, см | | | |
|-------------------------|-------------------|------|----------------------|------|------------------|-----|-----|------|--------------------|-----|-----|------|
| | х | макс | х | макс | х | S | V | макс | х | S | V | макс |
| Обыкновенная х Банка | 7,3 | 8,3 | 12,2 | 14,2 | – | | | – | – | | | – |
| Обыкновенная х крымская | 7,7 | 9,7 | 12,2 | 14,6 | 15,8 | 1,2 | 7,6 | 17,9 | 23,0 | 1,7 | 7,4 | 25,9 |
| Крымская х обыкновенная | 5,6 | 7,1 | 11,7 | 16,1 | 13,2 | 0,9 | 6,8 | 15,1 | 22,1 | 1,5 | 6,8 | 26,1 |
| Крымская х Банка | 5,3 | 7,2 | 11,5 | 16,2 | – | | | – | – | | | – |
| Обыкновенная (контроль) | 7,3 | 8,3 | 13,0 | 15,4 | 14,2 | 1,1 | 7,7 | 16,1 | 20,4 | 1,6 | 7,8 | 24,1 |
| Крымская (контроль) | 4,3 | 5,7 | 9,4 | 16,0 | 13,2 | 0,8 | 6,1 | 15,4 | 17,2 | 1,2 | 7,0 | 25,0 |
| Банка (контроль) | 4,5 | 6,3 | 8,5 | 12,9 | – | | | – | – | | | – |

Примечание: * – таксационные показатели в 18 лет взяты из литературного источника [1, с. 48]; х – средняя величина высоты деревьев, м, и средняя величина диаметра ствола, см; S – среднеквадратическое отклонение, м, (см); V – коэффициент вариации, %.

Обследования 2023 г. показали (табл. 1), что в возрасте 61 года отмеченные ранее отличия по росту и фенотипу между гибридными и контрольными деревьями сохранились, хотя и несколько нивелировались. В этом возрасте полностью выпали гибриды обыкновенная х Банка и крымская х Банка, так что эти варианты можно считать неперспективными. Сохранность, состояние и рост вариантов скрещивания обыкновенная х крымская и крымская х обыкновенная хорошие. Максимальные высоты и диаметры этих вариантов превосходят максимальные высоты и диаметры контроля, то есть отдельные деревья в этом возрасте сохраняют ранее отмеченный эффект гетерозиса.

При оценке по фенотипу [10] в 2023 г. отмечено, что у гибридов сосны обыкновенной х сосна крымская диаметр кроны на 10–15% превосходит контроль, что можно объяснить влиянием опылителя сосны крымской, имеющей более широкую крону по сравнению с обыкновенной. По приведенным результатам многолетних исследований видно, что, несмотря на определенные трудности, в пределах одного рода межвидовая гибридизация осуществляется весьма эффективно даже в тяжелых условиях сухой степи. Основным недостатком, который приходится преодолевать на начальном этапе, является плохая завязываемость семян.

Считаем, что по своим адаптивным свойствам в тяжелых условиях региона гибридный материал, объединяющий генофонд двух видов, имеет преимущества перед исходными видами.

Отмеченный эффект гетерозиса в соответствии с классической генетикой необходимо сохранить дальнейшими селекционными работами по скрещиванию и отбраковкой неэффективных вариантов и биотипов. При семенном размножении гибридов, в поколении F2 эффект гетерозиса потомству передается очень слабо [1, с. 49; 2]. Для повышения эффективности комплекса селекционных мероприятий целесообразно создание селекционных комплексов, включающих в том числе технологии вегетативного размножения.

Полученный перспективный селекционный материал, сочетающий положительные качества разных видов сосен, можно с успехом использовать в условиях глобального потепления на юго-востоке ЕТР и в южных лесостепных районах.

Гибридные сеянцы дуба перед посадкой также проходили отбор 40% интенсивности, поэтому вначале они превышали родительские формы по росту в 1,5 раза. Проведенное в засушливом 1975 г. изучение физиологических характеристик показало, что их листья лучше удерживали влагу и менее интенсивно ее транспирировали [1, с. 93; 2].

Таблица 2

Сравнительные таксационные характеристики гибридных и контрольных деревьев дуба 1960 г. посадки в 2023 г.

| Фенологическая форма | Число деревьев на пробе | Высота, м | | | | Диаметр, см | | | |
|-----------------------|-------------------------|-----------|------|------|--------------|-------------|-----|-----|--------------|
| | | х | S | V | максимальная | х | S | V | максимальный |
| Черешчатый × красный | 40 | 9,2 | 1,1 | 12,0 | 10,5 | 22,7 | 1,5 | 6,6 | 26,7 |
| Красный × черешчатый | 50 | 8,8 | 0,28 | 4,4 | 8,4 | 19,2 | 1,4 | | 23,1 |
| Черешчатый (контроль) | 56 | 9,2 | 0,6 | 6,5 | 9,3 | 21,7 | 1,4 | 6,5 | 24,7 |
| Красный (контроль) | 18 | 7,9 | 0,4 | 5,0 | 8,6 | 17,4 | 1,2 | 6,8 | 22,1 |

Примечание: х – средняя высота деревьев, м, и средний диаметр, см; S – среднее квадратическое отклонение, м, (см); V – коэффициент вариации, %.

Однако комплекс неблагоприятных почвенно-климатических условий сухой степи привел к тому, что в дальнейшем отличия гибридов и контроля были не столь заметными. С целью определения перспективности гибридов и изучения их гетерогенности в 2023 г. провели инвентаризацию коллекционных насаждений и изучили их некоторые физиологические характеристики. Результаты обмеров наглядно представлены в табл. 2.

Лучшим методом для оценки успеха селекционных работ считается дисперсионный анализ [7, с. 218]. При этом наиболее существенные различия должны быть по маточнику (фактор А). Другим значимым фактором являются различия, обусловленные генетически (фактор В). Нахождение биотипов на участке определяет экологический фактор (фактор С).

Установлена достоверность различий по фактору А у дуба 1960 г. посадки на 5%-ном уровне (рис. 1).

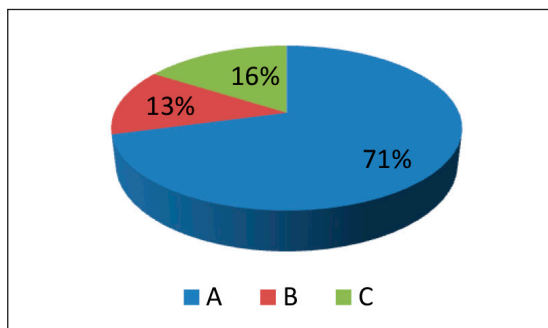


Рис. 1. Доля влияния факторов на рост в высоту гибридов дуба 1960 г. посадки, % А – отличия по маточнику, В – генетические различия, С – различия биотопа

Таким образом, в условиях однородного коллекционного участка определяющее воздействие на таксационные показатели гибридных деревьев оказывает фактор маточника (материнского дерева). Генетические различия оказались не столь значимыми.

В условиях сухой степи важной характеристикой является адаптивность водного режима селекционного материала к засушливым условиям. Для оценки того, как складывается водный режим у гибридов по сравнению с контролем 22–24 июля 2023 г., оценивались водоудерживающая способность и интенсивность транспирации у гибридов и контроля.

Установлено, что дуб красный и его гибриды лучше удерживали влагу, чем дуб черешчатый и его гибриды, а вот гибрид дуб черешчатый × дуб красный по этому показателю уступал контролю (рис. 2).

Если рассматривать интенсивность транспирации (рис. 3), то дуб красный и его гибрид с черешчатым имели несколько лучшие показатели, чем дуб черешчатый и его гибрид.

Как следует из результатов оценки водного режима селекционного материала, гибридизация привела к созданию более ксерофитных форм по сравнению с контролем.

По данным Е.Н. Крюковой, изучаемые гибриды при инфицировании сосудистым микозом показали повышенную толерантность по сравнению с исходными видами и гибридами С.С. Пятницкого [1, с. 94].

Таким образом, полученный гибридный материал имеет ряд преимуществ по сравнению с исходными видами, поэтому необходимо на современной научно-производственной базе организовать его размножение и введение в испытательные культуры, опытные участки и селекционные семенные плантации.

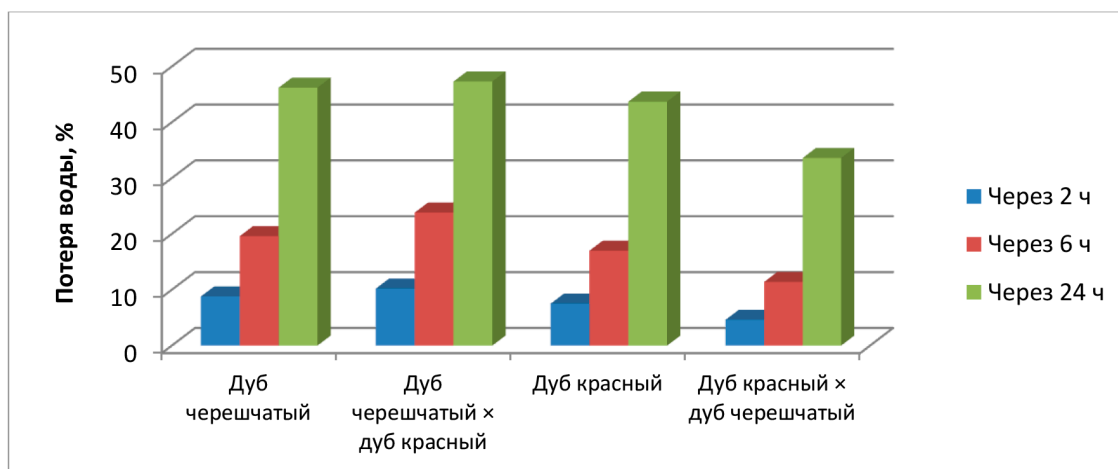


Рис. 2. Процент потери воды через промежутки времени

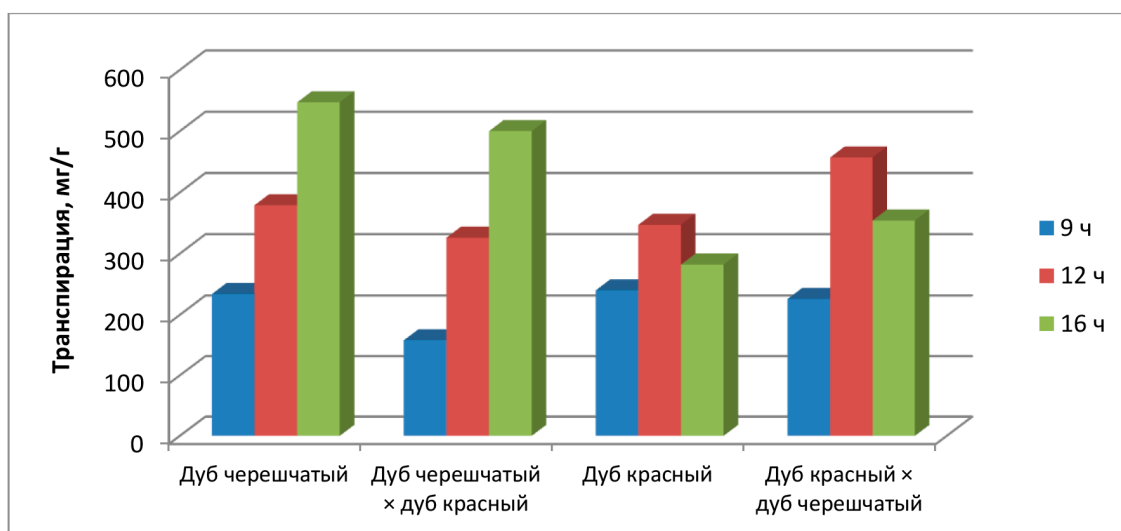


Рис. 3. Показатели транспирации в разные периоды суток, мг/г

С нашей точки зрения основными направлениями гибридизационных работ является разработка с учетом полученного опыта, новых программ скрещиваний, их проведение, выращивание сеянцев с закладкой испытательных культур после отбраковки.

Целесообразно путем вегетативного размножения создать из имеющихся в коллекции Нижневолжской станции по селекции древесных пород перспективных гибридов сосны и дуба гибридную семенную плантацию. По дубу при размещении деревьев 10 x 10 м можно ежегодно получать с 1 га до 500 кг гибридных желудей второго поколения F₂, что повысит гетерогенность

создаваемых насаждений и расширит базу работы естественного и искусственного отбора в сухой степи. По сосне при размещении деревьев на плантации 5 x 10 м ежегодно можно получать с 1 га от 5 до 15 кг семян, из которых также можно создавать насаждения повышенного генетического уровня.

Выводы

1. Таким образом, на Нижневолжской станции по селекции древесных пород (филиал) ФНЦ Агроэкологии РАН получен перспективный гибридный селекционный материал, сочетающий положительные ка-

чества разных видов сосны и дуба, который можно с успехом использовать в условиях глобального потепления на юго-востоке ЕТР и в южных лесостепных районах.

2. Как показали результаты исследований, гибриды дуба к возрасту 60 лет не имеют значительного превышения над контролем, но у них лучше складывается водный режим, они более толерантны к вредителям и болезням.

3. Полученный гибридный селекционный материал при широком внедрении через селекционно-семенные плантации может значительно расширить базу работы естественного и искусственного отбора в сухой степи, а также повысить гетерогенность, устойчивость и долговечность новых защитных насаждений.

Список литературы

1. Иозус А.П., Крючков С.Н., Морозова Е.В. Селекция и репродукция древесных пород для защитного лесоразведения: монография. Волгоград: ВолгГТУ, 2016. 184 с.
2. Морозова Е.В., Иозус А.П., Зеленьяк А.К. Основные результаты и перспективы селекции и гибридизации хвойных древесных пород для защитного лесоразведения в сухой степи Нижнего Поволжья // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2014. № 11–4. С. 618–621.
3. Rogozin M.V. Программа селекции хвойных в лесосеменном районе // Сибирский лесной журнал. 2016. № 5. С. 99–106.
4. Rogozin M.V. Старая и новая парадигмы в лесоводстве и лесной селекции // Успехи современного естествознания. 2016. № 4. С. 94–98.
5. Милотин Л.И., Муратова Е.Н., Ларионова А.Я. Развитие лесной генетики в России // Сибирский лесной журнал. 2018. № 1. С. 3–15.
6. Попова А.А., Морковина С.С., Иванова А.В. Организационная модель селекции дуба черешчатого на основе цитогенетических и морфологических маркеров // Лесотехнический журнал. 2021. Т. 11, № 2 (42). С. 5–14.
7. Меркурьева Е.К., Шангин-Березовский Г.Н. Генетика с основами биометрии: учебник. М.: Колос, 1983. 400 с.
8. Пятницкий С.С. Практикум по лесной селекции. М.: Сельхозиздат, 1961. 271 с.
9. Крамер П.Д., Козловский Т.Т. Физиология древесных растений. М.: Лесная промышленность, 1983. 464 с.
10. Федорков А.Л. Фенотипический отбор в лесной селекции // Лесоведение. 2019. № 6. С. 580–584.

СТАТЬЯ

УДК 630*161

DOI 10.17513/use.38202

ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ ФУНГИЦИДОВ ПРОТИВ МУЧНИСТОЙ РОСЫ НА ТРЕХЛЕТНЕМ ДУБЕ ЧЕРЕШЧАТОМ

¹Олива Т.В., ¹Котлярова Е.Г., ¹Акинчин А.В.,
¹Колесниченко Е.Ю., ¹Морозова Е.В., ^{1,2}Гайфутдинова А.В.

¹ФГБОУ ВО «Белгородский государственный аграрный университет имени В.Я. Горина»,
Майский, e-mail: Oliva_TV@bsaa.edu.ru;

²МБОУ «Средняя общеобразовательная школа № 1 г. Строитель», Строитель

В статье описаны результаты исследования применения фунгицидов против мучнистой росы дуба черешчатого (*Quercus robur* L.) – главной лесообразующей древесной породы в Центральном Черноземье РФ. Показано, что трехкратное опрыскивание листьев трехлетнего дуба растворами фунгицидов и биопрепаратами с фунгицидными свойствами дает высокую эффективность защиты дуба от мучнистой росы. Эффективность обработок листьев дуба растворами препаратов Строби, Медея МЭ, Топсин М составляла от 95,2 до 96,5%. Раствор препарата ТирВит (двухвалентная сера) имеет более низкую эффективность против мучнистой росы – около 90,7%. Биопрепараты Вермигумат в комплексе с наноксидами биогенных элементов показали сопоставимые с химическими препаратами результаты борьбы против мучнистой росы листьев дуба черешчатого, при этом дополнительно стимулируя рост дуба. Эффективность обработок листьев дуба биопрепаратами составляла для Вермигумат-4+наноCuO 94,1%, для Вермигумат-4+наноSiO₂ – 93%, для Вермигумат-4+наноFe₂O₃ – 91%. Среднее содержание общего хлорофилла в листьях молодого дуба варьировало в пределах 9,50–21,38 мг/г натуральной массы листа. Концентрация хлорофилла *b* превышала концентрацию хлорофилла *a* в вариантах с применением Строби и Вермигумата с наноксидом меди. Концентрация хлорофилла *b* была ниже концентрации хлорофилла *a* в вариантах с применением ТиюВит, Медея МЭ, Топсин М, Вермигуматы с наноксидом кремния и с наноксидом железа. Наивысший прирост дуба отмечен для вариантов с применением Вермигумата с наноксидом меди и наноксидом кремния по сравнению с контрольным вариантом. Длина стержневого корня дуба была сопоставима с высотой стволика, но в вариантах опыта с применением препарата ТиюВит и Вермигумат-4+наноCuO длина корня превышала высоту стволика дуба в 1,9 и 1,2 раза соответственно. С учетом того, что биопрепараты с фунгицидными свойствами не наносят ущерба качеству окружающей среде и одновременно являются стимуляторами роста и развития растений, считаем их применение целесообразным.

Ключевые слова: дуб черешчатый, мучнистая роса, фунгициды, хлорофилл

EXPERIENCE OF USING FUNGICIDES AGAINST POWDERY MILDEW ON THREE-YEAR-OLD PETIOLATE OAK

¹Oliva T.V., ¹Kotlyarova E.G., ¹Akinchin A.V.,
¹Kolesnichenko E.Yu., ¹Morozova E.V., ^{1,2}Gayfutdinova A.V.

¹The Belgorod State Agrarian University named after V. Gorin, Mayskiy,
e-mail: Oliva_TV@bsaa.edu.ru;

²Secondary school No. 1 Stroitel, Stroitel

The article describes the results of a study of the use of fungicides against powdery mildew of (*Quercus robur* L.) petiolate oak, the main forest-forming tree rock in the Central Black Earth Region of the Russian Federation. It is testified that three-fold spraying of three-year-old oak leaves with fungicide dilution and biopreparation with fungicidal properties gives high efficiency of oak protection against powdery mildew. The efficiency of oak leaf volume with preparation dilution Stroby, Medea ME, Topsin M ranged from 95.2 to 96.5%. The solution of TyrVit (divalent sulfur) has a lower effectiveness against powdery mildew – about 90.7%. Vermigumat biologics in combination with biogenic element nanoxides showed chemical-comparable results in the fight against powdery mildew of petiolate oak leaves, while additionally stimulating petiolate oak growth. The effectiveness of processing oak leaves with biopreparation was 94.1% for Vermigumat-4 + nanoCuO, 93% for Vermigumat-4 + nanoSiO₂, and 91% for Vermigumat-4 + nanoFe₂O₃. The average total chlorophyll content in young oak leaves ranged from 9.50-21.38 mg/g of natural leaf weight. The concentration of chlorophyll *b* exceeded the concentration of chlorophyll *a* in the variants using Stroby and Vermigumate with copper nanooxide. The concentration of chlorophyll *b* was lower than the concentration of chlorophyll *a* in variants using ThioVit, Medea ME, Toisin M, Vermigumates with nano-silica and with iron nanooxide. The highest increase in oak was noted for the variants using Vermigumate with copper nanooxide and silicium nanooxide compared to the control variant. The length of the oak root was comparable to the height of the trunk, but in the test cases with TioVit and Vermigumat-4 + nanoCuO, the length of the root exceeded the height of the oak trunk by 1.9 and 1.2 times, respectively. Taking into account the fact that biopreparation with fungicidal properties do not damage the quality of the surrounding environment and, at the same time, are stimulants of plant growth and development, we consider their use advisable.

Keywords: petiolate oak, powdery mildew, fungicides, chlorophyll

В настоящее время оценка и повышение устойчивости экологического состояния дубовых лесов и полезащитных лесополос является важной и сложной задачей [1]. Разработка научных основ регулирования качества и контроля состояния окружающей среды требует все больше знаний и умений. Комплексные изменения в агроэcosystemах, элементом которых являются полезащитные полосы, имеющие свойства естественной экосистемы и естественной растительности, могут приводить к резкому ухудшению общего состояния окружающей среды и снижению продуктивности сельскохозяйственных угодий.

Дуб черешчатый (*Quercus robur* L.) является в Центральном Черноземье главной лесообразующей древесной породой. В настоящее время в Белгородской области на долю высокоствольных дубрав приходится около 64,5% от общей площади дубовых лесов [2]. Это стало возможным благодаря разработке и осуществлению мероприятий по управлению современными ландшафтами методом искусственного лесовосстановления. Искусственное лесовосстановление – это наиболее эффективный способ для создания устойчивых и продуктивных высокоствольных экосистем дубрав по сравнению с естественным возобновлением дуба [3].

В научной литературе неоспоримым фактом считается, что восстановление и сохранность полезащитных лесных пород – это важное условие увеличения урожайности сельскохозяйственных культур и улучшение экологических свойств пахотных земель [4]. В то же время по результатам лесопатологических исследований, проведенных в последнее десятилетие, подтверждено ухудшение экологического состояния лесополос с увеличением поражения древесными заболеваниями и паразитами [5, 6]. Мучнистая роса – распространенное заболевание древесных пород [7]. В пораженном растительном организме нарушаются процессы метаболизма, растения отстают в росте, теряют зимостойкость и устойчивость к неблагоприятным факторам. Только здоровые деревья в лесозащитных полосах выполняют почвозащитные, водорегулирующие, охранные, рекреационные и санитарно-гигиенические функции. Вырастить такие насаждения без знаний закономерностей роста и развития породы невозможно.

Цель исследования – изучение биологической эффективности современных фунгицидов в защите дуба трехлетнего возраста от мучнистой росы.

Материалы и методы исследования

Место проведения работ – учебная лаборатория биотехнологических исследований агрономического факультета Белгородского ГАУ и посадки дуба в ОКУ Яковлевское лесничество.

В 2020 г. сотрудники ОКУ Яковлевское лесничество осуществили посадку желудями дуба черешчатого на территории вдоль агроценоза села Ямное (N 50° 44' 24.4896" E 36° 9' 50.5296") Яковлевского района Белгородской области вблизи с урочищем Озерово (лесной массив).

Территория представляет собой хорошо сохранившийся естественный фитоценоз с типичной растительностью, характерной для Белгородской области. Рельеф участка – равнинный с уклоном. Почва и степень ее влажности – слабо-дерновые супесчаные, сухая. Почвенный покров и степень задернения почвы – задернение слабое. Наличие подроста и молодняка отсутствует. Степень зараженности почвы личинками хрущей – не обнаружено. Способы и время обработки почвы: механизированная нарезка бороздами на глубину 20–25 см, трактор МТЗ-82 в агрегате с плугом ПКЛ-70 через 1,5 м. Посадка – ручная, расстояние между растениями 0,7 м. Количество посадочных мест на 1 га – 4,44 тыс. шт.

Объект исследований – дуб черешчатый (*Quercus robur* L.) трехлетнего возраста. На территории лесничества села Ямное вблизи урочища Озерово согласно лесоводственным методикам авторами были сформированы 8 постоянных пробных площадок посадки дуба (рис. 1).

Исследуемая территория с саженцами дуба – это многорядная полоса, где расстояние между рядами в среднем составляет 0,5 м, а в ряду среднее расстояние между деревьями – 0,7–1,4 м. Каждая пробная полоса с растениями дуба включает более 100 растений. Полоса с растениями дуба соответствовала одному из вариантов опыта.

При обследовании территории проводили сбор и гербаризацию пораженных частей растений для последующего хранения и идентификации. Диагностику поражений осуществляли патографическим (макроскопическим) методом. Идентификацию грибов проводили на основании макро- и микроскопических признаков, выявленных в результате исследований с помощью световой микроскопии. Степень заражения дуба мучнистой росой была высокой (рис. 2).

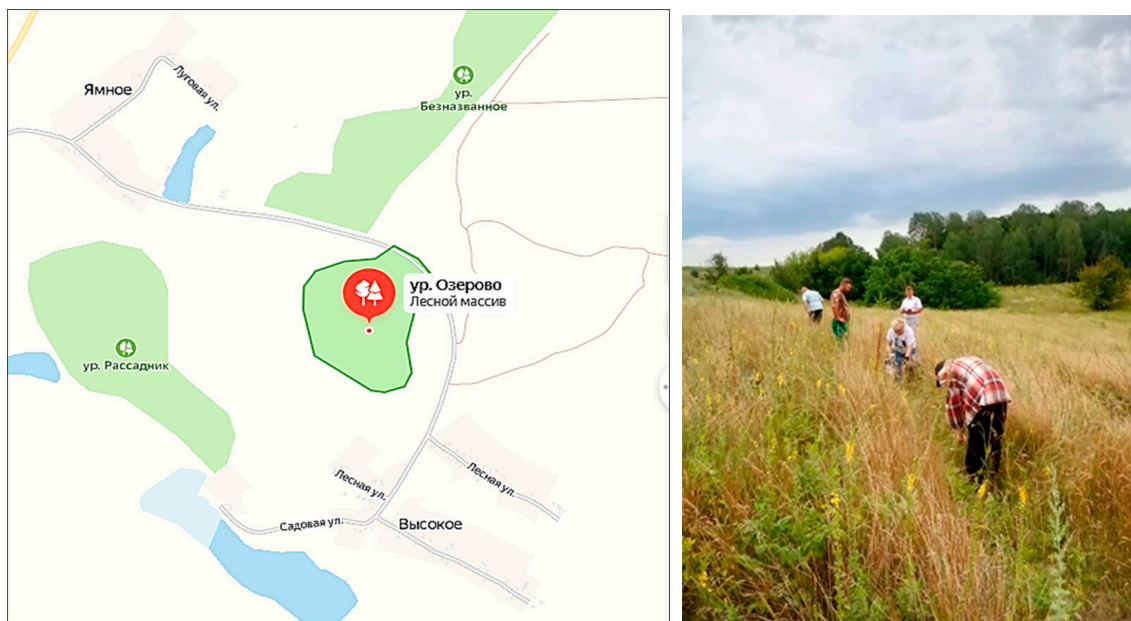


Рис. 1. Территория посадки дуба черешчатого вдоль агроценоза села Ямное
вблизи урочища Озерово



Рис. 2. Внешний вид поражения листьев дуба
мучнистой росой в начале опыта

Исследуемые растения дуба, пораженные мучнистой росой, опрыскивали растворами фунгицидов и биопрепаратами со свойствами фунгицидов трижды согласно инструкции применения фунгицидов по вариантам схемы опыта. Опрыскивание проводили в течение июля – сентября 2023 г. Схема опыта включала варианты:

– вариант 1 – применение раствора Строби (Stroby), не фитотоксичен, д.в. крезоксим-

метил ($C_{18}H_{19}NO_4$), не уничтожает насекомых, хим. класс – стробилурины, 3 класс опасности, производитель ООО «Агро-Плюс» (г. Ктрово-Чепецк), госрегистрация 02-00934-0009-0;

– вариант 2 – применение раствора ТиоВит, безвреден для человека, млекопитающих, пчел, д.в. двухвалентная сера, хим. класс – неорганическое вещество, производитель АО Фирма «Август» (Московская область, г. Черноголовка), госрегистрация 2367-12-107 (102)-018-0-0-3-1;

– вариант 3 – применение раствора Медя МЭ – д.в. дифконазол и флутриафол, производитель АО Щелково Агрохим, госрегистрация 018-02-740-1;

– вариант 4 – применение раствора Топсин М гидро, не фитотоксичен, д.в. бензи-мидазолы: тиофанат-метил, производитель «Белагрохимторг», Беларусь;

– вариант 5 – применение раствора Вермигумат-4+наноCuO (нанооксид меди), лаборатория биотехнологических исследований агрономического факультета Белгородского ГАУ;

– вариант 6 – применение раствора Вермигумат-4+наноSiO₂ (нанооксид кремния), лаборатория биотехнологических исследований агрономического факультета Белгородского ГАУ;

– вариант 7 – применение раствора Вермигумат-4+наноFe₂O₃ (нанооксид железа), лаборатория биотехнологических ис-

следований агрономического факультета Белгородского ГАУ;

– вариант 8 – обработка дистиллированной водой (контроль).

Характеристика биологических удобрений, созданных на основе вермикомпоста, опубликована авторами ранее [8].

Биологические фунгициды были разработаны авторами на основе модификации метода выделения гуминовых кислот (ГК) из вермикомпоста с использованием янтарной кислоты и наноксидов биогенных элементов: Вермигумат-4-наноCuO (переводили в хелатную форму наноксид меди 100 мг/л), Вермигумат-4-наноSiO (переводили в хелатную форму наноксид кремния 100 мг/л), Вермигумат-4-нано Fe₂O₃ (переводили в хелатную форму наноксид железа 100 мг/л).

В ходе исследований определяли степень поражения растений, распространенность болезни и оценивали частоту встречаемости патогена. Определение биологической эффективности проводили в соответствии с «Методическими указаниями по регистрационным испытаниям фунгицидов в сельском хозяйстве».

Для оценки состояния фотосинтетического аппарата растений определяли значение показателей хлорофилл *a*, хлорофилл *b*, каротиноиды. Оба пигмента: хлорофилл *a* и хлорофилл *b* – участвуют в процессе фотосинтеза, но хлорофилл *a* является основным зеленым пигментом, тогда как хлорофилл *b* – вспомогательный пигмент, собирающий энергию для перехода в хлорофилл *a*. По состоянию пигментного комплекса растений возможно делать заключения о наличии или отсутствии стрессорных воздействий окружающей среды на растение. Количественное определение пигментов проводили по методике в модификации Н.А. Сушук, В.С. Кисличенко, В.Ю. Кузнецова. Концентрацию пигментов в экстракте рассчитывали по формуле Lichtenthaler [9].

Биометрические показатели снимали с 25 растений на одну делянку. При завершении эксперимента авторами были выкопаны растения дуба черешчатого из каждого варианта опыта. Биометрические показатели (средняя высота стволика (см), количество новых побегов за вегетационный период, количество листьев, средняя длина стержневого корня (см), средний диаметр корневой шейки (см), изгиб стволика,) измеряли стандартными измерительными приборами (метровая лента, штангенциркуль) и рассчитывали по известным методикам (рис. 3).



Рис. 3. Подготовка растения дуба к изучению биометрических показателей растений

Данные, полученные в результате замеров, обработаны методами математической статистики с определением средних показателей, ошибки средних и достоверности выявленных различий по критерию Стьюдента.

Результаты исследования и их обсуждение

В табл. 1 представлены результаты состояния дуба черешчатого на изучаемой территории посадки дуба черешчатого вдоль агроценоза села Ямное вблизи урочища Озерово. В связи со сложившимися погодными условиями и нахождения в непосредственной близости источника заражения от взрослых деревьев доля пораженных мучнистой росой при разной степени заражения листовых пластинок от 13 до 18% составила 100%.

Проведенное трехкратное опрыскивание листьев трехлетнего дуба черешчатого изучаемыми растворами фунгицидов и биопрепаратов с фунгицидными свойствами показало, что все испытуемые препараты имеют высокую эффективность к защите дуба от мучнистой росы. Также проведенные исследования показали, что для дальнейшей профилактики заражения и для полного уничтожения мучнистой росы требуется трехкратная обработка листьев дуба черешчатого (табл. 2).

Таблица 1

Показатели состояния дуба черешчатого на 28 июня 2023 года

| Показатели | Варианты опыта | | | | | | | |
|---|----------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| Доля деревьев, пораженных мучнистой росой, % | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| Доля, пораженных мучнистой росой листьев, % | 85 | 86 | 84 | 86 | 85 | 86 | 88 | 86 |
| Средняя доля пораженных мучнистой росой листовых пластинок, % | 15 | 16 | 13 | 18 | 15 | 16 | 16 | 16 |

Таблица 2

Показатели состояния дуба черешчатого после обработок фунгицидами и биопрепаратами с фунгицидными свойствами

| Показатели | Варианты опыта | | | | | | | |
|---|----------------|----|----|----|----|----|----|----|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| 18 июля 2023 года, 28 после первой обработки | | | | | | | | |
| Доля, пораженных мучнистой росой листьев, % | 65 | 66 | 64 | 66 | 65 | 66 | 68 | 88 |
| Средняя доля пораженных мучнистой росой листовых пластинок, % | 8 | 12 | 9 | 9 | 10 | 9 | 11 | 18 |
| 07 августа 2023 года, после второй обработки | | | | | | | | |
| Доля, пораженных мучнистой росой листьев, % | 35 | 36 | 34 | 36 | 35 | 36 | 38 | 90 |
| Средняя доля пораженных мучнистой росой листовых пластинок, % | 5 | 8 | 4 | 5 | 6 | 5 | 6 | 24 |
| 28 августа 2023 года, после третьей обработки | | | | | | | | |
| Доля, пораженных мучнистой росой листьев, % | 4 | 8 | 4 | 4 | 5 | 6 | 8 | 95 |
| Средняя доля пораженных мучнистой росой листовых пластинок, % | 2 | 4 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 35 |

Таблица 3

Биологическая эффективность ассортимента фунгицидов и биопрепаратов с фунгицидными свойствами против мучнистой росы дуба

| Препарат | Действующее вещество | Норма расхода | Биологическая эффективность, % |
|---|-------------------------------|---------------|--------------------------------|
| Строби | крезоксим-метил, стробилурины | 1000 л/га | 95,3 |
| ТиоВит | двухвалентная сера | 800 л/га | 90,7 |
| Медея, МЭ | дифконазол и флутриафол | 1000 л/га | 95,2 |
| Топсин М гидро | бензимидазолы:тиофанат-метил | 300 л/га | 96,5 |
| Вермигумат-4+наноCuO | ГК+нанооксид меди | 500 л/га | 94,1 |
| Вермигумат-4+наноSiO ₂ | ГК+нанооксид кремния | 500 л/га | 93,0 |
| Вермигумат-4+наноFe ₂ O ₃ | ГК+нанооксид железа | 500 л/га | 91,0 |

В табл. 3 представлены результаты расчета биологической эффективности фунгицидов против мучнистой росы дуба черешчатого.

Установлено, что эффективность трехкратных обработок листьев дуба черешчатого растворами химических препара-

тов Строби, Медея МЭ, Топсин М составила от 95,2 до 96,5%. Более низкой эффективностью обладал раствор препарата ТирВит, двухвалентной серы – около 90,7%. Возможно, это было связано с осадками, из-за которых концентрация двухвалентной серы быстро снижалась на листовых пластинках дуба.



Рис. 4. Внешний вид листьев дуба после трехкратной обработки фунгицидами против мучнистой росы

Биологические препараты Вермигат в комплексе с наноксидами биогенных элементов показали сопоставимые с химическими препаратами результаты борьбы против мучнистой росы листьев дуба черешчатого. Эффективность трехкратных обработок листьев дуба черешчатого растворами Вермигатов составила для Вермигат-4+наноCuO 94,1%, Вермигат-4 +наноSiO₂ – 93%, Вермигат+нано

Fe₂O₃ – 91%. После третьей обработки лист трехлетнего дуба имеет здоровую листовую пластинку, а новые молодые листья появляются без признаков заражения заболеванием (рис. 4).

Визуальные наблюдения, исследования и расчеты показали, что степень заражения листьев дуба черешчатого без обработок препаратами постоянно возрастала и в среднем увеличилась за период опыта на 10%.

Проведенные исследования показали, что основная часть фунгицидов не оказала отрицательного воздействия на прирост и развитие дуба, а вермигуминовые препараты в комплексе с наноксидами биогенных элементов дополнительно способствовали приросту растений дуба черешчатого. В табл. 4 представлены данные влияния фунгицидов и биопрепаратов с фунгицидными свойствами на прирост дуба черешчатого.

Наивысший прирост дуба отмечен для вариантов с применением Вермигата с наноксидом меди и наноксида кремния по сравнению с контрольным вариантом. Из химических фунгицидов наименьший прирост дуба отмечен для варианта с применением Топсин М по сравнению с контрольным вариантом. Меньший прирост по сравнению с контролем отмечен для фунгицида варианта с Медея МЭ. В табл. 5 представлены результаты изучения влияния обработок фунгицидными препаратами и биологическими препаратами с фунгицидными свойствами на развитие дуба черешчатого.

Таблица 4

Влияние фунгицидов и биопрепаратов с фунгицидными свойствами на прирост дуба черешчатого

| Даты измерений | Высота стволика дуба, см | | | | | | | |
|--------------------------------|--------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|----------------|
| | Варианты опыта | | | | | | | |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| 28.06.23 | 22,55 ±3,40 | 25,14 ±3,20 | 32,24 ±2,40 | 30,20 ±4,32 | 21,34 ±3,30 | 23,60 ±3,25 | 28,85 ±2,55 | 23,30 ±3,26 |
| 18.07.23 | 24,67 ±5,84 | 27,40 ±5,88 | 35,02 ±2,33 | 34,40 ±7,54 | 24,22 ±6,28 | 27,80 ±4,02 | 30,20 ±2,94 | 25,84 ±4,44 |
| 07.08.23 | 27,20 ±5,12 | 34,67* ±6,78 | 39,20* ±3,12 | 39,6* 4±6,80 | 33,40 ±5,54 | 37,72* ±6,10 | 37,34* ±4,89 | 28,60 ±4,47 |
| 28.08.23 | 33,33 ±3,90 | 37,82* ±5,73 | 42,58* ±2,72 | 42,45* ±7,20 | 37,88* ±3,72 | 40,40* ±6,54 | 39,20* ±3,40 | 30,80 ±4,40 |
| Средний прирост, % | 47,81 % | 50,44 % | 32,07 % | 40,56 % | 77,51 % | 71,19 % | 35,88 % | 32,19 % |
| Средний прирост, ±% к контролю | +14,9 | +18,25 | -0,12 | +8,4 | +45,3 | +39,0 | +3,7 | - |

Примечание: * – разница достоверна при p ≤ 0,05 по сравнению с контролем.

Таблица 5

Влияние изучаемых препаратов на развитие дуба черешчатого

| Показатели | Варианты опыта | | | | | | | |
|-------------------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| Высота стволика, см | 33,33 ±3,90 | 37,82 ±5,73 | 42,58 ±2,72 | 42,45 ±7,20 | 37,88 ±3,72 | 40,40 ±6,54 | 39,20 ±3,40 | 30,80 ±4,40 |
| Длина корня, см | 39,55 ±2,50 | 72,50 ±9,50 | 41,0 ±2,60 | 39,8 ±2,60 | 46,0 ±4,40 | 40,2 ±3,80 | 40,0 ±4,50 | 33,46 ±3,50 |
| Диаметр стебля пришейковой зоны, мм | 8,0 ±1,0 | 12,0 ±1,0 | 10 ±1,0 | 6,0 ±1,0 | 8,0 ±1,0 | 6,0 ±1,0 | 6,0 ±1,0 | 6,0 ±1,0 |
| Количество листьев, шт. | 15±2 | 55±4 | 15±2 | 16±2 | 25±3 | 14±1 | 20±2 | 20±2 |

Таблица 6

Сравнительная оценка пигментного комплекса в пигментной вытяжке из листьев дуба черешчатого (мг/мл)

| Показатели | Варианты опыта | | | | | | | |
|------------------|----------------|-----------------|-----------------|-----------------|----------------|-----------------|-----------------|----------------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| <i>Chl a</i> | 20,65 ±1,50 | 16,50 ±1,20 | 11,8* 3±1,47 | 12,91* ±1,82 | 21,19 ±1,20 | 13,10* ±1,20 | 12,85* ±1,50 | 19,86 ±1,46 |
| <i>Chl b</i> | 21,65 ±1,54 | 11,15* ±1,12 | 10,34* ±0,66 | 11,52* ±1,50 | 24,74 ±1,26 | 12,40* ±1,12 | 11,63* ±1,47 | 22,56 ±1,44 |
| <i>Chl a+b</i> | 42,30 ±1,53 | 32,95* ±1,15 | 22,17* ±1,12 | 24,43* ±1,63 | 45,93 ±1,22 | 25,50* ±1,16 | 24,48* ±1,48 | 42,42 ±1,45 |
| <i>Car</i> | 2,42 ±0,62 | 4,32 ±0,48 | 4,41 ±0,12 | 4,63 ±0,80 | 2,25 ±0,55 | 4,91 ±0,18 | 4,72 ±0,18 | 2,48 ±0,50 |
| <i>a / b</i> | 0,96 | 1,50 | 1,15 | 1,12 | 0,86 | 1,06 | 1,11 | 0,88 |
| <i>Chl / Car</i> | 17,49 | 7,73 | 5,03 | 5,28 | 20,42 | 5,20 | 22,06 | 17,11 |

Примечание: * – разница достоверна при $p \leq 0,05$ по сравнению с контролем.

В трехлетнем возрасте длина стержневого корня дуба черешчатого сопоставима с высотой стволика, хотя в вариантах опыта с применением ТиоВит и Вермигумат-4+наноCuO длина корня была намного больше высоты стволика и превышала его в 1,9 и в 1,2 раза соответственно. Количество листьев у растения в этих вариантах было также максимальным. Новые боковые побеги появились у дуба в вариантах с Строби, ТиоВит и Вермигумат-4+наноFe₂O₃. По всей видимости, меньшую высоту стволика дуба под влиянием вермигуминового удобрения с наноксидом железа можно объяснить формированием двух новых боковых побегов с новыми листовыми пластинками. Важным параметром, который характеризует рост и развитие растений, является содержание в листьях зеленого и желтого пигментов (табл. 6).

По литературным данным, в условиях стресса (загрязнения) в листьях дуба черешчатого начинает преобладать хлорофилл

b, достигая значений выше 50%. Установлено, что концентрация хлорофилла *b* превышает концентрацию хлорофилла *a* в вариантах с применением фунгицида Строби и биологического препарата с фунгицидными свойствами Вермигумата с наноксидом меди и в контрольном варианте. Концентрация хлорофилла *b* ниже концентрации хлорофилла *a* в вариантах с применением фунгицида ТиоВит, Медея МЭ, Топсин М, Вермигумата с наноксидом кремния и с наноксидом железа. Листовая обработка против мучнистой росы повлияла на общий уровень пигментов в ткани листа. Установлено, что среднее содержание общего хлорофилла в листьях молодого дуба варьировало в пределах 9,50–21,38 мг /г в пересчете на натуральную массу листа. Изменения диапазона уровня хлорофилла в листьях дуба может свидетельствовать о влиянии фунгицидов на степени защиты мембран хлоропластов от фотоповреждений и изменения биохимического состава в тканях листа растения.

Заключение

Повышение устойчивого состояния дубовых лесов и полезащитных лесополос требует постоянного контроля состояния качества окружающей среды. Проведенные исследования показали, что для профилактики заболевания и уничтожения мучнистой росы дуба черешчатого необходима трехкратная обработка листьев фунгицидами или биологическими препаратами со свойствами фунгицидов. Выявленные в ходе исследований изменения фотосинтезирующего аппарата дуба говорят об опасности поражения молодых листьев низшим грибом мучнистой росой. Поэтому требуется дальнейшая разработка и совершенствование системы мероприятий по борьбе и профилактике заражения дуба черешчатого мучнистой росой. С учетом того, что биологические препараты с фунгицидными свойствами не наносят ущерба качеству окружающей среды и являются стимуляторами роста и развития растений, считаем их применение целесообразным.

Список литературы

1. Ерусалимский В.И., Рожков В.А. Многофункциональная роль защитных лесных насаждений // Бюллетень почвенного института им. В.В. Докучаева. 2017. № 88. С. 121–137. DOI: 10.19047/0136-1694-2017-88-121-137.
2. Чернышов М.П. Особенности роста и состояние культур дуба черешчатого в Центральном Черноземье // Плодоводство, семеноводство, интродукция древесных растений. 2021. Т. 24. С. 197–200.
3. Сиволапов А.И., Благодарова Т.А., Кошелев А.Ю. Выращивание крупномерных сеянцев дуба черешчатого с применением минеральных удобрений // Успехи современного естествознания. 2016. № 11–1. С. 70–74.
4. Примаков Н.В., Латифова А.С., Дубровин Е.Ю. Эффективность конструкции полезащитных лесных насаждений Краснодарского края // Успехи современного естествознания. 2022. № 10. С. 41–45.
5. Грибачева О.В. Современное состояние полезащитной полосы с участием дуба черешчатого (*Quercus robur* L.) и клена остролистного (*Acer platanoides* L.) // Лесной журнал. 2019. № 4. С. 34–44. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.4.34.
6. Иванова Е.Ю. Проведение лесопатологической оценки состояния растительности в границах городских особо охраняемых территорий на основе Российского и Белорусского экологического законодательства // Успехи современного естествознания. 2022. № 12. С. 39–43.
7. Кочергина М.В., Фурменкова Е.С. Мучнистая роса на объектах ландшафтной архитектуры города Воронежа // Лесотехнический журнал. 2020. № 4. С. 160–180. DOI: 10.34220/issn.2222-7962/2020.4/14.
8. Олива Т.В., Колесниченко Е.Ю., Панин С.И., Андреева Н.В. Экологические аспекты производства и применения вермикомпоста // Актуальные вопросы сельскохозяйственной биологии. 2022. № 4 (26). С. 41–46.
9. Суцук Н.А., Кисличенко В.С., Кузнецова В.Ю. Изучение хлорофиллов и каротиноидов выжимок плодов *Ribes nigrum* // Научные ведомости. Серия медицина. Фармация. 2013. № 25 (168). Вып. 24/1. С. 72–74.

СТАТЬИ

УДК 551.311.234:630*114.35

DOI 10.17513/use.38203

**ТРАНСФОРМАЦИЯ ЛЕСНОГО ОПАДА
В РАЗЛИЧНЫХ СУБСТРАТНЫХ УСЛОВИЯХ
НОВООБРАЗОВАННЫХ ПОЧВ
БЕЛЛИГЕРАТИВНЫХ ЛАНДШАФТОВ****Голеусов П.В.***ФГАОУ ВО «Белгородский государственный национальный исследовательский университет»,
Белгород, e-mail: goleusov@bsu.edu.ru*

В статье представлены результаты экспериментального определения состава, динамики и трансформации опада и подстилки в различных субстратных условиях лесных экосистем, сформировавшихся на участках, нарушенных ведением боевых действий в период Великой Отечественной войны. Проведено сравнение показателей деструкционного блока экосистем при различном сочетании субстратно-фитоценологических условий. Определены показатели массы подстилки, ее состава, опадо-подстилочные коэффициенты, коэффициенты трансформации и гумификации опада. Установлено, что эти показатели определяются как типом лесных сообществ, так и субстратными условиями. Ежегодно в органическое вещество почв переходит от 6 до 14% массы лесного опада, в зависимости от субстратных условий. В почву рецентных лесных экосистем бelligеративных ландшафтов Курской битвы поступает ежегодно от 174 до 552 г/м² опада, что после гумификации приводит к накоплению до 50 г/м² органического вещества в почве. На песчаных субстратах коэффициент гумификации выше, подстилка разлагается быстрее, а почвы характеризуются более высокой биологической активностью, чем на суглинистых и глинистых субстратах. Почвообразовательная способность определенного типа лесного биогеоценоза зависит от таких факторов, как количество опада, его биохимический состав, свойства эдафотопы.

Ключевые слова: лесной опад, лесная подстилка, трансформация опада, гумификация, органическое вещество почв, эдафические условия, новообразованные почвы, бelligеративные ландшафты

**TRANSFORMATION OF FOREST LITTER IN DIFFERENT
SUBSTRATE CONDITIONS OF NEWLY FORMED SOILS
OF BELLIGERATIVE LANDSCAPES****Goleusov P.V.***Belgorod National Research University, Belgorod, e-mail: goleusov@bsu.edu.ru*

The article presents the results of an experimental determination of the composition, dynamics and transformation of forest fall and litter in various substrate conditions of forest ecosystems formed in areas disturbed by military operations during the II World War. A comparison was made of the indicators of the destruction block of ecosystems under different combinations of substrate-phytocenotic conditions. Indicators of litter mass, its composition, fall-litter coefficients, coefficients of transformation and humification of litter were determined. It has been established that these indicators are determined both by the type of forest ecosystems and substrate conditions. Every year, from 6 to 14% of the mass of forest fall passes into soil organic matter, depending on substrate conditions. The soil of recent forest ecosystems of the belligerative landscapes of the Battle of Kursk receives annually from 174 to 552 g/m² of litter, after humification leading to the accumulation of up to 50 g/m² of organic matter in the soil. On sandy substrates, the humification coefficient is higher, litter decomposes faster, and soils are characterized by higher biological activity than on loamy and clayey substrates. The soil-forming potential of a certain type of forest biogeocenosis depends on factors such as: the amount of litter, its biochemical composition, properties of edaphotope.

Keywords: forest fall, forest litter, litter transformation, humification, soil organic matter, edaphic conditions, newly formed soils, belligerative landscapes

В лесных экосистемах основная часть (82–93%) органического вещества поступает в почву с опадом надземных частей древесного яруса [1]. Трансформация органического вещества является ведущим элементарным процессом почвообразования на начальных стадиях развития почв посттехногенных ландшафтов [2]. Особенность новообразованных почв антропогенно нарушенных ландшафтов связана с высокой зависимостью их свойств от субстратных условий и, как следствие, сильной варибель-

ностью результатов почвообразования [3]. Целью данного исследования является экспериментальная оценка показателей трансформации и гумификации подстилки в лесных экосистемах бelligеративных ландшафтов времен Курской битвы. Полученные данные дополняют более распространенные сведения о функционировании деструкционного блока экосистем в посттехногенных ландшафтах [4–6], а также оценки поступления и депонирования органического вещества в их новообразованных почвах [7–10].

Материалы и методы исследования

Исследования проведены в экосистемах, восстановившихся после прекращения боевых действий в 1943 г., приуроченных к линиям обороны советских и германских войск в окрестностях Белгорода, Белгородском и Яковлевском районах. Их особенностью является локальное нарушение почвенного покрова при сооружении окопов, траншей, в результате взрывов, а также почти полное уничтожение древостоя с последующим его порослевым и семенным возобновлением. В урочище Сосновка г. Белгорода в 1948 г. были произведены лесопосадки сосны обыкновенной, т.е. лесовозобновление было искусственным. Все учеты опада и подстилки, а также эксперименты по трансформации и гумификации проводили на нарушенных участках: брустверах окопов, выбросах из воронок, т.е. на новообразованных почвах с мощностью гумусового горизонта 5–14 см. Во всех случаях сомкнутость древостоя была не ниже 70%. Околоствольные и межкрупные пространства исключали. Учет опада и подстилки производили в 3–4-кратной повторности выборкой из шаблонных рамок 25×25 см, с последующим ручным разбором и взвешиванием фракций в абсолютном сухом состоянии (высушивание в термостате при температуре 105°C не менее 4 ч с контролем массы до полного высыхания). Для оценки динамики состава подстилки определения производили в 4 срока: в октябре, после листопада, в апреле, июле, сентябре. Всего исследовано 45 объектов.

Для оценки трансформации и гумификации опада проводили эксперимент в пластиковых (ПЭТ) емкостях, с перфорированным дном, заполненных почвой массой 100 г, в которой предварительно определяли содержание органического вещества по методу И.В. Тюрина в модификации ЦИНАО. В емкости поверх почвы закладывали навески свежего опада в реальном соотношении компонентов (определенном заранее), в количестве, обеспечивающем прибавку гумуса в 20%,

и закрывали полимерной сеткой с ячейкой 2×2 мм для предотвращения поступления нового опада. Емкости в 3-кратной повторности + контроль (почва без растительного материала) экспонировали в почвенных траншеях глубиной 7 см в октябре сроком на 1 год. Для проведения эксперимента выбрано 10 объектов, различающихся сочетанием субстратно-фитоценологических условий. После экспонирования остатки опада взвешивали, а в почве определяли содержание органического вещества. По полученным данным производили расчет коэффициентов трансформации и гумификации опада.

Расчет коэффициента гумификации (K_r) вели по формуле [11]:

$$K_r = [(B - A) + (A - B)] \cdot 1,724 / \Gamma,$$

где K_r – коэффициент гумификации; А – содержание углерода в исходной почве, Б – после разложения, %; В – содержание углерода в почве контрольного образца после экспонирования, %; Г – масса растительных остатков, г; 1,724 – коэффициент перевода углерода в гумус.

Коэффициент трансформации ($K_{тр}$) рассчитывали как отношение убыли массы опада после разложения к исходной массе опада.

Для оценки биологической (целлюлолитической) активности почвы в апреле на тех же объектах закладывали неокрашенное льняное полотно, пришитое к полиэтиленовым подложкам, в профили новообразованных почв сроком на 2 месяца (аппликационный метод [12]), в 3-кратной повторности.

Результаты исследования и их обсуждение

На основе анализа данных учета опада по 45 объектам, автором выделено 5 типов лесных фитоценозов, различающихся количеством опада (табл. 1), независимо от субстратных условий. Больше всего опада образуется в кленовых и липовых лесах, их насаждения превосходят по количеству ежегодного опада дубняки, а те, в свою очередь, – сосновые леса.

Таблица 1

Средняя масса и размах варьирования древесного опада (г/м²) в разных типах лесных экосистем бelligеративных ландшафтов

| Сосняки (травяные) | Осинники (осоковые, злаковые) | Дубняки (сньтьевые, осоковые) | Липо-(клено-) дубняки (сньтьевые, осоковые) | Кленовые и липовые леса (сньтьевые, осоковые) |
|---------------------------|-------------------------------|-------------------------------|---|---|
| 226,16 (173,60–270,72) | 360,96 (305,28–431,84) | 389,90 (295,68–475,68) | 430,14 (318,72–524,00) | 458,40 (369,44–551,84) |

Таблица 2

Масса подстилки, опада (г/м²) и опадо-подстилочные коэффициенты (ОПК) для различных экотопов лесных экосистем беллигеративных ландшафтов

| Субстрат | Тип леса | | | | | | | | | |
|----------|--------------------|------|-------------------|------|--------------------|------|----------------------|------|-----------------------|------|
| | Сосняк | | Осинник | | Дубрава | | Липо-(клено-) дубняк | | Кленовый, липовый лес | |
| | Подстилка Опад | ОПК | Подстилка Опад | ОПК | Подстилка Опад | ОПК | Подстилка Опад | ОПК | Подстилка Опад | ОПК |
| Песок | $\frac{1010}{244}$ | 4,14 | $\frac{355}{396}$ | 0,90 | $\frac{1044}{383}$ | 2,73 | – | – | $\frac{387}{439}$ | 0,88 |
| Суглинок | – | – | $\frac{347}{299}$ | 1,16 | $\frac{664}{390}$ | 1,70 | $\frac{616}{470}$ | 1,31 | $\frac{361}{460}$ | 0,78 |
| Глина | – | – | $\frac{494}{354}$ | 1,40 | $\frac{754}{402}$ | 1,88 | $\frac{836}{453}$ | 1,84 | – | – |
| Мел | – | – | – | – | $\frac{1189}{378}$ | 3,15 | $\frac{858}{435}$ | 1,97 | $\frac{647}{478}$ | 1,35 |

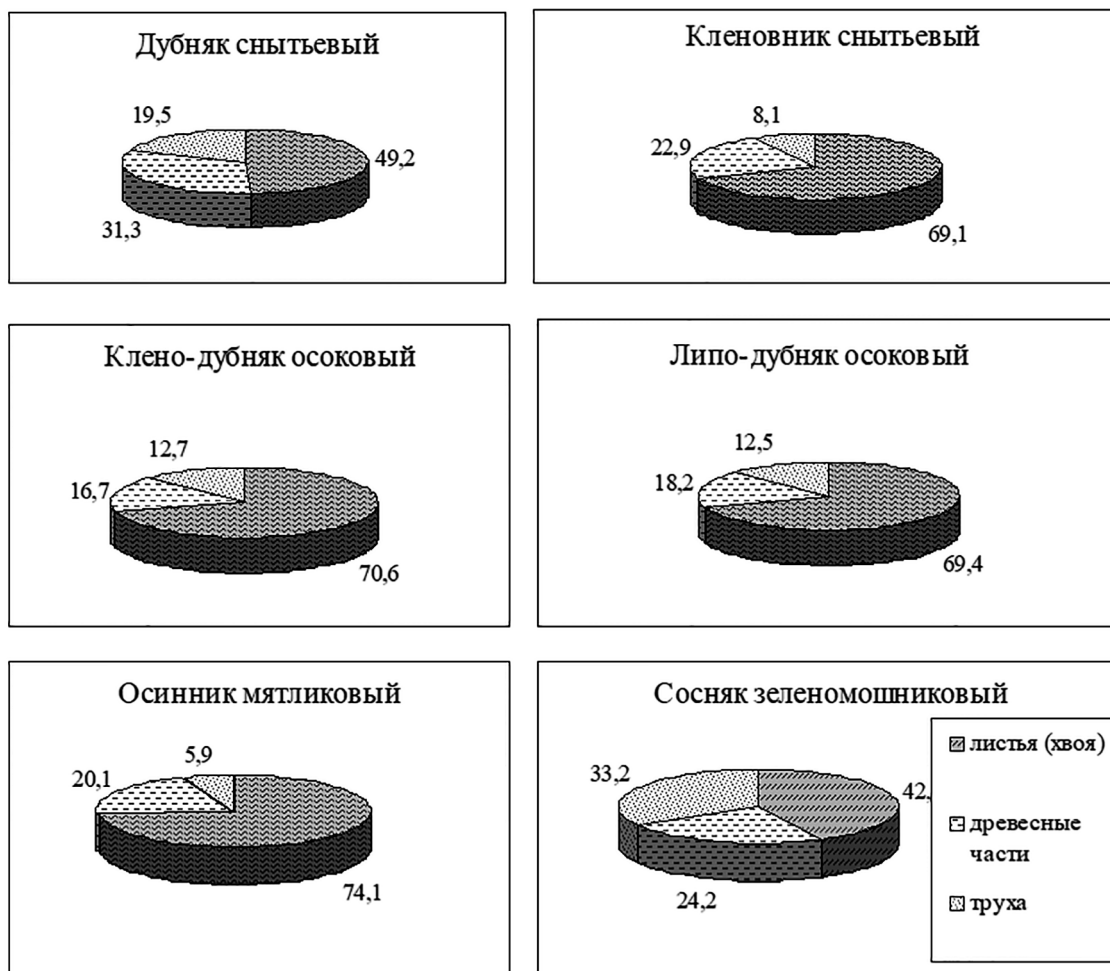


Рис. 1. Фракционный состав подстилки (%) в разных типах леса

После отделения свежего опада его масса сопоставлена с массой подстилки – неразложившегося опада прошлых лет, рассчитан

опадо-подстилочный коэффициент, который может быть использован для оценки интенсивности разложения опада и косвенно –

скорости биологического круговорота. Результаты представлены в табл. 2. Учитывая, что на скорость разложения подстилки влияет тип субстрата, результаты дифференцированы по четырем типам почвообразующих пород: песок, суглинок (в разной степени выщелоченный от карбонатов), глина и мел. В целом состав опада существенно определяет скорость его трансформации. Быстрее всего разлагается опад клена остролистного, медленнее – дуба и сосны.

Тип субстрата также влияет на скорость разложения подстилки: ОПК выше на мелу, чем на глине и суглинке. На песке ОПК зависит от состава опада: в дубравах и сосняках, опад которых разлагается медленнее опада мягколиственных пород, происходит накопление подстилки на песчаном суб-

страте, в то время как под осиновым и кленовым лесом масса опада превышает массу подстилки в этих эдафических условиях.

О степени и скорости трансформации опада может свидетельствовать состав подстилки. Были выделены три фракции: листья (хвоя), веточки и труха, которая представляет собой результат фрагментации опада в процессе его разложения. Фракция трухи накапливается, если в почвах нет или мало ее потребителей – крупных сапрофагов, в первую очередь дождевых червей. На рис. 1 представлено соотношение фракций подстилки в некоторых исследованных типах леса.

Доля трухи выше в сосновых и дубовых лесах, что характеризует замедление разложения подстилки в этих экосистемах.

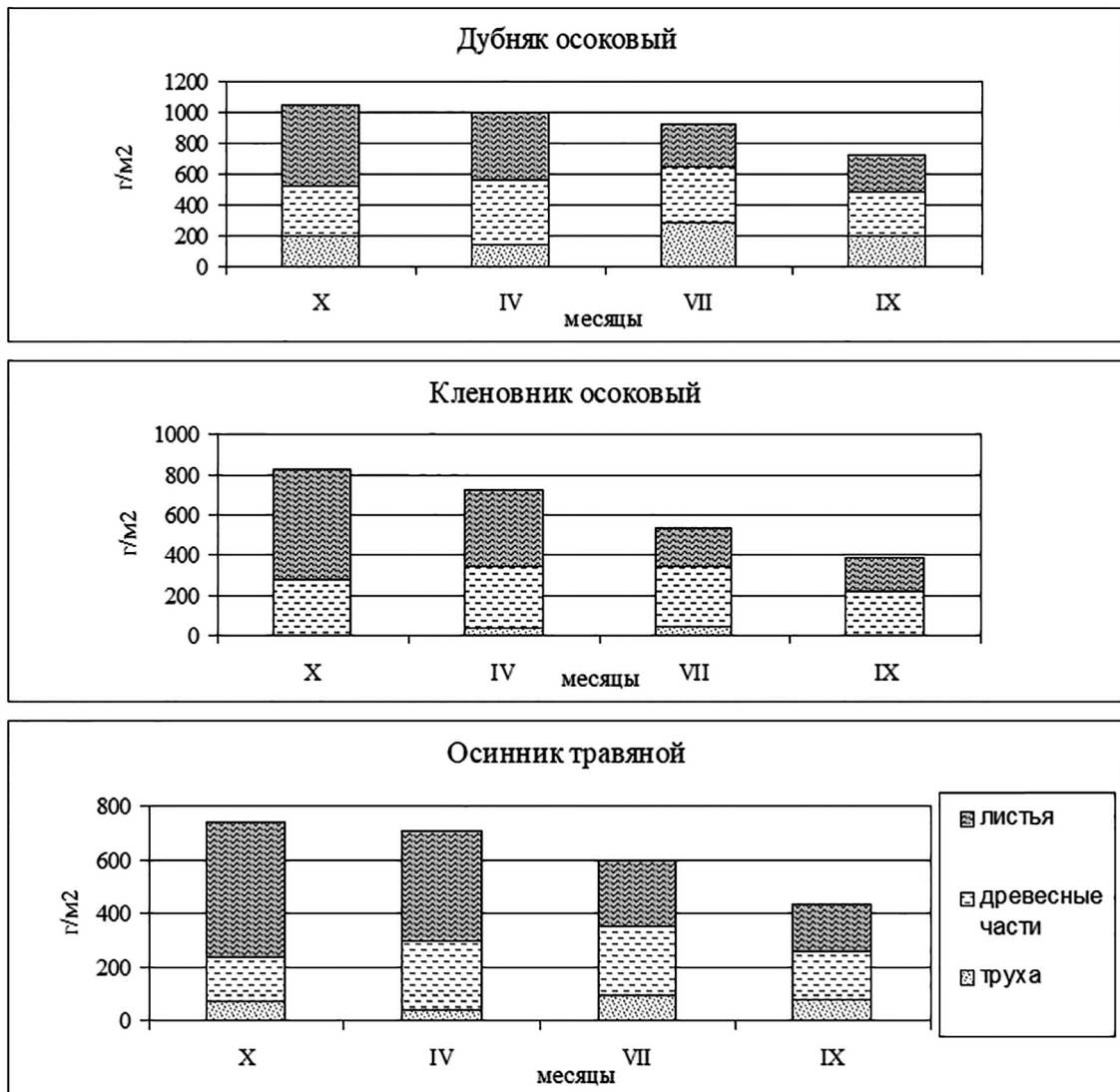


Рис. 2. Динамика запаса и фракционного состава подстилки в разных типах леса

Таблица 3

Коэффициенты гумификации (K_r), трансформации ($K_{тр}$) и биологическая активность почв (БАП) в различных лесных экотопах

| Тип леса (состав*) | ОВП в гор. А, %** | $K_{тр}$ | K_r | $K_r / K_{тр}$ | БАП, % разложения полотна |
|--|-------------------|----------|-------|----------------|---------------------------|
| Песок | | | | | |
| Дубняк травяно-мертвопокровный (10Д) | 2,78 | 0,55 | 0,10 | 0,18 | 41,38 |
| Сосново-березовый лес травяной (7БЗС) | 2,44 | 0,64 | 0,13 | 0,20 | 52,86 |
| Дубо-осинник осоковый (8О2Д) | 2,46 | 0,60 | 0,14 | 0,23 | 41,67 |
| Дубо-липо-кленовник осоковый (7Ко2Л1Д+О) | 3,22 | 0,72 | 0,09 | 0,13 | 47,58 |
| Суглинок лессовидный карбонатный | | | | | |
| Дубняк осоковый (10Д) | 5,22 | 0,54 | 0,07 | 0,13 | 18,49 |
| Дубо-кленовник снытьевый (8Ко2Д) | 4,94 | 0,56 | 0,08 | 0,14 | 42,60 |
| Клено-дубняк осоковый (8Д2Ко) | 4,14 | 0,52 | 0,06 | 0,12 | 25,66 |
| Суглинок лессовидный выщелоченный | | | | | |
| Липо-дубняк осоковый (7ДЗЛ) | 3,72 | 0,55 | 0,09 | 0,16 | 30,25 |
| Глина | | | | | |
| Дубняк травяно-мертвопокровный (10Д) | 4,93 | 0,41 | 0,07 | 0,17 | 19,68 |
| Мел | | | | | |
| Дубняк снытьевый (10Д) | 4,96 | 0,40 | 0,08 | 0,20 | 24,29 |

Примечание: * – формула древостоя (общепринятые сокращения названий древесных пород и их доля в лесном пологе); ** – содержание органического вещества в почве перед проведением эксперимента.

Чтобы выявить период наиболее активной трансформации и гумификации подстилки, были проведены ее учеты в четыре срока, с оценкой фракционного состава. Результаты представлены на рис. 2.

В весенне-летний период происходит наиболее активная трансформация и, вероятно, гумификация подстилки. Перед листопадом достигаются минимальные значения запаса подстилки. Доля трухи максимальна в летний период, чему способствует активная трансформация опада с его фрагментацией, а потом снижается вследствие активизации деятельности сапрофагов в осенний период.

Наиболее информативным для оценки потока органического вещества в почву исследованных экосистем стало экспериментальное определение коэффициентов трансформации и гумификации лесного опада. Результаты двухфакторного эксперимента (тип леса/тип субстрата) представлены в табл. 3.

Безусловно, соблюсти чистоту эксперимента было довольно сложно. Это связано с особенностями методики: емкости хотя и обеспечивали доступ сапрофагов в под-

стилку, но считать этот доступ аналогом их природной активности нельзя. Отток жидкости из емкостей, несмотря на перфорирование дна, вероятно, также не был полностью аналогичен природному. Различия субстратов были связаны не только с их водно-физическими свойствами, но и с разным исходным содержанием органического вещества (гумуса). Для оценки процессов биологической (целлюлозолитической) активности использовали степень разложения льняного полотна.

За год в эксперименте трансформировалось от 40 до 72% опада. Наиболее активной трансформация была на песке, наименьшей – на мелу. Коэффициенты гумификации, как свидетельствуют данные табл. 3, также в большей степени зависят от типа субстрата, чем от типа опада, варьируют от 0,06 до 0,14, что соответствует максимальному поступлению гумуса до 50 г/м² в год. Еще раз подчеркнем, что речь идет о гумификации свежего опада, а не подстилки в целом. Поэтому реальное поступление органического вещества в почву в исследованных объектах несколько выше, в том числе и с учетом опада и отпада корней.

Полученные результаты позволяют сделать вывод о том, что в почвах легко-го механического состава происходит довольно интенсивный оборот органического вещества с его минерализацией, как в виде детрита, так и в виде гумуса. В итоге органическое вещество в песчаных почвах накапливается менее интенсивно, чем на субстратах с более развитыми сорбционными свойствами. Этому способствует относительно высокая микробиологическая активность почв (см. колонку «БАП» в табл. 3). Эффективность гумификации (выраженная в отношении K_f/K_{fp}) также снижается с утяжелением механического состава почвы. Интересно, что наличие карбонатного субстрата (мел) способствует повышению эффективности гумификации, несмотря на то, что трансформация опада имеет на этом субстрате минимальное значение. Вероятно, в данном случае сказывается фиксация про-гумусовых веществ ионами кальция.

Выявлена отрицательная статистическая зависимость коэффициентов трансформации и гумификации от исходного содержания гумуса в почве. Для K_{fp} она составила ($r \pm S_r$) $-0,66 \pm 0,26$, для K_f $-0,84 \pm 0,19$, значима при $P = 0,95$. Можно предположить, что интенсивность трансформации и гумификации находится в обратной нелинейной зависимости от исходного содержания гумуса в почве, с учетом ее гранулометрического состава. Но так как этот фактор связан с различием почвообразующих пород и в эксперименте не учитывался, то данная закономерность нуждается в специальной проверке на одном типе субстрата с разным содержанием органического вещества. В работе [13] отмечается, что способность почвы накапливать углерод зависит от ее гранулометрического состава и степени насыщенности органическим веществом.

Таким образом, в ходе проведенного исследования автором получены эмпирические обоснования причин установленных ранее [4] различий результатов рецентного почвообразования в почвах беллигеративных ландшафтов Курской битвы. Эти различия определяются количеством и составом опада, а также типом почвообразующей породы новообразованных почв, их способностью накапливать продукты гумификации. Для ускоренного воспроизводства почв антропогенно нарушенных ландшафтов (посттехногенных, беллигеративных и др.) важно дать оценку в первую очередь субстратных условий, при необходимости

их оптимизировать, а затем подобрать тип растительного сообщества, который будет обеспечивать максимальное поступление органического вещества в почву. Среди исследованных зональных лесных экосистем такой способностью обладают фитоценозы, сформированные дубом со значительным участием клена остролистного и липы сердцевидной. Чистые дубовые насаждения формируют менее значительный поток органического вещества в почву и, соответственно, меньший почвообразовательный потенциал, по сравнению со спутниками дуба – кленом и липой.

Заключение

В почву рецентных лесных экосистем беллигеративных ландшафтов Курской битвы поступает ежегодно от 174 до 552 г/м² опада, который трансформируется с различной интенсивностью, но не менее чем на 40% (до 72%) в первый год, приводя к накоплению до 50 г/м² органического вещества в почве.

Проведенные исследования подтверждают предположение о дифференцирующем влиянии на деструкционный блок лесных экосистем сочетания субстратно-фитоценологических условий. При этом тип субстрата в таком влиянии более значим, чем состав древостоя (опада), так как формирует эдафические условия для почвенных деструкторов органического вещества и физико-химические условия образования в почве гумуса и его накопления. Почвообразовательная способность определенного типа лесного биогеоценоза зависит от таких факторов, как количество опада, его биохимический состав, свойства эдафотопы.

В управлении процессом формирования лесных экосистем в антропогенно нарушенных ландшафтах важно разумно сочетать оба фактора, использовать их наиболее эффективные комбинации в конкретных субстратных условиях.

Список литературы

1. Ремезов Н.Н. Разложение лесной подстилки и круговорот элементов в дубовом лесу // Почвоведение. 1961. № 7. С. 1–12.
2. Соколов Д.А., Андроханов В.А., Кулижский С.П., Доможакова Е.А., Лойко С.В. Морфогенетическая диагностика процессов почвообразования на отвалах каменноугольных разрезов Сибири // Почвоведение. 2015. № 1. С. 106–117.
3. Голесов П.В. Формирование почв в различных комбинациях субстратно-фитоценологических условий лесостепной зоны // Почвоведение. 2003. № 9. С. 1050–1060.
4. Шугалей Л.С. Лесное почвообразование на отвалах вскрышных пород угольного разреза Назаровской котловины // Отражение био-, гео-, антропоферных взаимодей-

ствий в почвах и почвенном покрове: сборник материалов V Международной научной конференции, посвященной 85-летию кафедры почвоведения и экологии почв ТГУ (Томск, 7–11 сентября 2015 г.) / Под ред. С.П. Кулижского (отв. ред.), Е.В. Каллас, А.В. Родиковой, Т.А. Новокрещенных. Томск: Издательский Дом Томского государственного университета, 2015. С. 473–476.

5. Дубынина С.С. Пространственно-временные изменения надземной массы в экосистемах отвалов после угледобычи // Успехи современного естествознания. 2017. № 9. С. 57–62.

6. Колмогорова Е.Ю., Уфимцев В.И. Некоторые особенности химического состава опада сосны обыкновенной, произрастающей в условиях породного отвала // Успехи современного естествознания. 2018. № 11–2. С. 267–272.

7. Трефилова О.В., Спорыхина Т.А. Балансовый метод в оценке скорости гумусообразования на породных промышленных отвалах // Почвенные ресурсы Сибири: вызовы XXI века. Новосибирск: Издательский Дом Томского государственного университета, 2017. С. 208–211.

8. Кузнецова А.И., Лукина Н.В., Тихонова Е.В., Горнов А.В., Горнова М.В., Смирнов В.Э., Гераськина А.П., Шевченко Н.Е., Тебенькова Д.Н., Чумаченко С.И. Аккумуляция углерода в песчаных и суглинистых почвах равнинных

хвойно-широколиственных лесов в ходе восстановительных сукцессий // Почвоведение. 2019. № 7. С. 803–816.

9. Кузнецова А.И., Лукина Н.В., Горнов А.В., Горнова М.В., Тихонова Е.В., Смирнов В.Э., Данилова М.А., Тебенькова Д.Н., Браславская Т.Ю., Кузнецов В.А., Ткаченко Ю.Н., Геникова Н.В. Запасы углерода в песчаных почвах сосновых лесов на западе России // Почвоведение. 2020. № 8. С. 959–969.

10. Лиханова И.А., Кузнецова Е.Г., Холопов Ю.В., Денева С.В., Лаптева Е.М. Почвенное органическое вещество и запасы углерода в почвах техногенных ландшафтов средней тайги европейского северо-востока России // Лесохозяйственная информация. 2022. № 3. С. 125–134.

11. Чесняк Г.Я. К методике определения коэффициентов гумификации растительных остатков и навоза в черноземах типичных лесостепи в условиях зерново-свекловичного оборота // Агрохимия и почвоведение. 1986. Вып. 49. С. 79–84.

12. Звягинцев Д.Г. Методы почвенной микробиологии и биохимии. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1991. 224 с.

13. Когут Б.М., Семенов В.М. Оценка насыщенности почвы органическим углеродом // Бюллетень Почвенного института имени В.В. Докучаева. 2020. Вып. 102. С. 103–124.

УДК 502:91(470.620)
DOI 10.17513/use.38204

ПРОЕКТИРОВАНИЕ УЧЕБНОГО ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МАРШРУТА ПО ТЕРРИТОРИИ БОТАНИЧЕСКОГО САДА ИМЕНИ И.С. КОСЕНКО ДЛЯ МАЛОМОБИЛЬНЫХ ОБУЧАЮЩИХСЯ

Максименко А.Г., Хмара И.В., Колесникова И.П.

*ФГБОУ ВО «Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина»,
Краснодар, e-mail: ecolog@kubsau.ru*

В статье представляется проект экскурсионного образовательного природоведческого маршрута, проложенного по территории ботанического сада. Проектная работа проводилась для получения готового экскурсионного продукта, который востребован многочисленными организованными и неорганизованными целевыми аудиториями. Ботанический сад располагается в городской черте, используется местными жителями для рекреационной деятельности, а также является территорией для проведения учебной, исследовательской и просветительской работы студентов Кубанского государственного аграрного университета и обучающихся общеобразовательных школ Краснодара. С помощью учебных экологических маршрутов можно выполнять одновременно несколько задач, в числе которых профориентация подрастающего поколения, обучение и демонстрация приемов и методик научных геоботанических исследований, привитие экологической культуры и повышение общей осведомленности по аграрным и биологическим направлениям. В результате исследования представлена общая характеристика экскурсионного маршрута, приведено описание и поэтапное проведение экскурсии. Также предлагается хронологический подход в использовании методик показа и повествования образовательного материала, указаны особенности инфраструктурной обеспеченности данного маршрута и его адаптированность для маломобильных участников. Учебный экологический маршрут может проводиться в нескольких аспектах по цели и конечному результату, итог при этом зависит от контингента участников, изложенного материала и демонстрируемых объектов. Частично элементы данного маршрута уже реализуются, основными участниками являются студенты агроэкологических направлений подготовки вузов Краснодара.

Ключевые слова: Краснодар, ботанический сад, экологический маршрут, доступная среда, экологическое просвещение, научно-популярный туризм

DESIGN OF AN EDUCATIONAL ECOLOGICAL ROUTE THROUGH THE TERRITORY OF THE BOTANICAL GARDEN NAMED AFTER I.S. KOSENKO FOR LIMITED MOBILE STUDENTS

Maksimenko A.G., Khmara I.V., Kolesnikova I.P.

Kuban State Agrarian University named after I.T. Trubilin, Krasnodar, e-mail: ecolog@kubsau.ru

The article presents a project of an excursion educational natural history route laid through the territory of the Botanical Garden. The design work was carried out to obtain a finished excursion product that is in demand by numerous organized and unorganized target audiences. The Botanical Garden is located in the city limits, is used by local residents for recreational activities, and is also a territory for conducting educational, research and educational work for students of Kuban State Agrarian University and students of secondary schools in Krasnodar. With the help of educational ecological routes, several tasks can be performed simultaneously, including career guidance for the younger generation, training and demonstration of techniques and techniques of scientific geobotanical research, instilling ecological culture and raising general awareness in agricultural and biological areas. As a result of the research, the general characteristics of the excursion route are presented, a description and a phased tour are given. A chronological approach is also proposed in the use of methods of showing and narrating educational material, the features of the infrastructural provision of this route and its adaptability for low-mobility participants are indicated. The educational ecological route can be carried out in several aspects according to the goal and the final result, the result depends on the contingent of participants, the material presented and the objects demonstrated. Some of the elements of this route are already being implemented, the main participants are students of agro-environmental training areas of Krasnodar universities.

Keywords: Krasnodar, botanical garden, ecological route, accessible environment, environmental education, popular science tourism

Долгое время учеными бережно сохраняется и преумножается богатство растительного многообразия Ботанического сада имени И.С. Косенко. Его территория используется в рекреационных целях жителями Краснодара, а уникальные коллекции растений служат для развития науки. Сейчас актуальность экологического про-

свещения весьма существенно проявляется в обширном интересе со стороны молодежи, и если территория с уникальными природными комплексами общедоступна, то будет вполне разумно организовать целенаправленное обучение по природоведческим маршрутам с определенной обозначенной тематикой и сопровождающим

в лице квалифицированного экскурсовода. В данной статье предлагается рассмотреть возможности использования территории ботанического сада для образовательных маршрутов, сделав их доступными маломобильным обучающимся, школьникам и студентам. Также этот маршрут может служить популяризации экологического просвещения молодежи.

Цель исследования заключается в проектировании образовательного маршрута и обосновании его проведения с условием технологической адаптации для маломобильных обучающихся.

Для выполнения поставленной цели следует привести краткую аннотацию паспорта маршрута, согласно установленному государственному стандарту, характеризующему проектирование туристского маршрута (экскурсии), охарактеризовать приоритетные объекты показа и рассказа в соответствии с программой экологического маршрута и определенной цели, составить хронометраж прохождения трассы маршрута. Для начала необходимо обозначить более четко целевую аудиторию потребителей, практическую значимость внедрения учебного экологического маршрута для маломобильных обучающихся.

Материалами, использованными для данной работы, в первую очередь послужили опубликованные описания территории ботанического сада, которые позволили проложить маршрут и обозначить приоритетные цели проводимой экскурсии. Систематизация предыдущего опыта проведения учебных экскурсий по ботаническим коллекциям для студентов, общеобразовательных маршрутов по территории для школьников дает возможность рассчитать время прохождения маршрута и последовательность показа и повествования о ботанических объектах.

Материалы и методы исследования

Территория Ботанического сада имени И.С. Косенко является структурным подразделением Кубанского государственного аграрного университета имени И.Т. Трубилина, открыта для посещений с 2007 г. Сейчас территория огорожена, охраняется и используется в качестве рекреационного объекта местными жителями и гостями города. Интерес к ботаническому саду разносторонний, изначально формировалась коллекция растений для фенологических наблюдений, научных исследований, пополнения растительного многообразия территории

Кубани. Позже оформился рекреационный интерес к природному парку со стороны местного населения.

Рассматривая историю, следует отметить, что с 1957 г. вся территория нынешнего ботанического сада начала активно облагораживаться и начал создаваться дендрарий при Кубанском сельскохозяйственном институте, нынешнем Кубанском ГАУ. По утвержденному проекту И.А. Уманцевой сначала разбивались участки, подготавливались в питомниках саженцы, которые затем высаживались по аллеям, секторам, и спустя годы более 40 тыс. разнообразных видов деревьев и кустарников заняли свои места. Как отмечают источники, изначально собиралась уникальная коллекция, многообразная по своему географическому охвату, при этом свыше 90% всех растений ботанического сада было выращено из семян [1].

Сейчас значительное число видов растений используются в научно-исследовательских целях, выступая уникальным наглядным экспонатом, используемым в образовательном процессе [2]. Натурные исследования дают основу для сбора материалов к диссертационным исследованиям ученых Кубанского государственного аграрного университета и многочисленных научно-исследовательских учреждений Юга России.

Территория ботанического сада выполняет незаменимую рекреационную функцию для большого числа жителей, и парковая зона эксплуатируется круглогодично, сезоны активной эксплуатации не выделены, также не определено время на восстановление после интенсивной рекреационной нагрузки для поврежденных ботанических объектов и санитарных мероприятий, которые требуются для ухода за территорией и коллекциями растений. Среди посетителей довольно многочисленны отдыхающие молодые люди, занимающиеся трекинг-маршрутами, прогуливающиеся родители с детьми младшего и среднего школьного возраста, люди преклонного возраста. Велика доля активного трудоспособного населения, приходящего прогуляться в каникулярные и выходные дни. Нередко также встречаются пикники на газонах и лавочках, расположенных вдоль аллей парка.

Однако следует учитывать значительное число молодых посетителей, юношей и девушек, которые пребывают на территории ботанического сада с познавательными целями, к числу которых относятся обучающиеся Кубанского ГАУ естественнонауч-

ных направлений. Среди студентов университета также есть ребята, испытывающие сложности в передвижении по обширным открытым территориям.

С 2008 г. подписана и действует Конвенция о правах людей с ограниченными возможностями здоровья, поддерживаемая в 50 государствах мира, в Российской Федерации действует Государственная программа «Доступная среда» [3]. В соответствии с данной программой маломобильными группами населения являются не только инвалиды, но и лица пожилого возраста; дети-инвалиды в возрасте до 16 лет; люди с детскими колясками, а также временно нетрудоспособные люди. Особую группу составляют инвалиды, передвигающиеся в коляске с сопровождающим. Исключать маломобильных граждан из процессов жизненной активности не следует.

В настоящее время во многих российских ботанических садах активизируется научно-просветительская и образовательная работа [4–6]. Далее представлен проект природоведческого маршрута для обучающихся, имеющих сложности в передвижении на значительные расстояния. Основой проектирования экскурсионного маршрута является ГОСТ Р 50681-2010.

Целевая аудитория – обучающиеся школ Краснодара или Краснодарского края, старшего или среднего школьного возраста, маломобильные. Основная цель маршрута – познавательная, эколого-просветительская и профориентационная. Маршрут кольцевой, начало и завершение маршрута – северо-западный вход в Ботанический сад.

Результаты исследования и их обсуждение

Для проведения экскурсии организованную группу, не больше 15–20 чел., необходимо доставить к ботаническому саду на оборудованном для перевозки инвалидов автобусе (требования к транспорту приводятся в ГОСТ Р 50844-95). Для группы обучающихся обязательно наличие сопровождающих.

В начале маршрута есть оборудованная площадка (она находится под уклоном (1–3°)), которая оснащена указателями, мнемосхемой и постом охраны. Также имеются санузел и парковка для автотранспорта (рис. 1).

Наиболее приемлемое время для этого маршрута – с начала апреля по конец мая. Время начала экскурсии – 10.00, время окончания – 11.30. Данное время предпочтительно в связи с особенностями поведе-

ния мелких животных и птиц, обитающих на территории Ботанического сада: белок, соек, дятлов и пр.

Для участников экскурсии важно учесть вероятность дождя, что в большей степени связано с необходимостью передвижения по открытой местности. Осадки в целом не являются фактором, препятствующим проведению экскурсии. Крытых участков по маршруту движения не имеется, и весь маршрут проходит между деревьями по аллеям парка.

Основным лицом, ведущим экскурсионный маршрут, является экскурсовод, его роль определена требованиями безопасности и условиями проведения организованной экскурсии. Экскурсовод должен отметить в самом начале маршрута, в какой части в данное время находится группа, и указать конечное место сбора для отстающих посетителей. Также требуется сориентировать участников группы по сторонам света, имеющимся указателям и ориентирам для дальнейшего передвижения.



Рис. 1. Схема маршрута № 1 на карте ботанического сада

Следуя согласованно, по маршруту движения, экскурсовод, выполняя педагогическую и просветительскую роль, ведет за собой группу, демонстрирует ботанические объекты, используя методы показа и рассказа, для визуализации уникальных характеристик коллекции растений. Места для остановок группы оснащены лавочками, дорожки благоустроены, имеется твердое покрытие (рис. 2).



Рис. 2. Территория ботанического сада с лавочками вдоль дорожно-тропиночной сети

Показ территории следует проводить, взяв за основу план ботанического сада (рис. 3). Секторы растений и описания уникальных коллекций, которые являются объектами показа и рассказа, описываются экскурсоводом, при этом демонстрируется наиболее близко к экскурсантам расположенный ботанический объект.



Рис. 3. Картограмма территории с обозначенными секторами по видам растений

Для верного представления должны быть составлены карточки экскурсионных объектов, информация на которых может цитировать опубликованные источники, а может быть представлена авторским тек-

стом экскурсовода, если в программу включена беседа, тематический опрос, конкурс или викторина для участников. Визуальная часть экскурсии дает возможность запечатлеть все, что преподносится в речи экскурсовода [1].

Маршрутная программа рассчитывается на 1–1,5 ч, с остановками по ходу движения и контактными мероприятиями: тактильное взаимодействие с растительностью (до 5 мин), слушание пения птиц (до 5 мин), фотографирование цветущих, в том числе редких растений (до 10 мин), вдыхание ароматов растительности, обладающей уникальными, в том числе лечебными свойствами (до 5 мин). Именно этими характеристиками экскурсия привязана ко времени своего проведения, а именно апрелю и маю, на которые приходится период активной вегетации, в том числе цветения растений.

Тактильная часть маршрута (с использованием органолептических свойств окружающей природной среды) не менее важна, нежели зрительная или аудиальная, что особенно проявляется для участников экскурсии с ограниченными возможностями по слуху или зрению. Для слабовидящих или незрячих посетителей предусмотрены мнемосхемы (рис. 4), которые дают изначально верное представление и возможность ориентироваться на местности, при этом организуется возможность исследовательской деятельности для участников, которые собирают фотоматериалы, в дальнейшем способны их использовать для познавательной активности и учебных проектов.

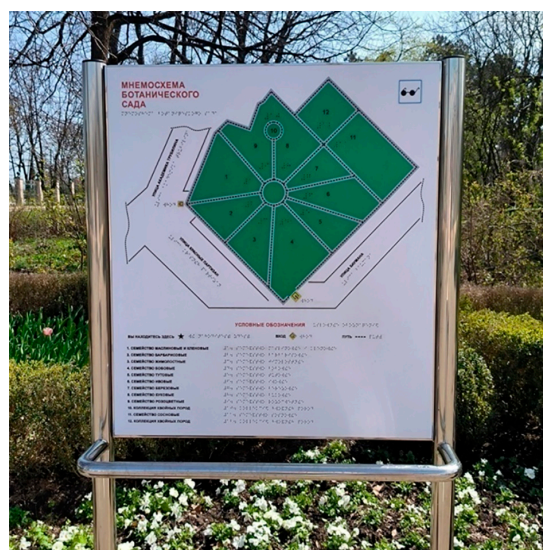


Рис. 4. Мнемосхема на территории ботанического сада

Просветительская часть маршрута содержит описание поведения животных и птиц, демонстрацией особенностей и результатов их жизнедеятельности в условиях данного ботанического сада. В отношении ботанических объектов следует применить метод рассказа и вовлечения для участников, которые могут сравнивать деревья, кустарники и прочие виды растений, характерные для степной зоны, и интродуцированные виды, привнесенные учеными из других широт, с особенностями их произрастания и размножения, а также возрастными особенностями отдельных особей одного вида растений. Данные наблюдения могут позволить удовлетворить познавательный интерес и развить способности участников экскурсии для реализации дальнейших исследовательских интересов.

Завершение маршрута должно сопровождаться напутствием для участников экскурсии делиться со сверстниками впечатлениями от уникальных участков охраняемых природных территорий, расположенных в пределах плотной городской застройки, а также передавать информацию о редких видах растений, которые усилиями ученых-естествоиспытателей адаптировались в местных климатических условиях.

Следует отметить, что данный маршрут сейчас на территории ботанического сада в таком содержании не реализуется, рассматривается в качестве перспективного. В регионах России имеется значительный опыт проведения обзорных ботанических экскурсий по коллекциям растений [7, 8]; в ходе выполнения просветительской работы для молодежи устраиваются учебные экскурсии по отдельным участкам ботанических садов [9]; экскурсии с элементами исследовательской деятельности по семенным лабораториям проводятся под руководством и контролем сотрудников лабораторий [10].

Значительная часть ботанических садов России функционирует в закрытом режиме для внешних посетителей, то есть в целях сохранения коллекций растений используется только для работы научных сотрудников [8, 9]. В этой связи Ботанический сад Кубанского ГАУ представляет собой редкое исключение, его территория открыта и доступна.

Внедрение результатов в практику

Составление этапов проведения экскурсии осуществлялось с применением хронометража движения. Фиксировалось время хода и время остановок перед объектом де-

монстрации. Программа движения и подачи информации вполне понятна для экскурсантов – учеников старших классов школы, подросткового возраста и молодежи.

В целом имеется четыре основных направления для использования представленного маршрута, в ходе которого также может проводиться работа по экологическому просвещению в ботаническом саду. Первое – это проведение учебных занятий, в том числе практических, для студентов вузов, колледжей и для школьников. Второе – проведение организованных узкоспециализированных экскурсий, открытых лекций, с приглашением к участию вузовских ученых, ведущих свои исследования на территории Ботанического сада. Третье – проведение просветительской работы с неорганизованными, самостоятельно приходящими в ботанический сад посетителями. Для них может проводиться экскурсионная программа в назначенное время и установленные даты, с условием предварительной записи. Четвертое – просвещение широкой общественности посредством использования сайта и страниц Ботанического сада имени И.С. Косенко в социальных сетях.

Заключение

Экскурсионное проектирование дает возможность планировать работу Ботанического сада имени И.С. Косенко, нормировать поток посетителей, а также рационально эксплуатировать ценный природный объект. В организованном, спланированном по времени и числу участников, цели и содержанию учебного материала, а также с учетом ожидаемого результата экскурсионном маршруте можно реализовать принципы эколого-просветительской, профориентационной и образовательной деятельности. Сотрудник ботанического сада, ведущий экскурсию, предоставит квалифицированную учебную информацию, лишенную дилетантского контекста, и адаптированную для той целевой аудитории, которая составит группу экскурсантов.

Список литературы

1. Чукуриды С.С., Криворотов С.Б., Москвитин С.А., Лавриненко А.В. Ботанический сад им. профессора И.С. Косенко Кубанского государственного аграрного университета. К 125-летию со дня рождения профессора И.С. Косенко // Экологический вестник Северного Кавказа. 2021. Т. 17, № 3. С. 4–18.
2. Максименко А.Г., Камбарова Е.А. Приоритетные инструменты развития концепции экологического туризма // Успехи современного естествознания. 2021. № 4. С. 59–63. DOI: 10.17513/use.37608.

3. Постановление Правительства Российской Федерации «Об утверждении государственной программы Российской Федерации “Доступная среда” на 2011–2020 гг.» от 1 декабря 2015 г. № 1297 (с изм. 21 июля 2017 г.). [Электронный ресурс]. URL: <https://base.garant.ru/71265834/> (дата обращения: 10.01.2024).
4. Мусинова Л.П., Калугин Ю.Г., Митина Е.Г. Экскурсия как форма организации просветительской деятельности Ботанического сада Петра Великого БИН РАН // Самарский научный вестник. 2020. Т. 9, № 1 (30). С. 259–267. DOI: 10.24411/2309-4370-2020-11308.
5. Цицилин А.Н. Экологическое образование в ботанических учреждениях (современное состояние, проблемы и пути их решения на примере ботанического сада ВИЛАР) // Новости науки в АПК. 2019. № 1–2 (12). С. 172–174. DOI: 10.25930/9wjb-1v19.
6. Якименко Л.В., Иваненко Н.В. Эколого-образовательный потенциал дендропарка Владивостокского государственного университета экономики и сервиса (ВГУЭС) // Азимут научных исследований: педагогика и психология. 2018. Т. 7, № 4 (25). С. 268–272.
7. Пещанская Е.В., Кожевников В.И., Цховребова В.В. Создание экспозиционной площадки в Ставропольском ботаническом саду // Вестник АПК Ставрополя. 2016. № 4 (24). С. 124–127.
8. Шумихин С.А. Экологическая концепция экспозиционного комплекса Ботанического сада Пермского университета // Ярославский педагогический вестник. 2012. Т. 2, № 4. С. 209–213.
9. Соловьева В.В. Роль учебной практики по ботанике в экологическом образовании бакалавров // Балтийский гуманитарный журнал. 2017. Т. 6, № 4 (21). С. 406–409.
10. Сафонова О.Н., Воронин А.А. Экскурсия по семенной лаборатории ботанического сада Воронежского государственного университета // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: География. Геоэкология. 2014. № 3. С. 112–115.

СТАТЬЯ

УДК 556.565/.566:626.86
DOI 10.17513/use.38205

**ИЗМЕНЕНИЕ СВОЙСТВ ГУМИНОВЫХ ВЕЩЕСТВ
ВЕРХОВОГО ТОРФА В ПРОЦЕССЕ ДЕГИДРАТАЦИИ**

¹Селянина С.Б., ¹Зубов И.Н., ¹Орлов А.С., ¹Пономарева Т.И., ¹Скрябина А.О.,
¹Шпанов Д.А., ²Соколова И.В., ²Чайковская О.Н., ²Федорова А.А.

¹ФГБУН ФИЦ комплексного изучения Арктики имени академика Н.П. Лаверова
Уральского отделения Российской академии наук, Архангельск, e-mail: gumin@fciarctic.ru;
²ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский государственный университет»,
Томск, e-mail: sokolova@phys.tsu.ru

Верховые торфяники низкой степени разложения широко распространены на севере материковой части России, что делает их значимым природным ресурсом при освоении этих территорий, предусмотренном стратегическими задачами развития нашей страны. Вместе с тем свойства торфа этих регионов, а также их трансформация при осушении, неизбежном в ходе вовлечения этих природных ландшафтов в хозяйственный оборот или при строительстве инфраструктурных объектов, изучены крайне слабо. Исследованы спектры поглощения и флуоресценции, а также распределение частиц по размерам в водных растворах гуминовых веществ, выделенных из верхового торфа низкой степени разложения. Образцы гуминовых веществ выделены из верхового торфа с градацией по уровню обезвоживания. Установлено, что все исследованные растворы содержат частицы с гидродинамическим радиусом 5–15 (более 99%), 200–1200 и 2000–6000 нм. Спектры поглощения водных экстрактов торфа имеют плечо в области 280 нм, что объясняется переходом в раствор фульвокислот. По мере высыхания торфа оптическая плотность спектров поглощения и интенсивность флуоресценции гуминовых веществ снижаются. Экспериментально подтверждено, что степень разложения и влагосодержание торфа существенно влияют на спектрально-люминесцентные свойства гуминовых веществ.

Ключевые слова: верховой торф, гуминовые вещества, размеры частиц в растворах, спектры поглощения, спектры флуоресценции, осушение, болотные почвы

Исследование выполнено при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации в рамках разработки темы фундаментальных исследований № 122011400386-6 «Особенности формирования и диагенеза органического вещества в условиях водно-болотных экосистем Арктической зоны Российской Федерации» и проекта № 0721-2020-0033.

**CHANGES IN THE PROPERTIES OF HUMIC SUBSTANCES
OF HIGH-MOOR PEAT DURING DEHYDRATION**

¹Selyanina S.B., ¹Zubov I.N., ¹Orlov A.S., ¹Ponomareva T.I., ¹Skryabina A.O.,
¹Shpanov D.A., ²Sokolova I.V., ²Chaykovskaya O.N., ²Fedorova A.A.

¹N. Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research of the Ural Branch
of the Russian Academy of Science, Arkhangelsk, e-mail: gumin@fciarctic.ru;
²National Research Tomsk State University, Tomsk, e-mail: sokolova@phys.tsu.ru

High-moor peatlands with a low degree of peat decomposition are widespread in the north of mainland Russia, which makes them a significant natural resource for the development of these territories, provided by the strategic development goals of our country. At the same time, the properties of peat in these regions, as well as their transformation during drainage – an inevitable procedure during the involvement of these natural landscapes in economic circulation or during the construction of infrastructure facilities – have been studied poorly. The absorption and fluorescence spectra, as well as the particle size distribution in aqueous solutions of humic substances isolated from high-moor peat with a low degree of decomposition were studied. Samples of humic substances were isolated from high-moor peat, graded according to the level of dehydration. It was found that all the studied solutions contain particles with a hydrodynamic radius of 5–15 nm (more than 99%), 200–1200 nm and 2000–6000 nm. The absorption spectra of aqueous extracts of peat have a shoulder in the area of 280 nm, which is explained by the transition of fulvic acids into solution. As the peat dries, the optical density of the absorption spectra and the fluorescence intensity of humic substances decrease. It has been experimentally confirmed that the degree of decomposition and moisture content of peat significantly affect the spectral and luminescent properties of humic substances.

Keywords: high-moor peat, humic substances, particle sizes in solutions, absorption spectra, fluorescence spectra, drainage, swamp soils

The study was carried out with financial support from the Ministry of Education and Science of the Russian Federation as part of the development of fundamental research topic No. 122011400386-6 “Features of the formation and diagenesis of organic matter in the conditions of wetland ecosystems of the Arctic zone of the Russian Federation” and project No. 0721-2020-0033.

Специфические климатические условия обуславливают высокую заболоченность северных территорий и наличие значительных торфяных запасов [1, 2]. Стратегические задачи развития РФ предусматривают активное вовлечение этих территорий в экономику страны. Считается, что в составе торфа его основные свойства, обеспечивающие экологические функции и востребованность в качестве возобновляемого природного сырья, во многом определяются гуминовыми веществами (ГВ). Эти органические соединения играют важную роль в процессе формирования биосферы Земли. Повышенный интерес к ГВ связан с такими глобальными тенденциями, как изменение климата, снижение плодородия почв, нарастающие экологические проблемы [3]. Под гуминовыми веществами понимают сложную смесь высокомолекулярных органических соединений, подразделяя их по специфике растворимости на гуминовые кислоты (ГК), фульвокислоты (ФК) и, в некоторых случаях, гиматомелановые кислоты (ГМК). Многочисленные функциональные группы в структуре ГВ способны образовывать координационные соединения, которые связывают в неподвижных формах не только тяжелые металлы [4], но и многие органические соединения [5, 6]. ГВ могут поглощать свет и передавать световую энергию другим компонентам водных растворов, в некоторых случаях сильно влияя на фотолит ксенобиотиков. Изучение спектрально-люминесцентных свойств различных образцов гуминовых веществ актуально, так как позволяет определять влияние оптического излучения природного и техногенного происхождения на биогеосистемы.

Образование ГВ в природных источниках: торфе, почве или буром угле – в отличие от направленного синтеза других природных веществ, протекает по пути стохастического отбора и формирования наиболее термодинамически устойчивых соединений [7]. При этом изменение свойств гуминовых кислот возможно под влиянием механохимических, электрохимических, фотохимических или других воздействий [8].

Освоение заболоченных территорий неизбежно связано с процессами их осушения, которые сопровождаются изменением состава, структуры и свойств торфяной залежи и ее компонентов [9]. При этом вопрос оценки влияния мелиорационных мероприятий на состав, структуру и свойства ГК и торфа в целом, особенно в отношении северных регионов, изучен недостаточно.

Цель исследования состоит в изучении влияния процесса дегидратации торфа на спектральные характеристики гуминовых веществ.

Материалы и методы исследования

В качестве объектов исследования использовали образцы верхового торфа типичного олиготрофного болотного комплекса севера России «Кольца», расположенного в Мезенском районе Архангельской области (65°53'20,5"с.ш.; 44°05'30,1"в.д.), и выделенные из них гуминовые вещества. Торф отбирали методом послонного бурения из аэрируемой части залежи (проба МК-1) и из условно анаэробной зоны (проба МК-2).

Степень разложения, влажность и зольность торфа определяли согласно [9]. Групповой химический состав органического вещества образцов оценивали по аттестованной методике [9, 10]. За глубину гумификации (ГК/ФК) принимали соотношение массовых долей гуминовых кислот (ГК) и фульвокислот (ФК).

Для изучения влияния дегидратации торфа на характеристики ГВ выполнено лабораторное моделирование этого процесса. Ступенчатое обезвоживание образцов торфа с естественной влажностью осуществляли путем механического отжима влаги, конвективной сушки при комнатной температуре с последующим кондиционированием в лизиметрах. Ступенчатое обезвоживание образцов торфа проводили таким образом, чтобы степень дегидратации (СДГ) фракций составляла на ступени: I – 10–15%, II – 70–78%, III – 85–90%. Ее величину фиксировали по влажности полученных препаратов.

Из полученных образцов с различной СДГ выделяли препараты ГВ согласно следующей схеме. Из образцов торфа этоксиэтаном экстрагировали битумы методом дефлегмации с настаиванием. Обезбитуминированный торф заливали 0.1 н NaOH (в соотношении 1:50) и настаивали в течение 24 ч без нагревания при постоянном перемешивании на лабораторном шейкере. Полученные растворы ГВ в натриевой форме (гуматы) отделяли от твердого остатка фильтрованием и очищали от избытка NaOH методом диализа на целлофановых мембранах до pH 7,5–8,0. Концентрацию рабочих растворов приводили к значению 25 мг/л разбавлением дистиллированной водой.

Для исследуемых растворов ГВ получены электронные спектры поглощения и флуоресценции. Спектры регистрировали на спектрофлуориметре *СМ 2203* (произ-

водство компании «Солар», Беларусь). Длина оптического пути ячейки 10 мм, ширина щелей монохроматора – 5 мм. В установленном режиме регистрировали спектры поглощения в диапазоне 220–700 нм, флуоресценции – в диапазоне 300–700 нм.

Коллоидно-дисперсные параметры исследуемых растворов определяли методом квантовой корреляционной спектроскопии с использованием лазерного анализатора *Horiba LB 550*, который позволяет оценивать как распределение частиц по размерам в диапазоне $d = 1-6000$ нм, так и их вклад в рассеяние света.

Результаты исследования и их обсуждение

В процессе торфонакопления происходит биогеотрансформация растительных остатков – разрушение структуры, частичное разложение синтезированных растениями органических веществ и образование новых соединений. Обычно это закономерно проявляется как в повышении степени разложения торфа, так и в изменении соотношения основных компонентов органического вещества торфа, которые традиционно подразделяют, основываясь на способе их извлечения, на следующие группы: экстрагируемые горячей водой соединения (ВРВ), извлекаемые органическими растворителями (битумы, также называемые иногда липидами), гуминовые (ГК) и фульвокислоты (ФК), легкогидролизуемые (ЛГВ) и трудногидролизуемые соединения (ТГВ), а также негидролизуемый остаток (НО). Основные

характеристики исследованных образцов верхового торфа представлены в табл. 1.

Согласно полученным экспериментальным данным исследуемые образцы типичны для верхового торфа, но при этом по некоторым показателям существенно отличаются между собой. Большая продолжительность процессов биогеотрансформации органического вещества в ходе торфообразования в нижней части залежи в совокупности с некоторым увеличением зольности (с 1,59 до 5,86%) обуславливает двукратное повышение степени разложения торфа по сравнению с торфом верхнего характеристического горизонта. Вполне закономерно, что при этом отмечается значительный рост содержания по природе устойчивых к биодegradации торфяных битумов (с 1,6 до 5,9%) и образующихся гуминовых веществ (с 17,8 до 29,5%), а также глубины гумификации (ГК/ФК). Такие же тенденции наблюдаются в изменении содержания водорастворимой, трудногидролизуемой и негидролизуемой частей, но они гораздо менее значимы. Параллельно происходит снижение массовой доли ЛГВ. В целом исследуемые образцы торфа имеют групповой химический состав и степень разложения, характерные для верхового торфа средней степени разложения.

В водных растворах ГВ, выделенных из ступенчато обезвоженных образцов торфа, методом квантовой корреляционной спектроскопии определены коллоидно-дисперсные параметры. Полученные данные представлены в табл. 2.

Таблица 1

Характеристика исследуемых образцов торфа

| Параметр | Образец торфа | |
|-------------------------------------|---------------|------------|
| | МК-1 | МК-2 |
| Глубина залегания, см | 10–60 | 60–100 |
| Степень разложения, % | 15–25 | 35–45 |
| Естественная влажность, % | 94,4±0,3 | 90,2±0,5 |
| Влажность в возд. сух. состоянии, % | 10,9±0,5 | 10,0±0,5 |
| Зольность, % | 1,59±0,05 | 5,86±0,05 |
| Содержание, % от орг. вещества: | | |
| водорастворимых веществ | 1,07±0,05 | 1,62±0,05 |
| битумов | 2,56±0,03 | 5,65±0,08 |
| гуминовых веществ | 17,83±0,18 | 29,47±0,33 |
| легкогидролизуемых веществ | 49,74±0,03 | 32,42±0,11 |
| трудногидролизуемых веществ | 6,19±0,03 | 7,84±0,12 |
| негидролизуемого остатка | 23,69±0,03 | 24,62±0,12 |
| Глубина гумификации | 2,6±0,1 | 3,6±0,3 |

Изменение характеристик растворов ГВ торфа

| Образец торфа | Степень обезвоживания | Влажность, % | Степень дегидратации, % | Размеры частиц ГК, нм (доля частиц данной фракции, %) |
|---------------|-----------------------|--------------|-------------------------|--|
| МК-1 | I | 85,4±0,2 | 10 | 6–15 (99) 100–500 (< 1) 1500–4500 (< 1) |
| | II | 21,0±0,9 | 77 | 5–15 (99) 200–900 (< 1) 1500–5000 (< 1) |
| | III | 13,1±0,15 | 86 | 4–12 (99) 200–1200 (< 1) 2500–5000 (< 1) |
| МК-2 | I | 76,9±1,2 | 15 | 4–15 (99) 300–1200 (< 1) 2500–6000 (< 1) |
| | II | 21,4±0,7 | 76 | 4–15 (99) 250–1100 (< 1) 2000–6000 (< 1) |
| | III | 12,5±0,05 | 86 | 5–15 (99) 200–1000 (< 1) 1500–5000 (< 1) |

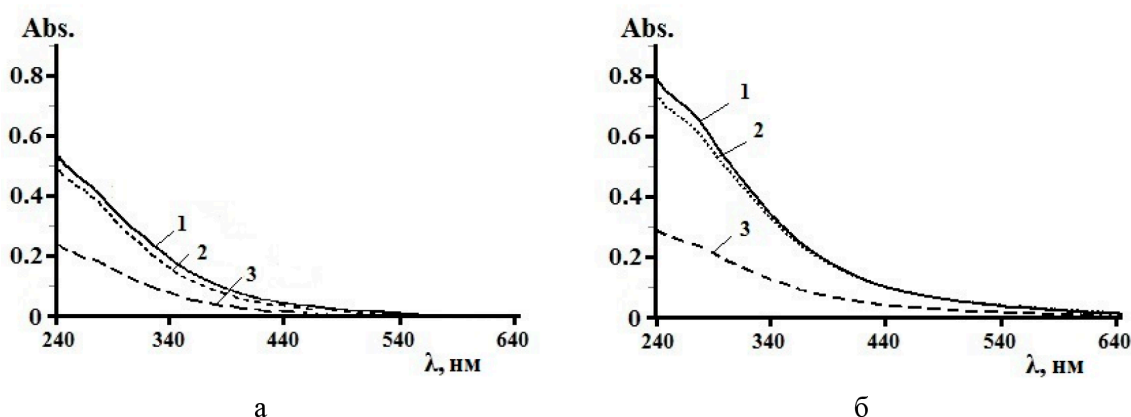


Рис. 1. Спектры поглощения водных растворов ГВ, выделенных из образцов торфа с разной степенью обезвоживания: а) образец торфа МК-1; б) образец торфа МК-2 (1 – степень обезвоживания I; 2 – степень обезвоживания II; 3 – степень обезвоживания III)

Из полученных данных хорошо видно, что для всех исследуемых растворов ГВ торфа (в области концентрации 25 мг/л) характерно единое распределение частиц по размерам. Доминирующая фракция размером 4–15 нм (более 99%) представлена отдельными макромолекулами и некрупными ассоциатами. Во всех исследованных растворах выявляются две минорные фракции (менее 1%), представленные более крупными супрамолекулярными образованиями диаметром 100–1200 нм и 1500–6000 нм. Полученные значения близки к ранее изученным характеристикам гуматов верхнего торфа [8]. Таким образом, СДГ торфа не оказывает значимого влияния на гидродинамические характеристики выделяемых из него гуматов.

Электронные спектры поглощения ГВ, приведенные на рис. 1, представляют собой плоские, смещенные в область длинных волн кривые без четко выраженных полос или максимумов поглощения. Наличие

плеча в области 280 нм объясняется переходом фульвокислот в раствор [11]. Снижение интенсивности спектров поглощения в результате обезвоживания торфа, особенно до воздушно-сухого состояния (СДГ = 85–90), позволяет предполагать, что при этом несколько усиливаются процессы конденсации и снижается растворимость фульвокислот в воде. Вместе с тем это не оказывает заметного влияния на размеры частиц в растворах (табл. 2).

Характер электронных спектров поглощения и цвет ГК определяется в первую очередь системой сопряженных двойных связей. Помимо сопряженной цепи электронодонорные (аминогруппа, кислородная группа) и электрофильные (карбонильная группа) заместители, присоединенные к сопряженной системе, также влияют на характер спектров и интенсивность цвета. Они изменяют подвижность π -электронов системы, что увеличивает вероятность электронных переходов. Это может вызвать смеще-

ние максимума поглощения в длинноволновую область (батохромный эффект) и увеличение оптической плотности.

Гуминовые кислоты различного происхождения различаются по степени окисления, поэтому изменение интенсивности окраски можно рассматривать как совокупное влияние длины конъюгации и кислородсодержащих заместителей. Например, ГВ чернозема, для которых характерны развитая цепочка сопряженных двойных связей и значительный уровень окисления, сильно окрашены. Бурым углям свойственны более глубокие стадии гумификации по сравнению с торфом, что приводит к относительному накоплению конденсированных ароматических структур, сопровождающемуся потерей белков, углеводов и алифатических фрагментов, а соответственно, большей интенсивности спектров поглощения ГВ, извлеченных из угля, чем у выделенных из торфа.

В нашем случае наибольшая интенсивность полос в спектрах поглощения наблюдается в образцах ГВ, выделенных из торфа с наименьшей степенью дегидратации. Уменьшение содержания воды в торфе приводит к значительному снижению интенсивности спектров поглощения соответствующих гуминовых веществ в его коротковолновой части (рис. 1, а и б).

Следует отметить, что с глубиной залегания и, соответственно, с повышением степени разложения торфа растет интенсивность спектров поглощения выделенных из него ГВ. Причем наиболее отчетливо это

проявляется для образцов с наименьшей степенью дегидратации. Различия могут объясняться особенностями группового состава и отчасти колебаниями уровня болотных вод, что приводит к периодической аэрации верхнего слоя и частичной дегидратации торфа.

Флуоресцентная спектроскопия на сегодняшний день является одним из наиболее информативных и распространенных методов изучения характеристик ГВ [12]. Сочетание высокой чувствительности и подходящего временного диапазона позволяет получить дополнительные сведения о гуминовых веществах. Спектры флуоресценции ГВ обнаруживают слабую люминесценцию в области от 350 до 600 нм. Согласно полученным данным, в процессе гумификации интенсивность флуоресценции уменьшается. Но область флуоресценции с максимумом в области 490 нм существенно не изменяется (при длине волны стимуляции 365 нм). Изменение интенсивности, вероятно, связано с некоторой реорганизацией молекул и изменением процентного содержания компонента.

Спектры флуоресценции исследованных образцов ГВ (рис. 2, а), выделенных из торфа на разной глубине, различаются. В частности, это видно на спектрах ГВ от образцов с наибольшей влажностью. Уменьшение влажности образцов торфа сглаживает разницу в интенсивности и форме полос флуоресценции двух образцов ГВ (рис. 2, б).

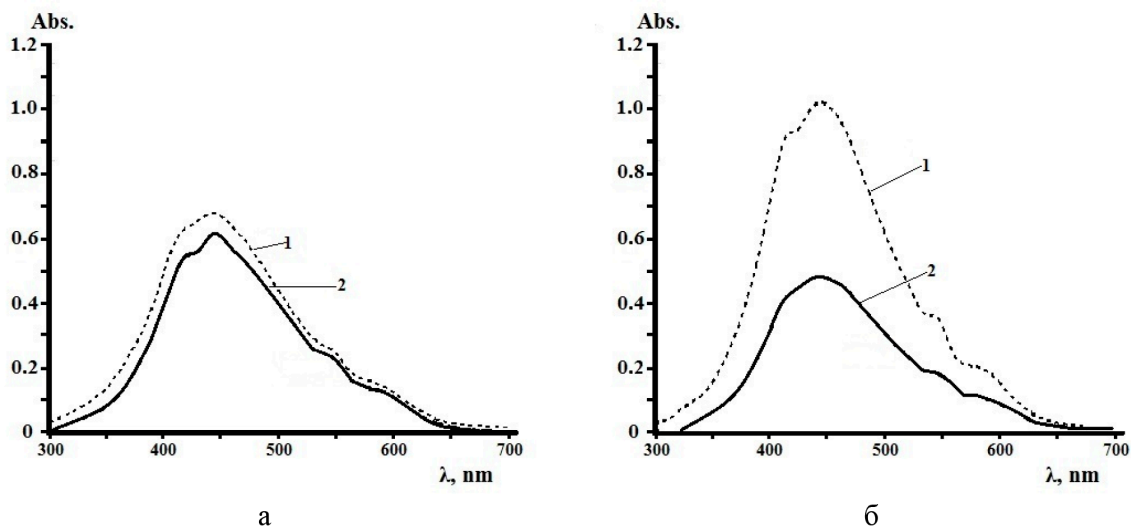


Рис. 2. Спектры флуоресценции водных растворов ГВ, $\lambda_{\text{возб}} = 260 \text{ нм}$:
 а) степень обезвоживания I; б) степень обезвоживания III
 (1 – образец торфа МК-1; 2 – образец торфа МК-2)

Таким образом, при обезвоживании торфа изменение гуминовых веществ происходит как в естественных условиях, но в более короткие сроки.

Выявленные закономерности подтверждают чувствительность спектральных характеристик и необратимый характер изменения гуминовых веществ торфа при осушении торфяников. Следует отметить, что повторное обводнение осушенных территорий, вероятнее всего, не обеспечит восстановление свойств гуминовой составляющей торфа, как физико-химических, так и спектральных, до исходных значений, характерных для ненарушенных заболоченных ландшафтов.

Заключение

Таким образом, спектрально-люминесцентные свойства гуминовых веществ чувствительны к степени обезвоживания торфяных почв, из которых они выделены. Для оценки изменений, происходящих в торфяной залежи, особенно информативны спектры флуоресценции. Это указывает на возможность их использования для оценки структурно-функциональных параметров органического вещества торфяной залежи, как индикатора состояния физиологических, биопротекторных и сорбционных сервисов торфяных залежей. Полученные результаты демонстрируют, что спектральные характеристики гуминовых веществ торфа во взаимосвязи с физико-химическими и химическими свойствами торфяной залежи представляют собой достаточно аргументированный блок данных для оценки состояния болотных экосистем под антропогенной нагрузкой.

Список литературы

1. Joosten H., Tanneberger F., Moen A. Mires and peatlands of Europe: Status, distribution and conservation. Stuttgart: Schweizerbart Science Publishers, 2017. 788 p.

2. Сири́н А.А., Маркина А.В., Минаева Т.Ю. Заболоченность Арктической зоны России // Болотные экосистемы Северо-Востока Европы и проблемы экологической реставрации: материалы междунар. полевого симп. (Инта – Сыктывкар – Нарьян-Мар, 22 июля – 4 августа 2017 г.). Сыктывкар: Институт биологии Коми НЦ УРО РАН, 2017. С. 16–22.

3. Perminova I.V., Kulikova N.A., Zhilin D.M., Grechischewa N.Yu., Kovalevskii D.V., Lebedeva G.F., Matorin D.N., Venediktov P.S., Konstantinov A.I., Kholodov V.A., Petrosyan V.S. Mediating effects of humic substances in the contaminated environments // *Viable Methods of Soil and Water Pollution Monitoring, Protection and Remediation*. Netherlands: Springer, 2006. P. 249–274. DOI: 10.1007/978-1-4020-4728-2_17.

4. Lavrik N.L., Mulloev N.U. The Analysis of the Quenching Efficiency of Humic Acid Fluorescence by Cadmium and Copper Ions // *American Journal of Analytical Chemistry*. 2014. Vol. 5, Is. 17. P. 1167–1173. DOI: 10.4236/ajac.2014.517123.

5. Kudryasheva N.S., Tarasova A.S. Pollutant toxicity and detoxification by humic substances: mechanisms and quantitative assessment via luminescent biomonitoring // *Environmental Science and Pollution Research*. 2015. Vol. 22. P. 155–167. DOI: 10.1007/s11356-014-3459-6.

6. Sokolova I.V., Tchaikovskaya O.N. Photodegradation of water contaminants and humic acids of different nature and genesis using various light sources // *Photodegradation: Mechanisms and Applications*. New York: Nova Science Publishers, 2019. P. 193–212.

7. Орлов Д.С. Гумусовые кислоты почв и общая теория гумификации. М: Изд-во МГУ, 1990. 325 с.

8. Selyanina S.B., Orlov A.S., Zubov I.N., Kanarskii A.V., Gavrilov S.V., Khabarov Yu.G. Influence of Electrochemical Processing on the Dispersed Composition of Humic Compounds // *Solid Fuel Chemistry*. 2021. Vol. 55, Is. 2. P. 78–82. DOI: 10.3103/S0361521921020087.

9. Parfenova L.N., Selyanina S.B., Trufanova M.V., Bogolitsyn K.G., Orlov A.S., Volkova N.N., Ponomareva T.I., Sokolova T.V. Influence of climatic and hydrological factors on structure and composition of peat from northern wetland territories with low anthropogenic impact // *The Science of the Total Environment*. 2016. Vol. 551–552. P. 108–115. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2016.01.204.

10. Lishtvan I.I., Sokolova T.V., Sosnovskaya N.E., Selyanina S.B., Trufanova M.V., Zubov I.N., Yarygina O.N. Peat as an Informative Biomarker of the State of Peat Bog Ecosystems in the European North of Russia // *Solid Fuel Chemistry*. 2021. Vol. 55, Is. 4. P. 244–251. DOI: 10.3103/S0361521921040030.

11. Гаврильчик А.П., Кашинская Т.Я. Трансформация свойств торфа при антропогенном воздействии. Минск: Белларус. навука, 2013. 305 с.

12. Sierra M.M.D., Giovanela M., Parlanti E., Soriano-Sierra E.J. Fluorescence fingerprint of fulvic and humic acids from varied origins as viewed by single-scan and excitation/emission matrix techniques // *Chemosphere*. 2005. Vol. 58, Is. 6. P. 715–733. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2004.09.038.

СТАТЬИ

УДК 62-634.8:67.08
DOI 10.17513/use.38206

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ РАСЧЕТА ПОТЕРЬ ДАВЛЕНИЯ ПРИ ТЕЧЕНИИ ВОДОУГОЛЬНОЙ СРЕДЫ В ПРОЦЕССЕ УТИЛИЗАЦИИ ОТХОДОВ УГЛЕОБОГАЩЕНИЯ

Капустин Д.А., Нечай Т.А.

ФГБОУ ВО «Луганский государственный педагогический университет», Луганск,
e-mail: kap-kapchik@mail.ru

Статья посвящена исследованию методов расчета потерь давления при течении топливной водоугольной суспензии (ТВУС), полученной при утилизации обводненных отходов углеобогащения. Рассмотрены основные преимущества технологии использования шламовых отходов для приготовления ТВУС, с ее последующим применением в качестве топлива для котельных установок или сырья для производства синтез-газа. Установлено, что основой для всех технологических процессов, связанных с водоугольными средами, являются трубопроводные системы. При этом расчет потерь давления при течении ТВУС связан с определенными трудностями, которые заключаются в получении аналитического вида обратной функции к выражению определения расхода. Для решения данной задачи широко используются как различные математические методы, в том числе численные, так и графические, которые позволяют получать значения искомых величин без значительного количества итераций. В работе произведено исследование точности и скорости расчета потерь давления, вычисленных с использованием напор-расходной характеристики построенной ЭВМ в виртуальном координатном пространстве, в ходе которого установлено, что данный подход позволяет сократить время, затрачиваемое на расчет потерь энергии при течении топливных водоугольных суспензий в два и более раза без потери точности.

Ключевые слова: течение, водоугольная суспензия, шламовые отходы, утилизация, расход, потери давления, метод, координатное пространство

RESEARCH OF METHODS FOR CALCULATING PRESSURE LOSS DURING COAL-WATER FLOW IN THE PROCESS OF COAL WASTE RECYCLING

Kapustin D.A., Nechay T.A.

Lugansk State Pedagogical University, Lugansk, e-mail: kap-kapchik@mail.ru

The article is devoted to the study of methods for calculating pressure losses during the flow of fuel-coal-water suspension (FCUS), obtained during the disposal of watered coal preparation waste. The main advantages of the technology of using sludge waste for the preparation of TVUS, with its subsequent use as fuel for boiler plants or raw materials for the production of synthesis gas, are considered. It has been established that pipeline systems are the basis for all technological processes associated with coal-water media. At the same time, the calculation of pressure losses during the flow of TVUS is associated with certain difficulties, which consist in obtaining an analytical form of the inverse function to the expression for determining the flow rate. To solve this problem, various mathematical methods are widely used, including numerical and graphical ones, which make it possible to obtain the values of the required quantities without a significant number of iterations. The work carried out a study of the accuracy and speed of calculating pressure losses calculated using the pressure-flow characteristic of a constructed computer in virtual coordinate space, during which it was established that this approach allows reducing the time spent on calculating energy losses during the flow of fuel-coal-water suspensions by two and more than once without loss of accuracy.

Keywords: flow, coal-water suspension, sludge waste, recycling, flow rate, pressure loss, method, coordinate space

Необходимость решения экологических проблем в сочетании с проблемой поиска дополнительных источников дешевых топливных ресурсов поставила в последнее время ряд сложных задач. Для угледобывающих регионов это в первую очередь утилизация отходов углеобогащения.

На территории Донбасса до недавнего времени функционировали 64 обогатительные фабрики, из них 20 коксохимических и 44 энергетические (включая 23 антрацитовые), в результате работы которых активно возрастают объемы как забалансовых, так и балансовых шламов, сосредоточенных

в отстойниках и илонакопителях. Шламо-накопители занимают территорию порядка 1975 га и представляют собой серьезную экологическую угрозу, требуя постоянного контроля и наблюдения, а также дополнительных затрат [1, 2].

Ежегодно обогатительные фабрики производят около 3,3 млн т отходов, при этом теряется от 10 до 20% добытого углерода. Угольная мелочь, особенно переувлажненная, является сложным для транспортировки продуктом, так как она прилипает к конвейерным лентам, забивается в желоба и загрязняет производственные помещения [2].

Наиболее простым способом использования угольных шламов в качестве источника тепловой энергии является добавка отходов к обогащенному углю. Однако эффективность такого подхода сложно оценить однозначно, так как при этом увеличивается зольность и влажность топлива, что снижает его теплотворную способность и увеличивает потери из-за недожога. Следует отметить, что факельное сжигание угольной пыли при зольности топлива более 25 % требует обязательной «подсветки» природным газом или мазутом. Кроме того, существенно возрастают затраты на эвакуацию отходов сжигания и возмещение экологического ущерба [3, 4]. Установлено, что потери от механического недожога при сжигании для влажности более 10 % резко возрастают и превышают номинальные в 3–4 раза [3].

Альтернативным способом утилизации шламов представляется использование топок с кипящим слоем, сжигание в которых является проверенной и эффективной технологией, используемой в мировой практике. Однако для успешной ее реализации необходимы модифицированные или специально разработанные котельные агрегаты, что ограничивает их повсеместное применение.

Еще один способ использования шламов – это приготовление на их основе топливной водоугольной суспензии (ТВУС). В этом случае отпадает необходимость обезвреживать исходный продукт, а его исходный гранулометрический состав и размер частиц существенно снижают энергоемкость процесса доизмельчения по сравнению с классическими технологиями [3–5].

На сегодняшний день предложены новые методы утилизации угольных шламов, такие как использование водоугольных суспензий в газификационных установках, включая плазменную газификацию. Главным преимуществом этой технологии перед методами прямого сжигания является меньшее воздействие на окружающую среду. Это обусловлено тем, что газообразные продукты находятся при высоких температурах в среде с низким содержанием кислорода (коэффициент избытка кислорода составляет 0,2–0,3). Это приводит к разложению и удалению наиболее опасных веществ, таких как диоксины, полихлорированные бифенилы, бензпирены и другие полициклические ароматические углеводороды. Еще одним преимуществом газификации является снижение количества газов, требующих очистки, а также уменьшение

объема зольного остатка в несколько раз. Зола практически не содержит углерод, что позволяет сэкономить средства на дорогостоящем оборудовании для очистки дымовых газов и обезвреживании твердых вторичных отходов.

Ни один технологический процесс, связанный с водоугольными суспензиями, не обходится без развитой трубопроводной сети, что, учитывая необходимость обеспечения высокой концентрации твердой фазы, обуславливает необходимость корректного определения гидравлических характеристик. Параметры течения зависят от свойств исходного сырья, используемых реагентов, температуры окружающей среды, уровня pH водной составляющей и других влияющих факторов [1, 4, 6]. Кроме того, для поддержания стабильности свойств водоугольной суспензии и обеспечения минимального сопротивления при транспортировке необходимо готовить ее с учетом регламентируемого гранулометрического состава и обеспечивать ее движение в энергетически выгодном режиме.

В связи с чем исследования способов расчета потерь давления при течении топливной водоугольной суспензии, полученной при утилизации обводненных угольных шламов, являются актуальными.

Цель исследования – изучение способов расчета потерь давления при течении топливной водоугольной суспензии, использующих графические методы их определения в виртуальном координатном пространстве, построенном ЭВМ.

Материалы и методы исследования

В общем случае движение топливной водоугольной суспензии, полученной из отходов углеобогащения, представляет собой движение жидкой среды с аномальными реологическими свойствами, которые описываются уравнениями течения вязкопластической жидкости. При этом основной задачей определения параметров движения суспензии является расчет потерь давления (потребный напор) в системе при заданной величине расхода ТВУС. В подавляющем большинстве случаев исходными математическими выражениями течения неньютоновских жидкостей выступают зависимости вида $Q = f(\Delta p)$, что обуславливает необходимость поиска обратной функции.

Для данной категории сред общепринятым выражением для расчета расхода суспензии по известной величине потерь давления является зависимость Букингема [7]:

$$Q = \frac{\pi R^4 \Delta p}{8L\mu_{cm}} \left(1 + \frac{4}{3} \left(\frac{2\tau_0 L}{R\Delta p} \right) + \frac{1}{3} \left(\frac{2\tau_0 L}{R\Delta p} \right)^4 \right), \quad (1)$$

где Δp – потери давления, Па; R – радиус трубопровода, м; L – длина трубопровода, м; μ_{cm} – структурная вязкость, Па·с; τ_0 – начальное (предельное) напряжение сдвига, Па.

Кроме того, в работе [8] предложено альтернативное выражение для расчета расхода топливной водоугольной с учетом особенностей ее структуры и свойств:

$$Q = \pi \left(\frac{2\tau_0 L}{\Delta p} \right)^2 \sqrt{(k_0 - k) \left(\frac{\Delta p}{\mu_{cm} L} - \frac{2\tau_0}{\mu_{cm} (R - R_{я})} \right) (R^2 - R_{я}^2) + \frac{2\pi}{3} \sqrt{(k_0 - k) \left(\frac{\Delta p}{L\mu_{cm}} - \frac{2\tau_0}{\mu_{cm} (R - R_{я})} \right) [R^2 - R_{я}^2]^3}}, \quad (2)$$

где $R_{я}$ – радиус ядра потока $R_{я} = 2L\tau_0/\Delta p$, м; k – коэффициент, отражающий относительную долю потерь мощности сил давления на преодоление дискретных во времени молекулярных сил разрушения структуры, Вт/Н (м/с), $k_0 = 1$.

Получение аналитической зависимости вида $\Delta p = f(Q)$ для уравнений (1) и (2) затруднительно и сопряжено с использованием ряда допущений, что снижает точность расчета потерь энергии при течении топливной водоугольной суспензии. В связи с чем целесообразным является использование численных методов для вычисления потерь энергии при известной величине расхода жидкой среды.

К классическим методам решения нелинейных алгебраических уравнений относятся: методы итерации, касательной, Ньютона, Ньютона – Бroyдена, а также метод хорд и т.д. Кроме того, иногда используется графический метод решения, который заключается в определении точки пересечения построенных графиков функций, в случае расчета гидравлических систем – напор-расходной характеристики сети и заданного расхода суспензии. Следует отметить, что основным преимуществом такого метода является его простота, но для его реализации необходима реализация расчетных зависимостей в координатном пространстве. Также наблюдается некоторая сложность в реализации графического метода при использовании вычислительной техники для расчета гидравлических характеристик трубопроводной сети по транспортированию топливных водоугольных суспензий.

Результаты исследования и их обсуждение

Предлагается реализовать графический способ решения нелинейных алгебраиче-

ских уравнений в ЭВМ путем формирования виртуального координатного пространства, с последующим построением функций $Q = f(\Delta p)$ и $Q = Q_3 = const$ в одной системе координат (рис. 1).

Предложенный способ определения потерь давления при течении топливной водоугольной суспензии, полученной при утилизации отходов углеобогащения, может быть реализован следующим образом:

1. Осуществляется ввод исходных данных: структурной вязкости μ_{cm} , начального напряжения сдвига τ_0 , радиуса трубопровода R , м, расхода суспензии Q_3 м³/с, длины трубопровода L , м.

2. Производится построение виртуального пространства в координатах $\Delta p/Q$. Каждый его пиксель (шаг сетки) соответствует определенному значению Δp и Q . При этом величина шага по расходу на один-два порядка меньше значения физической величины, а для потерь давления округляется до 10 Па.

3. Вычисляется значение Q_0 , для базового перепада давления Δp_0 (в текущих расчетах $\Delta p_0 = 98100$ Па, что соответствует потерям напора $\Delta H = 10$ м), по формулам (1) или (2).

4. Вычисляется соотношение полученного расхода Q_0 с исходным Q_3 , что выражается соответствующим коэффициентом $K = Q_0/Q_3$. Для формирования участка вычисления полученный коэффициент K изменяется на определенную долю (для примера $\pm 20\%$). После производится расчет соответствующих величин потерь давления (мини-

мальное количество точек для построения кривой 3 шт.):

$$\Delta p_1 = 0,8K \cdot \Delta p_0,$$

$$\Delta p_2 = K \cdot \Delta p_0,$$

$$\Delta p_3 = 1,2K \cdot \Delta p_0.$$

5. На основании полученных значений потерь гидравлической энергии $\Delta p_{1,3}$, рассчитываются новые значения расхода $Q_1 - Q_3$.

6. Путем использования стандартных библиотек программного обеспечения осуществляется построение сплайна через полученные расчетные точки.

7. Производится построение прямой для Q_3 . Искомое значение потерь давления Δp

находится в точке пересечения построенной ранее кривой и перпендикуляра. Приведенный алгоритм проиллюстрирован на рис. 1.

Для реализации предложенного способа расчета потерь энергии при заданной величине расхода топливной водоугольной суспензии, разработано прикладное программное обеспечение на языке программирования Python с использованием библиотек Scipy [9]. И произведен ряд тестовых вычислений величины потерь давления с использованием выражения (1) для следующих исходных данных: $R = 0,05$ м, $L = 50$ м, $\mu_{cm} = 1,11$ Па·с, $\tau_0 = 20$ Па, $Q_3 = 0,007$ м³/с, количество точек для построения графика функции 3, 5, 7, 9, 11.

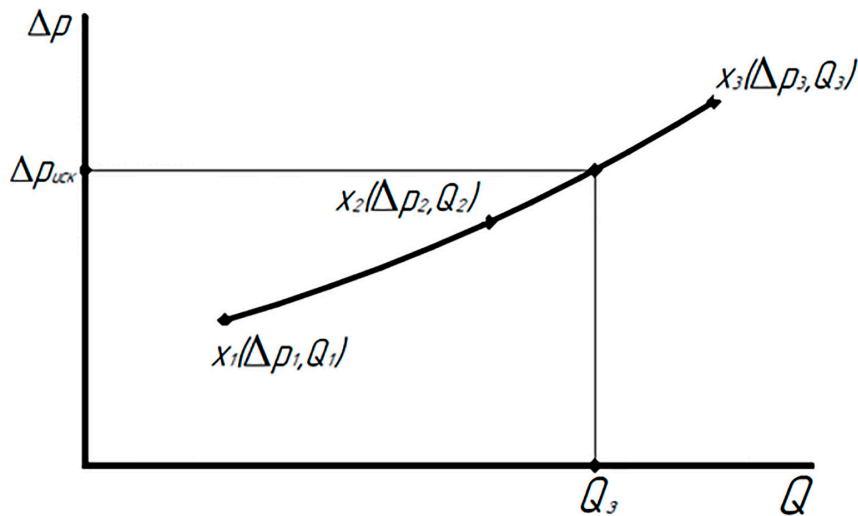


Рис. 1. Определение величины потерь давления (напора) при течении ТВУС в виртуальном координатном пространстве

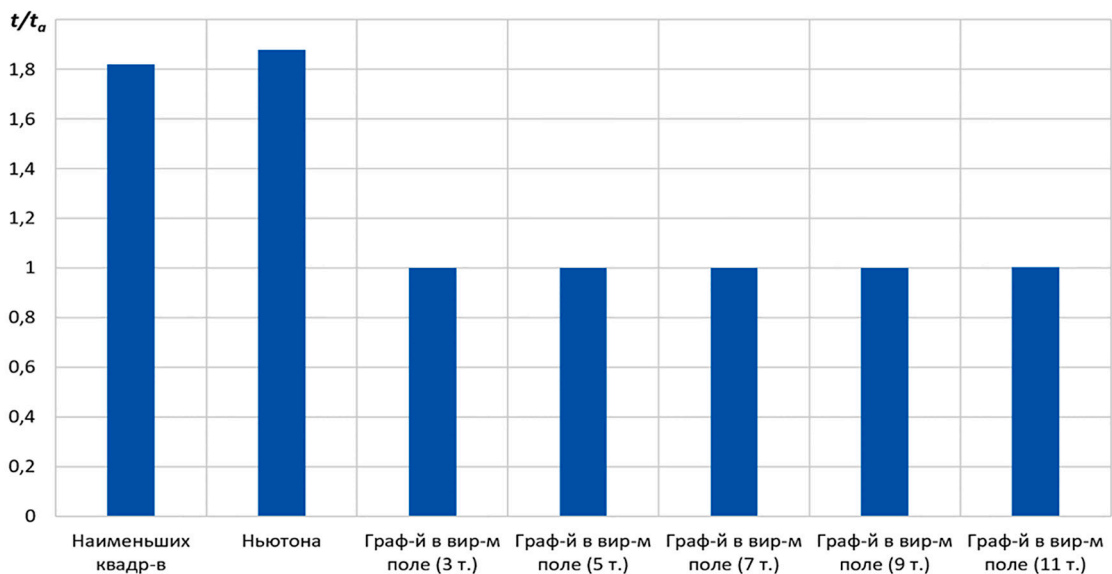


Рис. 2. Относительное время расчета потерь давления

При этом произведена оценка относительного времени t/t_a (где t_a – время расчетов с использованием виртуального координатного пространства) выполнения расчетов (рис. 2), а также точности определения гидравлических величин для предложенного способа, методов Ньютона и наименьших квадратов.

В ходе анализа результатов, приведенных на рис. 2, установлено, что время расчета потерь гидравлической энергии при течении ТВУС значительно (на 80–85%) сокращается при использовании предложенного способа, что обуславливает целесообразность его применения, в том числе в расчетах на ЭВМ. Из двух стандартных подходов более предпочтительным представляется применение метода наименьших квадратов, который также позволяет сократить время выполнения программы до 5%.

Установлено, что с ростом количества точек, используемых для построения графика функции, время вычислений практически не изменяется.

Следует отметить, что наименее точным является графический способ вычисления перепада давления с использованием виртуального координатного пространства, однако максимальная величина относительного отклонения не превышала 0,002%, а значит, погрешностью определения гидравлических характеристик предложенным способом можно пренебречь.

С ростом количества расчетных точек наблюдается монотонное возрастание точности вычисления потерь давления, однако минимального количества точек уже достаточно для корректного расчета параметров трубопроводной сети.

По результатам исследований можно сделать следующие рекомендации:

- шаг пикселей (сетки) по шкале расхода целесообразно выбирать кратным величине Q_3 , что нивелирует отклонение величины расхода, связанное с особенностями построения координатного пространства;
- величину деления по оси потерь давления следует принимать порядка 10 Па для обеспечения минимальной величины отклонения при его определении;
- количество точек, используемых для построения графика функции, может быть использовано вплоть до 11, без заметного увеличения времени вычислений, при этом достаточно использования и трех расчетных значений.

Выводы

1. Отрасль утилизации обводненных отходов углеобогащения характеризуется по-

всеместным использованием трубопроводных систем.

2. Основной проблемой при расчете параметров работы гидротранспортной системы является определение потерь давления, так как для ряда неньютоновских жидкостей (ТВУС также относится к их числу) не представляется возможным аналитическое получение функции перепада давления.

3. Предложен и исследован новый способ вычисления потерь гидравлической энергии, основанный на их графическом определении в виртуальном координатном пространстве.

4. Установлено, что время выполнения расчетов по предложенному методу на 80–85% меньше, чем численными методами (Ньютона, наименьших квадратов), реализованными в библиотеке Scipy. При этом погрешностью вычисления перепада давления можно пренебречь.

5. Следует отметить, что рост количества расчетных точек, используемых для построения графика функции потерь давления, обуславливает снижение погрешности определения гидравлических характеристик, однако для инженерных расчетов возможно использование только трех (минимальное количество для построения кривой).

6. Дальнейшие исследования предложенного метода определения потерь давления планируется проводить в рамках его оптимизации, с целью повышения точности расчетов, а также сокращения затрачиваемого времени.

Список литературы

1. Капустин Д.А., Гутько Ю.И., Орешкин М.В., Сентяй Р.Н. Оценка объема отходов обогащения угля, требующих утилизации // Вестник ЛГУ им. В. Даля. 2020. № 7 (37). С. 202–207.
2. Капустин Д.А., Гутько Ю.И., Орешкин М.В., Швыров В.В. Технологии утилизации отходов обогащения // Вестник ЛГУ им. В. Даля. 2020. № 6 (36). С. 43–49.
3. Бойко Е.Е. Разработка методических основ сжигания тонкодисперсных водоугольных суспензий при плазменном сопровождении в котлоагрегатах ТЭС: дис. ... канд. техн. наук. Новосибирск, 2018. 162 с.
4. Баранова М.П. Технологии получения и использования топливных водоугольных суспензий из углей различной степени метаморфизма: дис. ... докт. техн. наук. Москва, 2014. 275 с.
5. Галькеева А.А., Мингалеева Г.Р., Горбунов С.Ю. Анализ применения углей различных марок для производства энергии и химических продуктов // Известия вузов. Проблемы энергетики. 2015. № 11/12. С. 69–79.
6. Кондратьев А.С., Овсянников В.М., Олофинский Е.П., Степин Б.С., Чиненков И.А. Транспортирование водоугольных суспензий: гидродинамика и температурный режим. М.: Недра, 1988. 213 с.
7. Лойцянский Л.Г. Механика жидкости и газа: учебник для вузов. 7-е изд., испр. М.: Дрофа, 2003. 840 с.
8. Капустин Д.А., Гутько Ю.И., Кущенко А.В. Развитие теоретических основ движения высококонцентрированной суспензии // Вестник ЛГУ им. В. Даля. 2022. № 8 (62). С. 145–151.
9. Хахаев И.А. Практикум по алгоритмизации и программированию на Python. 2-е изд., испр. М.: ИНТУИТ, 2016. 179 с.

УДК 551.341

DOI 10.17513/use.38207

ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ТОРФОВ И ЗАТОРФОВАННЫХ ПЕСЧАНЫХ ГРУНТОВ

Протодияконова Н.А., Степанов А.В., Тимофеев А.М.,
Кравцова О.Н., Таппырова Н.И.

*ФГБУН ФИЦ «Якутский научный центр» Сибирского отделения Российской академии наук,
Институт физико-технических проблем Севера имени В.П. Ларионова Сибирского отделения
Российской академии наук, Якутск, e-mail: o.n.kravtsova@iptpn.yasn.ru*

Большое количество заторфованных грунтов на территории Российской Федерации, особенно в Арктической зоне, обуславливает необходимость изучения их температурного режима и теплофизических свойств. В этой работе приводятся экспериментальные данные по определению пористости, теплопроводности и количества незамерзшей воды песчаных грунтов с различной степенью содержания торфа. Экспериментальные исследования проводились на образцах с нарушенной структурой, которые были представлены слабо разложившимся торфом, среднезернистым речным песком и их различными смесями. Установлено, что степень заторфованности влияет на такие физические величины, как пористость, теплопроводность и количество незамерзшей воды. Для талых заторфованных песчаных грунтов при увеличении степени заторфованности значение пористости увеличивается. Как для талых, так и для мерзлых заторфованных песчаных грунтов теплопроводность с увеличением степени заторфованности уменьшается. При этом теплопроводность для мерзлых грунтов выше, чем для талых. Количество незамерзшей воды также зависит от степени заторфованности грунта и при ее увеличении уменьшается. Измеренные теплофизические свойства заторфованного песчаного грунта могут быть использованы при моделировании температурного режима в зоне распространения мерзлых и талых торфяных грунтов.

Ключевые слова: мерзлые грунты, талые грунты, песчаный заторфованный грунт, количество незамерзшей воды, теплопроводность, пористость, степень заторфованности

THERMOPHYSICAL PROPERTIES OF PEAT AND PEATY SAND SOILS

Protodyakonova N.A., Stepanov A.V., Timofeev A.M.,
Kravtsova O.N., Tappyrova N.I.

*Yakutsk Science Center of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences,
V.P. Larionov Institute of Physical-Technical Problems of the North of the Siberian Branch
of the Russian Academy of Sciences, Yakutsk, e-mail: o.n.kravtsova@iptpn.yasn.ru*

The large amount of peaty soils on the territory of the Russian Federation, especially in the Arctic zone, necessitates the study of their temperature regime and thermophysical properties. The paper presents the results of an experimental study of the thermal conductivity and amount of unfrozen water in sandy soils with varying degrees of peat content. Experiments were carried out on samples with a damaged structure, which were represented by slightly decomposed peat, medium-grained river sand and their various mixtures. It has been established that the degree of peat content affects such physical values as porosity, thermal conductivity and the amount of unfrozen water. For thawed peaty sandy soils, as the degree of peat content increases, the porosity value increases. For both thawed and frozen peaty sand soils, thermal conductivity decreases with increasing degree of peat content. Moreover, the thermal conductivity for frozen soils are higher than for thawed soils. The amount of unfrozen water also depends on the degree of peat in the soil and decreases as it increases. The measured thermophysical properties of peaty sand soil can be used to model the temperature regime in the area of frozen and thawed peat soils.

Keywords: frozen soils, thawed soils, peaty sand soil, amount of unfrozen water, thermal conductivity, porosity, degree of peat

В Российской Федерации широко распространены торфяные грунты, причем на территории криолитозоны расположено более 80% таких грунтов. В этой зоне идет интенсивное освоение месторождений полезных ископаемых, строительство газопроводов, также эксплуатируется большое количество зданий и инженерных сооружений. Предугадать изменение теплофизических свойств торфяных грунтов довольно сложно. Основные трудности при освоении

заторфованных территорий обусловлены высокой степенью их обводненности, сжимаемости и недостаточными сведениями о физико-механических свойствах, температурном режиме протекания мерзлотных процессов. Поэтому целью данной работы является экспериментальное изучение теплофизических свойств талых и мерзлых заторфованных песчаных грунтов.

Торфяные грунты в талом и мерзлом состоянии в последнее время изучались

такими российскими исследователями, как Р.И. Гаврильев, Л.Т. Роман, а также зарубежными учеными [1–4]. В работах Р.И. Гаврильева приводится модель расчета теплопроводности четырехкомпонентной оболочечной системы, которая учитывает содержание органического вещества и позволяет сделать прогноз теплофизических характеристик в талом и мерзлом состояниях при полном влагонасыщении грунта [1]. Результаты многолетних исследований Л.Т. Роман мерзлых заторфованных грунтов обобщены в монографии [2], где приводятся экспериментально полученные данные физико-механических и тепловых свойств. На основе полученных данных делается предложение для использования мерзлых заторфованных грунтов в качестве оснований зданий и сооружений.

В работе [3] были получены экспериментальные данные теплофизических свойств шести почвенных торфяно-минеральных смесей, охватывающих широкий диапазон влажности и объемной плотности. На основе этих данных была предложена новая обобщенная модель определения теплопроводности. Модель учитывает влияние пористости, степени насыщения, содержания органического вещества и дисперсности грунта на теплопроводность.

Авторы работы [4] на основе лабораторных экспериментов на илисто-органических почвенных смесях проанализировали влияние температуры грунта, его влагосодержания и содержания органического вещества на теплопроводность грунта в талом и мерзлом состояниях. На основе экспериментального и теоретического анализа авторы установили эмпирическую формулу теплопроводности почвы с учетом вышеперечисленных факторов.

В работе [5] рассматривается изменение тепловых свойств заторфованных песчаных грунтов от степени загрязнения нефтепродуктами.

Материалы и методы исследования

Ранее авторами были проведены исследования теплопроводности в талом и мерзлом состояниях для мелкодисперсных и крупнодисперсных грунтов, а также была разработана методика расчета теплопроводности с учетом количества незамерзшей воды и засоленности [6]. Дальнейшее изучение грунтов было вызвано необходимостью исследования торфяных грунтов. Поэтому целью данной работы являются лабораторные исследования теплофизи-

ческих свойств заторфованных песчаных грунтов в талом и мерзлом состояниях. Для этого были взяты образцы с нарушенной структурой, которые были представлены слаборазложившимся торфом, среднезернистым речным песком и их различными смесями. Заторфованность N грунтов задавалась различным содержанием торфа в песчаном грунте:

- чистый речной песок $N = 0$;
- речной песок с добавлением торфа $N = 0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,6$;
- торф $N = 1$.

Теплофизические характеристики определялись на установке, разработанной в лаборатории теплофизики ИФТПС СО РАН. Принципиальная схема установки приведена в работе [7]. Измерительная ячейка, заполненная исследуемым материалом, помещается в холодильную установку, где охлаждается до нужной отрицательной температуры и выдерживается в ней более суток. За это время влага, находящаяся в образце, практически приходит в равновесное состояние. Далее, измерительная ячейка с грунтом помещается в охлажденный сосуд Дьюара. Затем сосуд переносится на стенд установки, где разогревается постоянным тепловым потоком. При этом снимается термограмма (рис. 1).

Из рис. 1 видно, что в начальной стадии (I) имеется нестационарный участок нагрева. В этой стадии нагрева наступает квазистационарный режим. Затем по мере повышения температуры квазистационарный режим превращается в монотонный (II) в связи с таянием порового льда. Эта стадия зависимости от вида материала начинается при различной температуре. Далее, в образцах, увлажненных выше молекулярной влагоемкости, при малой мощности подводимого тепла на поверхности образца наступает стационарный режим, т.е. все тепло, подводимое на поверхность образца, расходуется только на фазовый переход льда. Позднее в образце появляется граница раздела талой и мерзлой зон. В этой стадии образец нельзя уже считать термоизотропным телом (III). Затем образец полностью оттаивает, и спустя некоторое время опять наступает квазистационарный режим (IV).

Такое дифференцированное рассмотрение процесса оттаивания образца дает возможность применить существующий метод определения теплофизических характеристик влажных дисперсных материалов для каждой стадии нагрева.

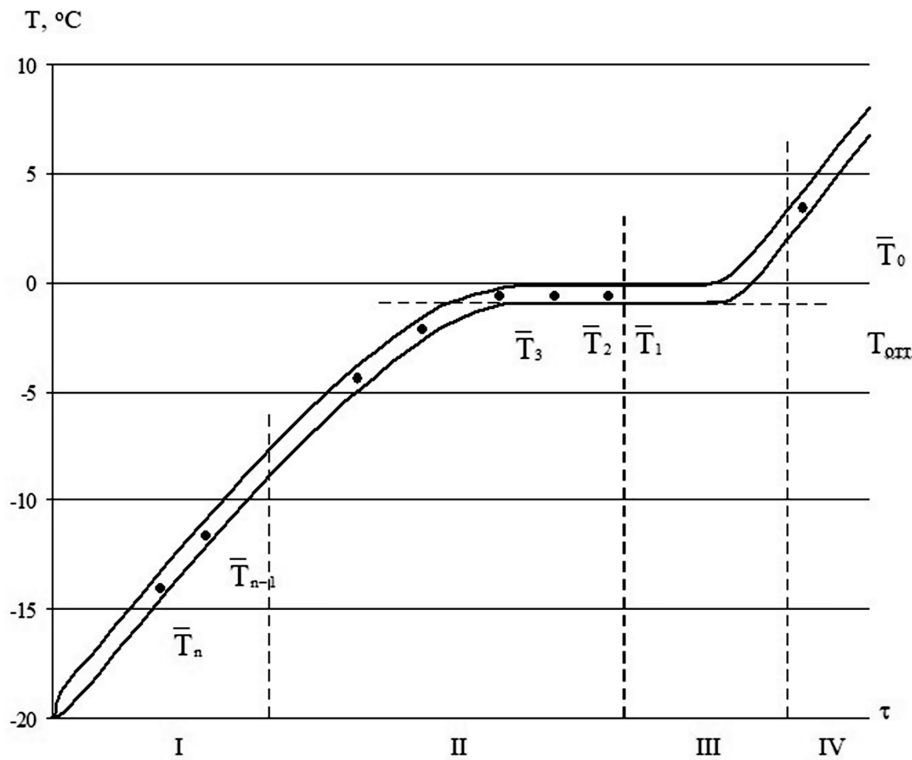


Рис. 1. Термограмма процесса замораживания – оттаивания
 \bar{T}_n – среднееобъемная температура; $T_{\text{отт}}$ – температура оттаивания

На квазистационарных участках нагрева теплопроводность вычисляется по формуле

$$\lambda = \frac{qR}{2\Delta T}(1 - \Delta\varepsilon), \quad (1)$$

где q – удельная мощность нагрева на единицу поверхности; R – радиус образца; ΔT – разность температуры между поверхностью и осью образца; $\Delta\varepsilon$ – поправка на теплоемкость нагревателя и измерительной ячейки.

Для определения теплопроводности в II-й стадии предлагается использовать

решение нелинейного уравнения теплопроводности, учитывая теплоту фазовых переходов воды в виде стоков тепла:

$$\nabla^2 t + \frac{1}{\lambda} \frac{d\lambda}{dt} \left(\frac{\partial t}{\partial \tau} \right)^2 = \frac{1}{a} \frac{\partial t}{\partial \tau} - \frac{\omega}{\lambda}, \quad (2)$$

где ω – удельная мощность объемных стоков тепла.

При решении уравнения (2) использован метод последовательных приближений и получена следующая расчетная формула для коэффициента теплопроводности [7]:

$$\lambda_0 = \frac{qR}{2\Delta T}(1 - \varepsilon_0) \left(1 + \frac{1 - K - 2\varepsilon_0}{1 - \varepsilon_0} \Delta\sigma_c \right) (1 + \Delta\sigma), \quad (3)$$

$$\text{где } \varepsilon_0 = \frac{\omega_0 AR^2}{Bq}; \quad K = \frac{\omega_0 R}{2q}; \quad \Delta\sigma_c = -\frac{1}{2}(k_{Br} + k_c)\Delta T; \quad A = \frac{\omega(R, \tau) - \omega(0, \tau)}{\omega(0, \tau)R^2};$$

$$\Delta\sigma = \left[\frac{1 - K - 2\varepsilon_0}{(1 - \varepsilon_0)} \left((k_{Br} - k_c) 2k_\lambda \right) \frac{1}{4} + \frac{(1 - 2\varepsilon_0)\varepsilon_0 k_\lambda}{9(1 - \varepsilon_0)^2} \right] \Delta T,$$

где k_c , k_λ , k_{Br} – относительные температурные коэффициенты теплоемкости, теплопроводности и скорости нагрева по радиусу образца соответственно.

Для нахождения фазового состояния поровой влаги при температурах ниже 0 °С термограмма опыта разбивается на температурные интервалы и составляется уравнение теплового баланса для каждого ин-

тервала. Из уравнения теплового баланса для интервала среднеобъемных температур $T_0 - T_1$ (рис. 1) находится расчетная формула определения доли льда в общем влагосодержании образца при температуре T_1 :

$$i(\bar{T}_1) = \frac{Q - C_T(\bar{T}_a - \bar{T}_1)}{m_e \left[L(T_{omm}) - \frac{C_e - C_l}{2}(T_{omm} - \bar{T}_1) \right]}, \quad (4)$$

где Q – количество тепла, выделяемое нагревателем в диапазоне температур $T_0 - T_1$; C_T – теплоемкость образца с измерительной ячейкой в талом состоянии; m_e – масса воды, находящаяся в образце; C_l – удельная теплоемкость льда; C_e – удельная теплоемкость воды; $L(T_{omm})$ – теплота фа-

зового перехода льда; T_{omm} – температура оттаивания. Для последующих интервалов составляется новое уравнение теплового баланса, учитывающее переход лед – вода в пределах интервала разбивки. Льдистость при среднеобъемной температуре образца \bar{T}_n находится по формуле

$$i(\bar{T}_n) = \frac{Q - C_T(\bar{T}_{n-1} - \bar{T}_n) + i(\bar{T}_{n-1})m_e \left[L(\bar{T}_n) + \frac{C_e - C_l}{2}(\bar{T}_{n-1} - \bar{T}_n) \right]}{m_e \left[L(T_{omm}) - \frac{C_e - C_l}{2}(T_{omm} - \bar{T}_1) \right]}. \quad (5)$$

Удельная мощность объемных стоков тепла находится по формуле

$$\omega = L(\bar{T}_n) \frac{m_e}{V} \frac{\partial i}{\partial T} \frac{\partial T}{\partial \tau}, \quad (6)$$

где V – объем образца.

Результаты исследования и их обсуждение

На рис. 2 представлены результаты экспериментального определения теплопроводности заторфованного песчаного грунта в зависимости от пористости

$$\Pi = \left(1 - \frac{\gamma_{ск}}{\rho_{m.n}} \right), \quad (7)$$

где $\gamma_{ск}$ – объемная плотность образца; ρ_n – удельная плотность песка – 2,65 г/см³; ρ_m – удельная плотность торфа – 1,5 г/см³.

Удельная плотность заторфованного песчаного грунта определяется по формуле

$$\rho_{m.n} = \left(\frac{N}{\rho_m} + \frac{(1-N)}{\rho_n} \right)^{-1}, \quad (8)$$

где N – заторфованность, которая равна отношению массы сухого торфа к массе всего сухого грунта в единице объема.

Как видно из рис. 2, теплопроводность для песчаных грунтов с разной степенью заторфованности зависит от пористости и опре-

деляется содержанием песка в грунте. Чем больше содержание песка, тем выше значения теплопроводности. Теплопроводность торфа изменяется от 0,069 до 0,14 Вт/м·К, а для песка теплопроводность повышается от 0,25 до 0,35 Вт/м·К. Теплопроводность заторфованного песчаного грунта ($N = 0,4$) изменяется от 0,106 до 0,17 Вт/м·К.

На рис. 3 представлена зависимость теплопроводности исследуемого грунта от степени заторфованности. Эксперименты проводились в талом состоянии при +18 °С, в мерзлом – при температуре –15 °С.

Из рис. 3 видно, что теплопроводность зависит от степени заторфованности. Наибольшие значения теплопроводности для песка как в талом, так и в мерзлом состоянии. При малой степени заторфованности теплопроводность грунта определяется теплопроводностью песчаной составляющей. По мере добавления торфа в образец происходит резкое уменьшение значений теплопроводности до $N = 0,3$. При $N > 0,3$ начинает сказываться присутствие торфа и теплопроводность медленно уменьшается. Начиная с $N > 0,6$ теплопроводность заторфованного грунта практически равна теплопроводности торфа. Для заторфованного песчаного грунта в талом состоянии значения λ ниже, чем в мерзлом, так как теплопроводность мерзлого грунта определяется присутствием льда.

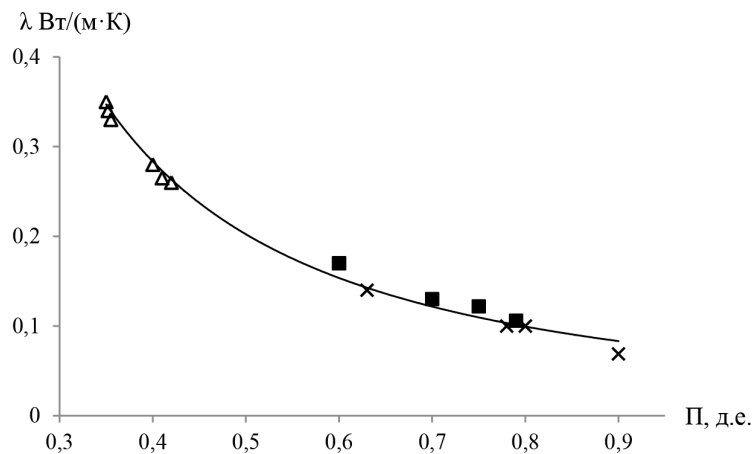


Рис. 2. Теплопроводность заторфованного песчаного грунта от пористости ($N = 0 - \Delta$; $N = 0,4 - \blacksquare$; $N = 1 - \times$)

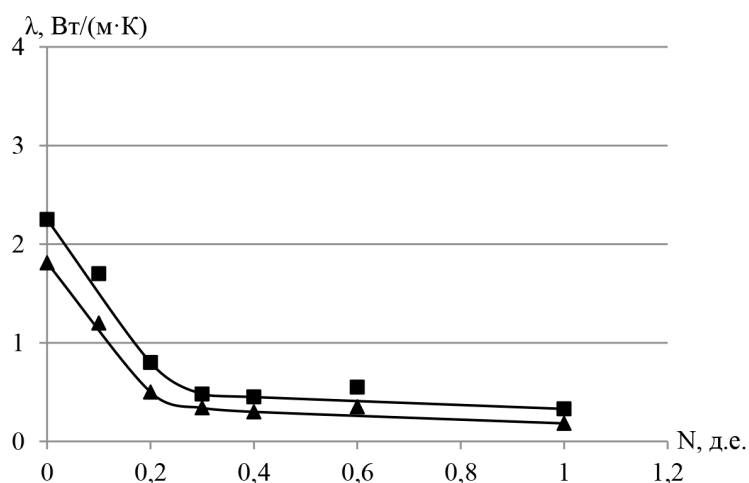


Рис. 3. Зависимость теплопроводности заторфованного песчаного грунта от степени заторфованности. ■ – мерзлое состояние, ▲ – талое состояние

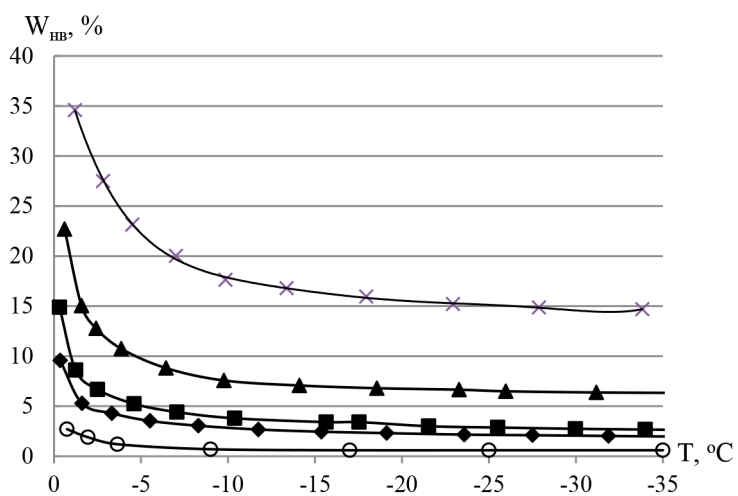


Рис. 4. Зависимость количества незамерзшей воды заторфованного песчаного грунта от температуры. $\circ - N = 0, W = 16,5\%$; $\blacklozenge - N = 0,2, W = 18,5\%$; $\blacksquare - N = 0,3, W = 27,8\%$; $\blacktriangle - N = 0,4, W = 38,6\%$; $\times - N = 1,0, W = 57,6\%$

На рис. 4 представлены результаты исследования влияния заторфованности на количество незамерзшей воды для чистого песка и песчаного грунта с разной степенью заторфованности.

Видно, что с увеличением заторфованности содержание количества незамерзшей воды увеличивается и достигает максимума для грунта с $N = 1$, то есть присутствие торфа в грунте влияет на количество незамерзшей воды, так как с повышением торфяной составляющей увеличивается дисперсность грунта. Для песчаного грунта ($N = 0$) при $T = -5$ °C количество незамерзшей воды равно 0,91 % и увеличивается до 3,53 % при заторфованности $N = 0,2$. Дальнейшее увеличение содержания торфа в грунте приводит к повышению количества незамерзшей воды и при $N = 1$ достигает 20 %.

Меньшее количество незамерзшей воды в торфе по сравнению с результатами работ [1, 2] можно объяснить низкими значениями начальной влажности, при которых проведены эксперименты.

Заключение

Проведены экспериментальные исследования теплопроводности, пористости и содержания незамерзшей воды для песчаных заторфованных грунтов при изменении степени заторфованности N от 0 до 1.

При исследовании влияния пористости на теплопроводность установлено, что с увеличением заторфованности значения λ уменьшаются. При этом чем выше заторфованность, тем выше значения пористости.

Для мерзлых заторфованных грунтов значения теплопроводности выше, чем у талых, и зависят от степени заторфованности. Количество незамерзшей воды с повышением степени заторфованности увеличивается. Самые высокие значения количества незамерзшей воды наблюдаются у торфа.

В данной работе миграция влаги при промерзании в торфе не изучалась, и это будет являться предметом дальнейших исследований.

Список литературы

1. Гаврильев Р.И. Теплофизические свойства компонентов природной среды в криолитозоне: справочное пособие. Новосибирск: Наука, 2004. 146 с.
2. Роман Л.Т. Мерзлые торфяные грунты как основания сооружений. Новосибирск: Наука, 1987. 224 с.
3. Y. Zhao, B. Cheng Si, Zh. Zhang, M. Li, H. He, R. Hill A new thermal conductivity model for sandy and peat soils // Agricultural and Forest Meteorology. 2019. Vol. 274 (6). DOI: 10.1016/j.agrformet.2019.04.004.
4. He R., Jia N., Jin H., Wang H., Li X. Experimental Study on Thermal Conductivity of Organic-Rich Soils under Thawed and Frozen States // Hindawi Geofluids. 2021. Article ID 7566669. DOI: 10.1155/2021/7566669.
5. Мотенко Р.Г., Власенко Д.В., Давлетова Р.Р., Калошина Ю.С., Михайлова А.А. Теплофизические свойства мерзлых нефтезагрязненных заторфованных песчаных грунтов // Материалы XVII Общероссийской научно-практической конференции и выставки «Перспективы развития инженерных изысканий в строительстве в Российской Федерации», 2022. С. 272–282.
6. Kravtsova O.N., Protodyakonova N.A., Timofeev A.M., Malyshev A.V., Tappyrova N.I. Calculation of Thermal Conductivity of Fine Soils Taking into Account the Quantity of Unfrozen Water // Soil Mechanics and Foundation Engineering. 2023. Vol. 60 (3). P. 223–228. DOI: 10.1007/S11204-023-09885-0.
7. Степанов А.В., Попенко Ф.Е., Рожин И.И. Основы инженерной защиты объектов строительства в криолитозоне. Новосибирск: Наука, 2014. 448 с.

УДК 552.08

DOI 10.17513/use.38208

КОМПЛЕКСНОЕ ИЗУЧЕНИЕ СТАБИЛЬНО ПРЯМО И ОБРАТНО НАМАГНИЧЕННЫХ ГОРНЫХ ПОРОД КАРАЧАЕВО-ЧЕРКЕССИИ (СЕВЕРНЫЙ КАВКАЗ)

Урусова Б.И., Лайпанов У.М., Узденов Ш.Х.

ФГОУ ВО «Карачаево-Черкесский государственный университет имени У.Д. Алиева»,
Карачаевск, e-mail: urusova50@mail.ru

В данной работе впервые проведены комплексные экспериментальные исследования стабильно прямо и обратно намагниченных горных пород габбро-базальт, базальт. Рассмотрены проблема геомагнетизма – обратная магнитная полярность, а также физическая природа стабильно прямо и обратно намагниченных горных пород габбро-базальт, базальт. Определены: первичность магнитной породы; степень сохранности; наличие структур распада; оценены присутствие и время образования вторичных магнитных горных пород. Получено, что намагниченность прямо намагниченных горных пород не меняется до 873 К в малых внешних магнитных полях и совпадает с направлением внешнего магнитного поля при температуре 873 К, а направление вектора обратной остаточной намагниченности горных руд андезито-базальт не меняется при одновременном воздействии температуры до 800 К и слабых магнитных полей разных направлений. Установлено, что температура Кюри прямо намагниченных горных пород находится в области 850 К, так как имеются мельчайшие вкрапления, магнетиты, которые можно считать однодоменными. Породы, содержащие вторичный магнетит, характеризуются стабильной обратной намагниченностью, что является необходимым условием появления первичной термоостаточной намагниченности. Несмотря на высокую стабильность J_n горных руд, намагниченность рассматриваемых образцов магнитно стабильна по отношению к переменному магнитному полю. Направление вектора естественной остаточной намагниченности также не меняется при одновременном воздействии температуры и слабых магнитных полей разных направлений порядка земного поля. При этом температура Кюри составляет около 800 К, угол магнитного наклона – 60°. Обратная намагниченность горных пород имеет внутримолекулярный характер и связана с обменным взаимодействием двух магнитных фаз: ферромагнитной и промежуточной области между ферромагнитным и антиферромагнитным состоянием. Обратно намагниченные горные породы не следует использовать для восстановления направления геомагнитного поля, так как намагниченность обусловлена вторичными магнитными минералами.

Ключевые слова: горные породы, габбро-базальт, базальт, температура Кюри, магнитное поле, термоостаточная намагниченность, геомагнетизм

COMPREHENSIVE STUDY OF STABLY DIRECTLY AND INVERSELY MAGNETIZED ROCKS OF KARACHAY-CHERKESSIA (NORTH CAUCASUS)

Urusova B.I., Laipanov U.M., Uzdenov Sh.Kh.

Karachay-Cherkess State University named after U.D. Aliyev, Karachayevsk,
e-mail: urusova50@mail.ru

In this work, for the first time, comprehensive experimental studies of stably directly and reversely magnetized rocks gabbro-basalt, basalt were carried out. The problems of geomagnetism such as reverse magnetic polarity, as well as the physical nature of stably directly and reversely magnetized rocks gabbro-basalt, basalt are considered. It was found that the magnetization of directly magnetized rocks does not change up to 873 K in small external magnetic fields and coincides with the direction of the external magnetic field at a temperature of 873 K. The direction of the reverse residual magnetization vector of andesite – basalt rock ores does not change with simultaneous exposure temperatures up to 800 K and weak magnetic fields. It was found that the Curie temperature of directly magnetized rocks is in the region of 850 K, since there are tiny inclusions, magnetites, which can be considered single-domain. Rocks containing secondary magnetite are characterized by stable reverse magnetization, which is a necessary condition for the appearance of primary thermoremanent magnetization. Despite the high stability of J_n of rock ores, the magnetization of the samples under consideration is magnetically stable with respect to an alternating magnetic field. Curie temperature is about 800 K, the magnetic inclination angle is 60°. The reverse magnetization of rocks is intramolecular in nature and is associated with the exchange interaction of two magnetic phases: ferrimagnetic and the intermediate region between the ferromagnetic and antiferromagnetic states. Reverse magnetized rocks should not be used to restore the direction of the geomagnetic field, since the magnetization is due to secondary magnetic minerals.

Keywords: rocks, gabbro-basalt, basalt, Curie temperature, magnetic field, thermoremanent magnetization, geomagnetism

На сегодняшний день по разным причинам в Карачаево-Черкессии (Северный Кавказ) мало изучены горные породы. Поэтому научный и практический интерес представляют следующие вопросы:

1) проблема геомагнетизма как обратная магнитная полярность;

2) физическая природа стабильно прямо и обратно намагниченных горных пород.

В недрах Земли ферромагнитная гипотеза геомагнитного поля есть вероятная, так как значительное количество ферромагнитных веществ находится в оболочке или мантии Земли. Сферический слой из ферро-

магнитных веществ мощностью в несколько десятков километров способен создать магнитное поле Земли. Если намагниченное тело имеет произвольную форму, его потенциал равен:

$$U = \int_S (JdS)r - \int_T (\text{div}(J/r))dr, \quad (1)$$

где U – потенциал намагниченного тела;
 J – интенсивность намагниченности;
 r – радиус-вектор поверхности из точки измерения до элемента поверхности;
 S – площадь поверхности рассматриваемого тела.

А для тела, имеющего объемную магнитную массу, потенциал равен:

$$U = \int_T \rho(dr/r) = \int_r (dm/r), \quad (2)$$

где ρ – плотность тела;
 dm – магнитная масса в элементе объема.
 Для ферромагнитной гипотезы необходимым условием является существование первоначального магнитного поля, где возникают намагниченность оболочки вещества, стабильно прямо и обратно намагниченности.

Целью данной работы является экспериментально исследовать геологические объекты стабильно прямо и обратно намагниченных горных пород габбро-базальт, базальт Карачаево-Черкессии (Северный Кавказ).

Материал и методы исследования

Для комплексного изучения стабильно прямо и обратно намагниченных горных пород были отобраны пробы горных пород геологами Карачаево-Черкесской Республики (Северный Кавказ) с известным номером буровой скважины и возрастом (таблица).

Экспериментальные исследования геологических объектов (габбро-базальта и базальта) были выполнены в лаборатории магнетизма на кафедре физики Карачаево-Черкесского государственного университета в течение 2022–2023 гг. в несколько этапов:

- 1) определяли химический состав горных пород при помощи спектрального анализа на основе спектрометра Д – 24;
- 2) образцы горных пород вырезали и придавали форму параллелепипеда размером 40x10x10 мм³;
- 3) был собран блок измерения намагниченности и автоматической записи на ЭВМ от температуры и магнитного поля. Измеряли J_n баллистическим методом при магнитных полях, которое создавали сверхпроводящим соленоидом с постоянной 1,91 кЭ и критическим током 25 А [1]. Чувстви-

тельным элементом служила двухслойная аксиальная катушка с дифференциальной намоткой секции. Стабилизация тока через образец осуществлялась с помощью схемы стабилизации тока на базе стабилизатора напряжения $U = 1199$. Ток через образец не превышал 10^{-5} А/час.

Средняя квадратичная ошибка в измерении величины J_n составляет $\sim 1,5\%$, угол магнитного наклона I^0 и магнитного склонения $(D) \sim 0,6^0$.

Результаты исследования и их обсуждение

Авторами статьи впервые на территории Карачаево-Черкессии (Северный Кавказ) проведены экспериментальные исследования геологических объектов стабильно прямо и обратно намагниченных горных пород: габбро-базальта и базальта.

В таблице приведены результаты экспериментальных исследований магнитных свойств стабильно прямо и обратно намагниченных горных пород (J_n – намагниченность, I^0 – угол магнитного наклона, T^0 – температура Кюри).

Исследования показали, что намагниченность прямо намагниченных горных пород не меняется до 873 К в малых внешних магнитных полях и совпадает с направлением внешнего магнитного поля при температуре 873 К. Температура Кюри прямо намагниченных горных пород находится в области 850°К. Это говорит о том, что эти горные породы содержат, по-видимому, мельчайшие вкрапления – магнетиты, которые можно считать однодоменными [2], они составляют 10% от общей массы горных пород.

На рисунках 1 и 2 приведены полученные экспериментальные результаты размагничивания переменным магнитным полем прямо намагниченных образцов горных пород: 1) габбро-базальт и 2) базальт.

Угол магнитного наклона находится в пределах от 40^0 до 60^0 . Температура Кюри равна 900°К [2].

Термомагнитные измерения показали, что намагниченность насыщения $J_{rs}(T)$ является однофазной. На рисунках 3 и 4 приведены экспериментальные результаты зависимости остаточной намагниченности насыщения от температуры $J_{rs}(T)$ горных пород: 1) габбро-базальт и 2) базальт.

Полученные экспериментальные результаты показывают, что намагниченность прямо намагниченных горных пород нестабильна.

Результаты экспериментальных исследований магнитных свойств стабильно прямо и обратно намагниченных горных пород (J_n – намагниченность, I^0 – угол магнитного наклоения, T^0 – температура Кюри)

| № | Название породы | Название местности | Номер буровой скважины | Возраст | $J \cdot 10^{-6}$ естественная намагниченность | I^0 угол магнитного наклоения | D^0 Угол магнитного склонения | $T^0 K$ Температура Кюри | Стабильность J_n по H_0 |
|---|-----------------|---------------------------------|------------------------|---------------------|---|------------------------------------|------------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| 1 | Габбро-базальт | КЧР Зеленчукский р-н, р.Маруха | 7/1051 | n | 2030 | 60 | 47 | 850 | Стабилен |
| 2 | Базальт | КЧР Зеленчукский р-н, р. Маруха | 17/1942 | PZ ₁ -KR | 1950 | 42 | 30 | 720 | Стабилен |

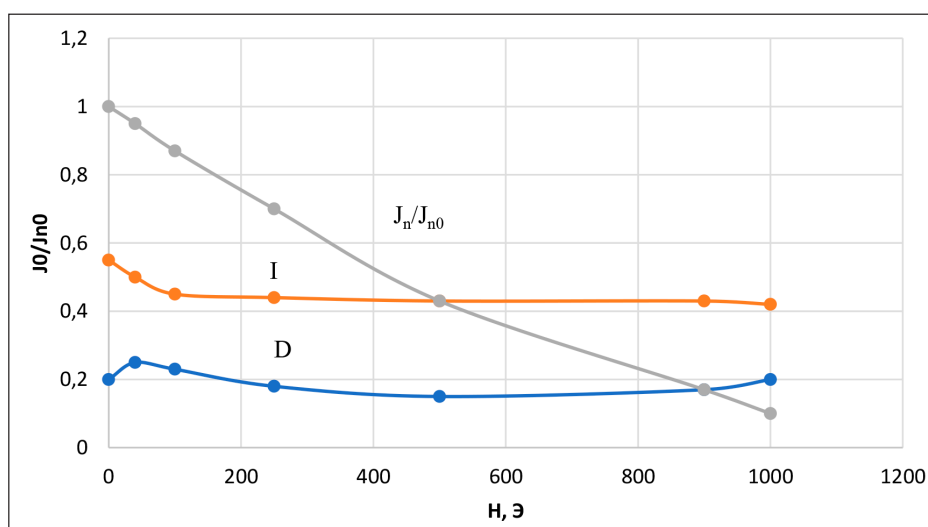


Рис. 1. Экспериментальные результаты размагничивания переменным магнитным полем прямо намагниченного образца горной породы габбро-базальт

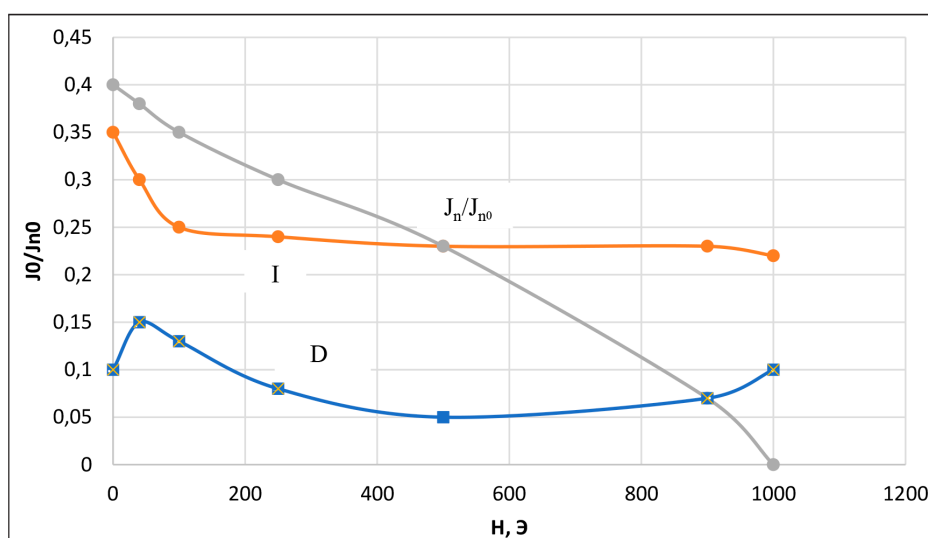


Рис. 2. Экспериментальные результаты размагничивания переменным магнитным полем прямо намагниченного образца горной породы базальт

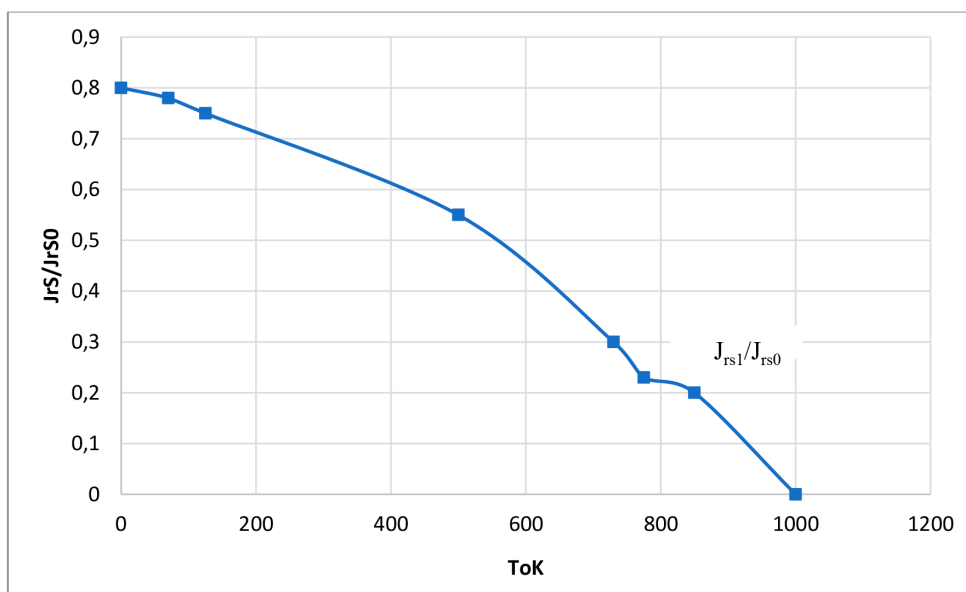


Рис. 3. Экспериментальные результаты зависимости остаточной намагниченности насыщения от температуры $J_{rs}(T)$ горной породы габбро-базальт

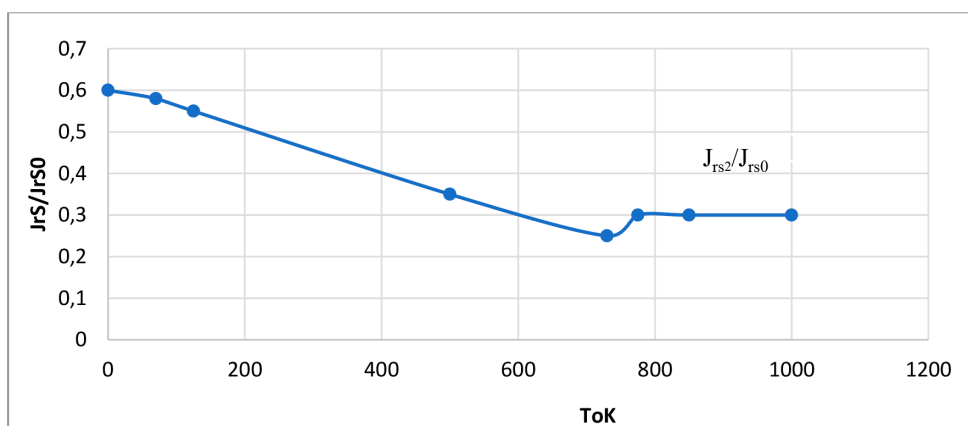


Рис. 4. Экспериментальные результаты зависимости остаточной намагниченности насыщения от температуры $J_{rs}(T)$ горной породы базальт

Поэтому эти результаты можно использовать для восстановления геомагнитного поля того периода, когда формировалась горная порода [3]. Обратная намагниченность этих горных пород магнитно стабильна [4].

На рисунках 5 и 6 приведены экспериментальные результаты размагничивания переменным магнитным полем обратно намагниченных образцов: 1) габбро-базальт и 2) базальт.

Эксперименты показали, что температура Кюри составляет около 800°K для габбро-базальта и соответственно 720°K для базальта.

При малых магнитных полях направление вектора обратной остаточной намагниченности горных пород не меняется.

По-видимому, обратная намагниченность связана с обменным взаимодействием двух магнитных фаз: ферромагнитной и промежуточной области между ферромагнитным и антиферромагнитным состояниями [5].

Таким образом, из экспериментальных исследований следует, что породы, содержащие вторичный магнетит, характеризуются стабильной обратной намагниченностью, что является необходимым условием появления первичной термоостаточной намагниченности. Несмотря на высокую стабильность J_n горных пород, намагниченность рассматриваемых образцов магнитно стабильна по отношению переменному магнитному полю [6, с. 293].

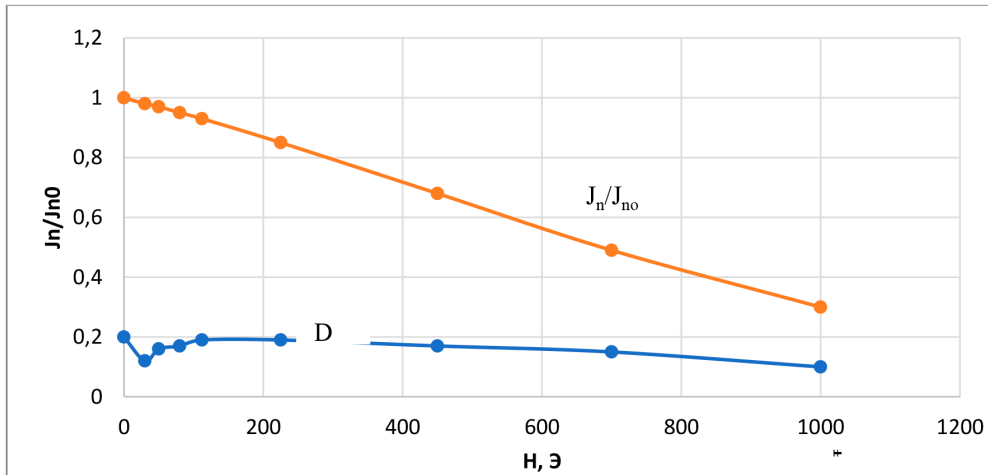


Рис. 5. Экспериментальные результаты размагничивания переменным магнитным полем обратно намагниченных образцов габбро-базальта

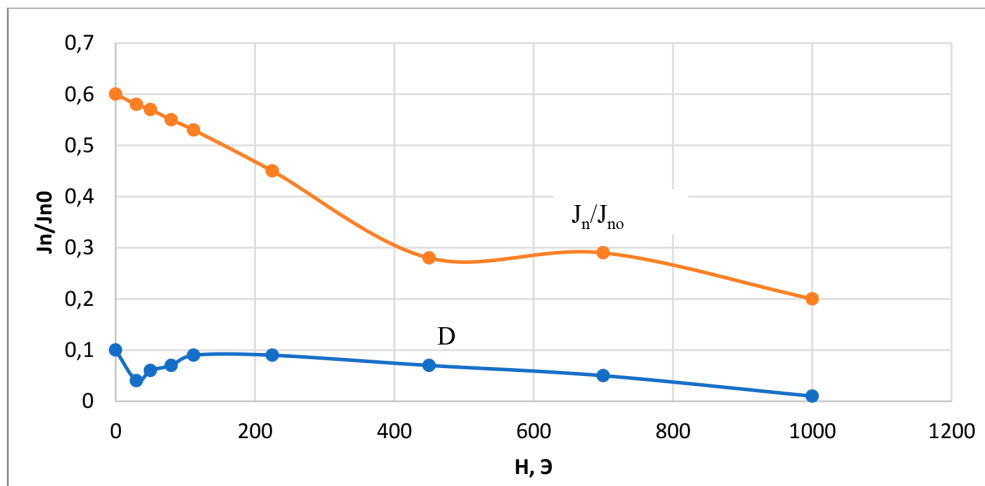


Рис. 6. Экспериментальные результаты размагничивания переменным магнитным полем обратно намагниченных образцов базальта

Естественная остаточная намагниченность не изменяет своего направления при помещении одновременно в малые магнитные поля и температуры [7].

Температура Кюри около 800°K, угол магнитного наклона – 60°, а для образца базальт соответственно 720°K и 45°.

Выводы

1. Показано, что наличие прямой намагниченности связано с физико-химическими процессами, обусловленными намагничиванием горной породы по направлению геомагнитного поля, а обратная намагниченность – против геомагнитного поля.

2. Прямая намагниченность горных пород дает возможность восстановления гео-

магнитного поля Земли и объясняет механизм намагниченности горных пород.

3. Обратная намагниченность горных пород имеет внутримолекулярный характер и связана с обменным взаимодействием двух магнитных фаз: ферримагнитной и промежуточной области между ферромагнитным и антиферромагнитным состояниями.

4. Впервые на территории Карачаево-Черкессии комплексно изучены магнитные породы габбро-базальт, базальт.

5. Установлено, что прямая намагниченность исследуемых образцов обусловлена первичным происхождением, а обратная намагниченность – вторичным намагничиванием магнитных минералов и многокомпонентной магнитной системой.

6. Установлена зависимость полярности намагниченности горных пород от состава, структуры и генезиса магнитных минералов.

7. Обратную намагниченность горных пород абсолютно невозможно использовать для восстановления направления геомагнитного поля, так как намагниченность обусловлена вторичными магнитными минералами.

Список литературы

1. Урусова Б.И. Физика магнитных явлений горных руд. СПб., 2010. 123 с.
2. Урусова Б.И., Лайпанов У.М. Перемагничивание горных пород // Успехи современного естествознания. 2018. № 3. С. 128-132.
3. Carrasco J.P., Osete M.L., Torta J.M., Santis A.De. A geomagnetic field model for the Holocene based on archaeomagnetic and lava flow data // Earth and Planetary Science Letters. 2014. P. 98-109.
4. Catherine G. Modelling the geomagnetic field from syntheses of paleomagnetic data // Physics of the Earth and Planetary Interiors. 2011. P. 109-117.
5. Belokon V.I., Dyachenko O.I. Long- and Short-Range Magnetic Order in Titanomagnetite // Phys. Solid Earth. 2020. Vol. 56(6). P. 888-891.
6. Ржевский В.В., Новик Г.Я. Основы физики горных пород. СПб., 2014. 368 с.
7. Гончаров С.А., Пашенков П.Н., Плотников А.В. Физика горных пород: физические явления и эффекты в практике горного производства. М., 2016. 27 с.

СТАТЬЯ

УДК 551.509.326

DOI 10.17513/use.38209

СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ И СРЕДСТВА МОНИТОРИНГА ГРОЗОВОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

¹Керефова З.М., ²Аджиева А.А., ³Кортиев А.Л., ¹Гятов Р.А.

¹ФГБУ «Высокогорный геофизический институт», Нальчик, e-mail: zknuz-kbsy@mail.ru;

²ФГБОУ ВО «Кабардино-Балкарский государственный аграрный университет
имени В.М. Кокова», Нальчик, e-mail: aida-adzhieva@mail.ru;

³ФГБОУ ВО «Северо-Кавказский горно-металлургический институт», Владикавказ,
e-mail: kortiev73@mail.ru

В статье приводятся результаты сравнительного анализа современных методов и средств мониторинга грозовой активности на территории России. К настоящему времени эксплуатируются пять основных грозоопеленгационных сетей в России: 3 – зарубежного производства и 2 – отечественные. Грозоопеленгационная сеть Росгидромета включает 87 датчиков/индикаторов, расположенных в европейской части, на Урале и Дальнем Востоке РФ. Из них 30 грозоопеленгационных датчиков производства фирмы Vaisala (Финляндия) и 57 датчиков производства фирмы Alwes (Россия). В европейской части расположены 14 грозоопеленгационных датчиков производства Vaisala, объединенных в единую сеть («ВГИ» и Европейский центр НИЦ «Планета»). В ФГБУ «ВГИ» проведены тестовые сравнительные испытания различных грозоопеленгационных датчиков. Получена хорошая согласованность выходных данных сравниваемых систем грозоопеленгации при регистрации наземных молниевых разрядов. Имеет место взаимное перекрытие территории мониторинга грозовой активности системами Росгидромета, TOA LPS-200, ENTLS, а также имеется часть территории РФ, которая охвачена грозоопеленгационными датчиками Росгидромета. В этой связи до создания грозоопеленгационной сети, покрывающей всю территорию РФ, рекомендуется привлекать для мониторинга грозовой активности данные TOA LPS-200.

Ключевые слова: молния, грозоопеленгационная сеть, грозорегистрация, атмосферное электричество, датчики
Работа выполнена за счет гранта Российского научного фонда (Соглашение № 23-17-20001).

MODERN METHODS AND TOOLS FOR MONITORING LIGHTNING ACTIVITY

¹Kerefova Z.M., ²Adzhieva A.A., ³Kortiev A.L., ¹Gyatov R.A.

¹High Mountain Geophysical Institute, Nalchik, e-mail: zknuz-kbsy@mail.ru;

²Kabardino-Balkarian State Agrarian University named after V.M. Kikov, Nalchik,
e-mail: aida-adzhieva@mail.ru;

³North Caucasus Mining and Metallurgical Institute, Vladikavkaz, e-mail: kortiev73@mail.ru

The article presents the results of a comparative analysis of modern methods and means of monitoring thunderstorm activity on the territory of Russia. To date, five main lightning direction finding networks are in operation in Russia: 3 foreign-made and 2 domestic. The lightning direction detection network of Roshydromet includes 87 sensors/indicators located in the European part, in the Urals and the Far East of the Russian Federation. Of these, 30 lightning direction finding sensors are manufactured by Vaisala (Finland) and 57 sensors are manufactured by Alwes (Russia). In the European part there are 14 lightning direction sensors manufactured by Vaisala, united in a single network (VGI and the European Center of the Planet Research Center). The Federal State Budgetary Institution "VGI" carried out comparative tests of various lightning direction finding sensors. Good agreement was obtained between the output data of the compared lightning direction finding systems when recording ground-based lightning discharges. There is mutual overlap of the territory for monitoring thunderstorm activity by the systems of Roshydromet, TOA LPS-200, ENTLS, and there is also a part of the territory of the Russian Federation that is covered by lightning direction-finding sensors of Roshydromet. In this regard, before creating a lightning direction network covering the entire territory of the Russian Federation, it is recommended to use TOA LPS-200 data to monitor lightning activity.

Keywords: lightning, lightning direction network, lightning registration, atmospheric electricity, sensors

The work was supported by a grant from the Russian Science Foundation (Agreement No. 23-17-20001).

Прогноз погодных явлений, особенно опасных, сегодня является обязательным условием для осуществления целого ряда видов деятельности человека. Без точного и своевременного прогноза сегодня не обходится ни один регулярный рейс гражданской и военной авиации, невозможна эффек-

тивная работа ремонтных и спасательных служб. Известно, что грозовая активность зачастую сопровождается такими опасными явлениями (ОЯ), как ливневые осадки, град, штормовой и ураганный ветер.

Интенсивная грозовая деятельность представляет большую опасность для ави-

ации, как на эшелонах полетов воздушных судов, так и в зоне взлета и посадки. Другим не менее опасным последствием грозовой активности, особенно «сухих» гроз, являются природные пожары, возникающие в том числе в труднодоступных таежных массивах. Площадь лесов в России составляет более 800 млн га и является самой большой в мире. В 2016 г. представители Рослесхоза называли «сухие» грозы главными виновниками в 80% летних лесных пожаров.

В перечень задач прогноза гроз входят определение вероятности развития грозовой ячейки, ее параметров и физических характеристик, а также мониторинг ее дальнейшей динамики и перемещения. Решение перечисленных выше задач потребовало изменения традиционных подходов к анализу грозовых явлений, существенного пересмотра требований к техническим характеристикам при модернизации существующего и разработке нового поколения систем место определения гроз, значительного расширения круга решаемых ими задач.

Грозопеленгационные системы (ГПС) определяют в режиме реального времени наибольшее число характеристик грозовой активности, которые не могут быть получены при наблюдениях на метеорологических станциях, путем дискретных измерений метеорологических радиолокаторов (периодичность раз в 10 мин) или метеорологических спутников. К таким характеристикам относятся точные координаты и время, а также тип (отдельные ГПС могут отдельно регистрировать разряды как облако – земля (ОЗ), так и облако – облако (ОО)) и токовые характеристики разрядов молний.

Другим преимуществом ГПС является больший радиус действия (по сравнению с метеорологическими радиолокаторами и наблюдениями на метеорологических станциях), а также незначительные эксплуатационные затраты.

Целью работы является повышение надежности защиты от грозовых явлений. Для этого очень важно иметь оперативную и непрерывную информацию о характеристиках гроз для конкретных географических районов, а также надежные и удобные методы получения этой информации. В статье рассмотрены действующие на сегодняшний день в России грозопеленгационные системы.

Материалы и методы исследования

Данная работа посвящена сравнительному анализу современных методов и средств мониторинга грозовой активности

на территории России. К настоящему времени эксплуатируются пять основных ГПС, 3 – зарубежного производства и 2 – отечественные. В работе выполнен их сравнительный анализ.

Отечественные и зарубежные ГПС:

- ГПС LS8000 фирмы Vaisala (Финляндия) [1, 2];
- ГПС EN Lightning System фирмы Earth Networks (США) [3, 4];
- ГПС LPS-200 фирмы TOA Systems Inc (США) [5, 6];
- ГПС «Алвес» [7, 8];
- ГПС «Верей» [9, 10].

Все вышеуказанные ГПС состоят из территориально разнесенных датчиков и центрального пункта приема, обработки, хранения и передачи информации потребителям. Работа датчиков заключается в регистрации радиочастотных сигналов, излучаемых молнией. Два возможных метода регистрации: по времени прихода к датчику электромагнитного излучения (ТОА) и магнитный пеленг (MDF) направления на излучатель (молнию). Если используется только время прибытия, по крайней мере три и, как правило, больше датчиков должны принимать сигнал, чтобы иметь возможность определить местоположение события молнии. Если используется магнитный пеленг, для определения местоположения события достаточно только двух датчиков. Однако, если доступно только магнитное определение направления, результирующая точность определения местоположения молнии будет невысокая.

Использование магнитного пеленга необходимо для нормального функционирования сети при сбоях отдельных датчиков.

Грозопеленгационная сеть датчиков EARTH NETWORKS

Разработчиками датчиков Earth Networks являются США, фирма Earth Networks Total Lightning System (ENTLS). Для проведения тестовых испытаний на Северном Кавказе было установлено 5 грозопеленгаторов фирмы ENTLS. Дистрибьютором фирмы Earth Networks в России является ООО «Метео Телеком». Система ENTLS является одной из самых технологически развитых сенсорных сетей грозопеленгации, которая способна обнаружить как внутриоблачные молнии, так и наземные грозовые разряды. Система Total Lightning Network используется во всем мире для обнаружения опасных погодных явлений и генерации своевременных предупреждений.

Таблица 1

Координаты мест установок грозопеленгаторов Total Lightning Network

| № | Населенный пункт | Координаты | | |
|---|------------------|------------|-----------|--------|
| | | Широта | Долгота | Высота |
| 1 | Черкесск | 44,2874 ° | 42,2404 ° | 901 |
| 2 | Зеленокумск | 44,4337 ° | 43,9036 ° | 172 |
| 3 | Ставрополь | 45,1136 ° | 42,1012 ° | 483 |
| 4 | Кызбурун | 43,6787 ° | 43,4048 ° | 747 |
| 5 | Лабинск | 44.6546 ° | 40.7470 ° | 121 |

По сравнению с традиционными радарными и другими общепринятыми технологиями, ENTLS имеет возможность значительно улучшить время предупреждения о приближении экстремальных погодных условий. Благодаря встроенным возможностям заблаговременного прогнозирования ENTLS улучшает не только период времени с момента предупреждения до наступления сильных штормов, но также обеспечивает планирование управления погодой. Именно поэтому ENTLS имеет неоценимое значение для мобильного оповещения и используется правительствами и метеорологическими службами, авиацией, организациями спорта и отдыха по всему миру.

Система ENTLS функционирует на основе уникальной технологии датчиков – Earth Networks Lightning Sensors (ENLS). По сравнению с датчиками грозопеленгации других компаний, которые способны обеспечить обнаружение только внутриоблачных молний, ENLS имеют широкий частотный диапазон от 1 Гц до 12 МГц, что позволяет детектировать как внутриоблачные, так и наземные молнии. Координаты мест установок исследованных в данной работе грозопеленгаторов приведены в табл. 1.

Грозопеленгационная сеть датчиков LS8000 (LS7002)

На территории Российской Федерации Росгидрометом развернута сеть грозопеленгаторов на базе датчиков LS фирмы Vaisala (Финляндия).

В настоящее время система грозопеленгации Росгидромета охватывает всю территорию европейской части России, Дальнего Востока (Хабаровский край, Амурская область, Еврейская автономная область) и о. Сахалин.

Грозопеленгационная сеть состоит из 30 датчиков LS8000 и LS7002. Европейский

сегмент включает 14 датчиков, объединенных в единую сеть. На Северном Кавказе 6 датчиков (4 датчика LS8000 и 2 датчика LS7002) и сеть в Московской области из 8 датчиков (рис. 1).

Балансодержателем северокавказского сегмента ГПС Росгидромета с 2008 г. является ФГБУ «ВГИ». Московский сегмент ГПС Росгидромета эксплуатирует ФГБУ «НИЦ» Планета».

Грозопеленгационная сеть LS8000 ФГБУ «ВГИ» до 2020 г. состояла из четырех грозопеленгаторов LS8000, после была еще дополнена двумя грозорегистраторами LS7002, более совершенные модели той же компании – Vaisala (Финляндия).

Грозопеленгатор LS8000 состоит из двух датчиков – LF и VHF. VHF-датчик регистрирует только молниевые разряды облако – облако, а LF-датчик регистрирует в основном молниевые разряды облако – земля.

Грозопеленгатор LS7002 имеет только один сенсор, но за счет совершенствования аппаратной и программной части грозопеленгатора этот сенсор фиксирует как наземные, так и облачные молниевые разряды. Также грозопеленгатор LS7002 гораздо компактнее, что облегчает установку и обслуживание этого грозопеленгатора.

Грозорегистратор TOA

Грозорегистратор TOA Systems Inc, оборудованный датчиками LPS-200, также является эффективной системой грозопеленгации внутриоблачных молний и молний типа облако – земля, с классификацией их на положительные и отрицательные [5, 6].

Балансодержателем ГПС TOA LPS-200 является ООО «Гроза». Сеть состоит из трех сегментов в СЗФО, ЦФО, ПФО и УФО, всего 28 грозопеленгаторов TOA LPS-200. Общая схема размещения датчиков представлена на рис. 2.

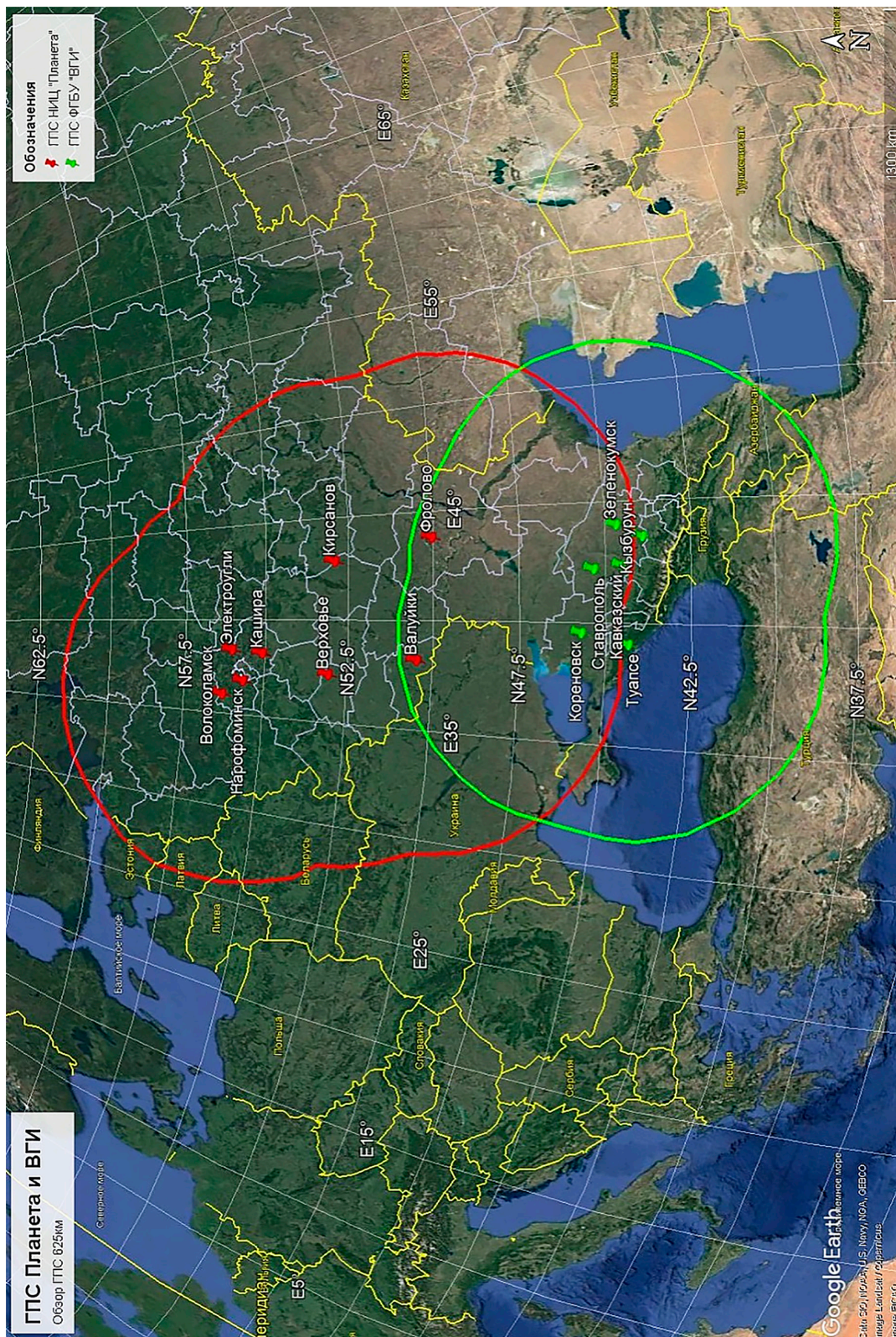


Рис. 1. Зоны обзора LF сенсоров ГПС «ВГИ» и ГПС «Планета»

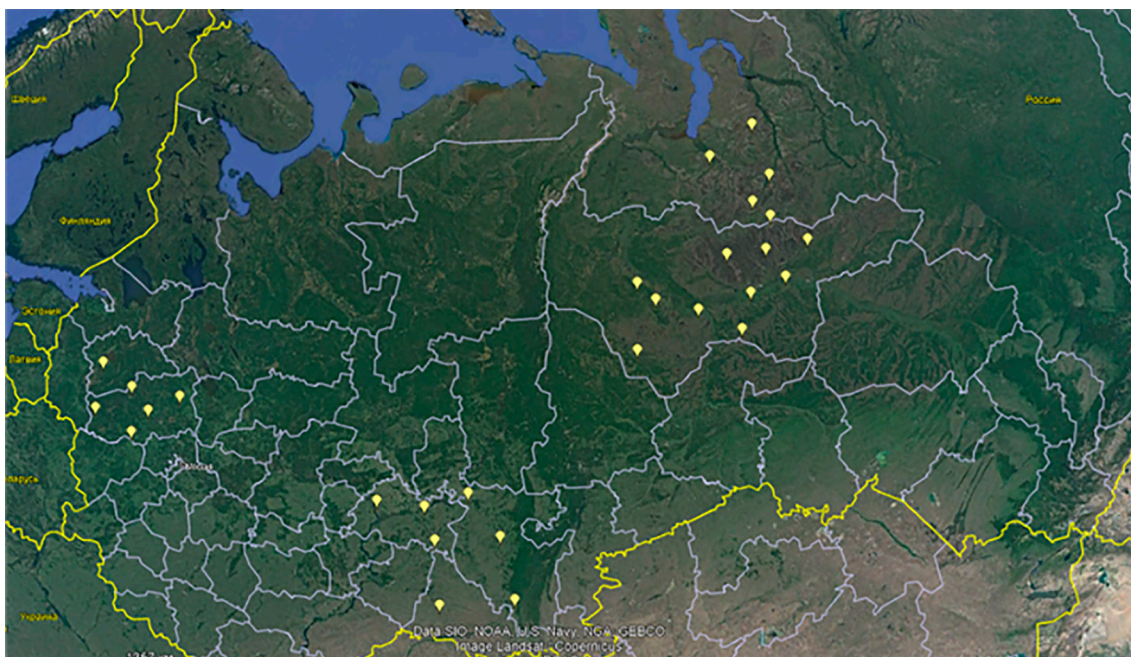


Рис. 2. Схема размещения грозопеленгаторов ООО «Гроза»

Текущая зона покрытия:

СЗФО – Псковская, Ленинградская, Новгородская, Вологодская, Кировская области, Республика Коми.

ЦФО – Московская, Тверская, Смоленская, Брянская, Калужская, Тульская и Ярославская области.

ПФО – Республики Татарстан, Башкортостан, Мари Эл, Удмуртия, Оренбургская, Ульяновская и Самарская области, Пермский край.

УФО – ХМАО, ЯНАО, Тюменская, Свердловская и Челябинская области.

Авторами также выполнены сравнительные оценки эффективности ГПС ТОА и ГПС LS8000 (табл. 2). ГПС ТОА, так же как и рассмотренные выше ГПС LS8000 и ENTLN, являются эффективными средствами мониторинга грозových дней. При этом ГПС ТОА более чувствительная, чем ГПС LS8000, и регистрирует большее количество молний во всем диапазоне частот.

Наиболее существенными отличиями в пользу LS8000 и, возможно, существенными для эксплуатации ГПС в труднодоступных районах являются:

а) диапазон регистрации электромагнитного излучения у LS от 1 Гц до 120 МГц, у EN от 1 Гц до 12 МГц, т.е. у LS верхне-частотный диапазон регистрации в 10 раз выше (120 МГц). Следствием этого будет выявление слабых облачных молний эффективнее, чем у EN и ТОА;

б) более чувствителен порог регистрации наземных положительных молний у LS, чем у других, примерно в 10 раз;

в) площадь охвата системой при минимальном количестве датчиков у LS больше на 100 км², чем у остальных;

г) опыт эксплуатации в России у LS в европейской части России 14 лет, у остальных – чуть больше 3 лет;

д) минимальное количество датчиков для работы системы LS – 2 датчика, у EN – 5 датчиков, ТОА – 3 датчика.

Данная характеристика для условий Сибири с труднопроходимыми территориями особо актуальна. По остальным характеристикам параметры систем совпадают (табл. 2).

Грозорегистраторы «АЛВЕС 7.04»

На территории РФ установлены 57 датчиков «Алвес». Для получения информации о месте положения грозových разрядов ГПС Алвес осуществляет регистрацию электромагнитного излучения (ЭМИ) молниевых разрядов в территориально разнесенных пунктах. Установленные в пунктах индикаторы грозовой опасности «Alwes 7.04» (далее – Индикаторы) принимают сигналы ЭМИ грозových разрядов, оцифровывают их, привязывают к сигналам точного времени, обрабатывают и передают параметры молниевых разрядов, включая точное время, на Центральный сервер.

Таблица 2
Технические характеристики грозоупаковочных систем ENTLS, LS8000, LPS-200 и Alwes 9.07.14

| № п/п | Характеристики | LS8000 (Финляндия) | ENTLS (США) | TOA LPS-200 (США) | Alwes 9.07.14 (Россия) |
|-------|--|--------------------|-------------------|--|------------------------|
| 1 | Время разряда молнии: дата, час, минута, секунда | Имеется | Имеется | Имеется | Имеется |
| 2 | Точность определения координаты разряда молнии, метров | от 100 | от 100 | от 100 | от 100 |
| 3 | Дискретность по времени определения значений уровня сигнала разряда молнии, наносекунд | 2 | 2 | 5 | – |
| 4 | Диапазон регистрации излучения молнии | 1 Гц – 120 МГц | 1 Гц – 12 МГц | 1 Гц – 1 ГГц | 1 Гц – 120 МГц |
| 5 | Определение формы сигнала молниевото разряда | Имеется | Имеется | Имеется | Нет |
| 6 | Формат регистрации координат молний | WGS – 84 | WGS – 84 | WGS – 84 | WGS – 84 |
| 7 | Программы обработки, представления и передачи информации | Не русифицированы | Не русифицированы | Не русифицированы | Русифицированы |
| 8 | Число дней с грозой (при сравнении с данными метеостанций), % | 100 | 100 | 100 | Не сравнивались |
| 9 | Классификация разрядов на типы облако – земля, облако – облако | Имеется | Имеется | Имеется | Нет |
| 10 | Классификация наземных молний на положительные и отрицательные | Имеется | Имеется | Имеется | Нет |
| 11 | Значение тока наземных молний положительной полярности, кА | От 1,5 до 500 | От 15 до 500 | От 15 до 500 без дополнительной проверки по высоте разряда от 3 до 500 кА с проверкой высоты | Нет |
| 12 | Значение тока наземных молний отрицательной полярности, кА | От -1,5 до -500 | От -1,5 до -500 | От -1,5 до -500 | Нет |
| 13 | Точность определения тока молнии, кА | 3 | 3 | Погрешность 10% | Нет |
| 14 | Минимальное количество датчиков для работы системы, штук | 2 | 5 | 3 | 4 |

Окончание табл. 2

| № п/п | Характеристики | LS8000 (Финляндия) | ENTLS (США) | TOA LPS-200 (США) | Alwes 9.07.14 (Россия) |
|-------|--|---|--|--|---|
| 15 | Оптимальное количество датчиков для работы системы, штук | 4 | 8 | 5 | 5 |
| 16 | Радиус охвата площади системой при минимальном количестве датчиков, километров | Около 600 км | Около 500 км | Около 400 км | — |
| 17 | Возможность наложения координат молнии на топографическую карту местности | Имеется | Имеется | Имеется | Имеется |
| 18 | Возможность совмещения координат молний с радиозохо облаков | Не имеется | Имеется | Имеется | Имеется |
| 19 | Опыт эксплуатации в России | С 2008 г. по настоящее время система эксплуатируется в европейской части России | В 2019 г. на Северном Кавказе проведена опытная эксплуатация | В 2017 г. на Северном Кавказе проведена опытная эксплуатация. в настоящее время в РФ работает 32 сенсора, 12 мест законсервировано и готово к установке сенсоров | В 2019 г. на территории республики Башкортостан |
| 20 | Возможность определения пространственной динамики опасных явлений погоды по молниевой активности | Не имеется | Имеется | Имеется | Нет |
| 21 | Возможность визуализации грозовой активности в режиме реального времени | Имеется | Имеется | Имеется | Имеется |
| 22 | Возможность формирования базы данных | Имеется | Имеется | Имеется | Имеется |
| 23 | Тип обработки данных | Цифровая | Цифровая | Цифровая | Аналоговая |

Центральный сервер осуществляет прием данных с Индикаторов, вычисление координат грозовых разрядов, передачу результатов вычислений на Сервер базы данных SQL ИСУБД, контроль и диагностику сети Индикаторов. Сервер базы данных SQL ИСУБД является хранилищем всех данных о молниевых разрядах. Он архивирует первичные данные с Индикаторов, вычисленные координаты и параметры ЭМИ (полярность и длительность первой полуволны сигнала ЭМИ разрядов, длительность переднего фронта, амплитуду сигнала) и дополнительные данные с метеорологических локаторов и спутников (модуль сбора и обработки данных метеолокаторов и ИСЗ поставляются отдельно). Он позволяет различным пользователям иметь доступ к данным для проведения анализа с использованием программного обеспечения ALWES ADA (ALWES Displai applikation) или модуля отображения данных в интернете AWDA (ALWES WEB Displai applikation) (модуль AWDA поставляется отдельно). Технические характеристики ГПС ALWES представлены в табл. 2.

Конструктивно регистраторы представляют собой антенный модуль и рабочее место оператора. Антенный модуль состоит из внешней антенны регистрации электрической компоненты ЭМИ, антенны GPS приемника, блоков предварительного усиления и фильтрации низких и высоких частот, размещенных в корпусе, обеспечивающем защиту от неблагоприятных условий внешней среды. Регистраторы работают непрерывно (круглосуточно), сообщения о проведенных измерениях передаются через определенные временные интервалы или по запросу. Для обмена информацией с сервером регистраторы оборудованы сетевой картой с интерфейсом связи LAN.

Система регистрации гроз от ООО «Алвес» позволяет определять координаты грозовых разрядов и параметры их электромагнитного излучения. Строить карты грозовой активности и объединять свои данные с данными о метеоявлениях метеорологических радиолокаторов и ИСЗ.

Грозорегистраторы «ВЕРЕЯ МР»

Система регистрации гроз «Верея-МР» развернута на территории России ФГУ «Авиалесоохрана». Принцип действия системы можно описать следующим образом: каждый пункт регистрирует время приема сигнала излучения, его направление, амплитудные характеристики принимаемого сиг-

нала и передает данные в обрабатывающий центр. Имеющаяся сеть грозопеленгации состоит из 26 пунктов регистрации гроз [11].

В целом зоны охватывают площадь в 11 млн км² с погрешностью определения места разряда 3 км. Аппаратурный модуль регистрирует импульсные сигналы электромагнитного излучения, обрабатывает их, формирует оперативные сообщения, содержащие параметры сигналов, и передает информацию в обрабатывающий центр, а также принимает и отображает данные о МР. Особенностью данной разработки является выносной антенный блок, имеющий более высокую чувствительность и значительно меньшие габариты, чем аналогичные зарубежные изделия. Высокая чувствительность обеспечивает 2–3-кратное преимущество в дальности действия и как минимум 4–9-кратное сокращение удельных затрат на единицу контролируемой площади (при одинаковой стоимости станций) система благодаря таким характеристикам фиксирует грозовые разряды на дальности до 1500 км [12].

Результаты исследования и их обсуждение

ФГБУ «ВГИ» провел сравнительные испытания различных грозопеленгационных систем. В частности, сравнительные оценки систем LS8000 и Earth Networks (табл. 2).

Сравнительные испытания показали, что ГПС Earth Networks и ГПС LS8000 являются эффективными средствами мониторинга грозовых дней. По территории обзора при сравнительных испытаниях, за период с 11 июля по 24 ноября 2019 г., ГПС Earth Networks зарегистрировала 59605 молниевых разрядов облако – земля, из них 5427 положительной полярности, 51237 – отрицательной полярности и 2941 – неопределенной полярности.

По этой же территории за этот же период системой LS8000 зарегистрировано 106090 молниевых разрядов облако – земля, из них 39330 положительной полярности и 66760 – отрицательной полярности.

Из полученных данных видно, что по выделенной части ГПС Earth Networks зарегистрировала на 46485 молниевых разрядов облако – земля меньше, чем ГПС LS8000, что составляет около 43%.

За период с 11 июля по 24 ноября 2019 г. на определенной территории обзора система Earth Networks зарегистрировала 565430 молниевых разрядов облако – облако. За этот же период системой LS8000 заре-

гистрировано 38157 молниевых разрядов облако – облако. Такое малое количество молниевых разрядов облако – облако, зафиксированных системой LS8000, объясняется тем, что в рассматриваемый период времени работали 2 или 1 VHF-датчик. При только одном работающем датчике невозможна вообще регистрация молниевых разрядов, а при двух датчиках очень ограничена. Таким образом, система регистраций молниевых разрядов облако – облако у системы LS8000 в рассматриваемое время или полностью не функционировала (с 01.09.2019 по 06.10.2019), или функционировала только с двумя VHF-датчиками.

С нашей точки зрения, основной причиной возникновения большой разницы в соотношении между количествами молниевых разрядов разной полярности является разный подход в определении наземных молний положительной полярности в сравниваемых ГПС. А именно, в ГПС Earth Networks при классификации молниевых разрядов положительной полярности принимается, в соответствии с опубликованными научными исследованиями [11], что молниевые разряды положительной полярности с силой тока меньше +15 кА относятся к облачным разрядам, а в ГПС LS8000 таких ограничений на силу тока в наземных положительных разрядах нет.

Различия особенно проявляются по таким важным параметрам, как средний и медианный ток для положительных молниевых разрядов и минимальные и максимальные значения по отрицательным молниевым разрядам. Для положительных разрядов среднее и медианное значения тока по данным ГПС Earth Networks +38,1 кА и +29,4 кА, а по данным ГПС LS8000 – +13,7 кА и +9,1 кА. То есть у ГПС Earth Networks эти значения в 3 раза больше, чем у ГПС LS8000. С нашей точки зрения, основной причиной возникновения таких различий в значениях средних и медианных значений тока в положительных молниевых разрядах является та же причина, что указывалась в предыдущем пункте. А именно то, что из числа наземных молниевых разрядов исключаются положительные молнии с силой тока меньше 15 кА.

Сравнительный анализ данных о молниевых разрядах и их статистических параметрах, полученных с помощью грозопеленгационных сетей двух компаний, ГПС LS8000 фирмы Vaisala (Финляндия) и ГПС Earth Networks (США) за период времени с 11 июля по 24 ноября 2019 г. по терри-

тории, ограниченной широтами 42°– Хорошую согласованность выходных данных сравниваемых систем грозопеленгации при регистрации молниевых разрядов облако – земля. Всего за период испытаний ГПС Earth Networks зафиксировала 340297, а ГПС LS8000 – 279591 молниевый разряд облако – земля. Число дней за указанный период с регистрируемым молниевым разрядом облако – земля по данным Earth Networks составило 94, а по данным LS8000 – 95. А число дней с количеством молниевых разрядов больше 100 по данным ГПС Earth Networks было 67, а по данным ГПС LS8000 – 62 дня. Метеостанции, расположенные по территории обзора, зарегистрировали за это время 45 дней с грозой, что хорошо согласуется с данными ГПС, так как метеостанции используют для регистрации визуально-слуховые методы, и часть гроз могут не зафиксировать.

– Полученные данные позволяют сделать вывод о том, что использование грозопеленгационной системы на основе датчиков Earth Networks позволит повысить точность и эффективность предупреждения опасных погодных явлений, а также улучшит заблаговременность их прогноза.

– ГПС Earth Networks и ГПС LS8000 являются эффективными средствами мониторинга грозовых дней.

Выводы

1. ГПС Росгидромета включает 87 грозопеленгационных датчиков (индикаторов), расположенных в европейской части, на Урале и Дальнем Востоке РФ. Из них 30 ГПД производства фирмы Vaisala (Финляндия) и 57 ГПД производства фирмы Alwes (РФ).

В европейской части расположены 14 ГПД производства Vaisala, объединенных в единую сеть («ВГИ» и Европейский центр НИЦ «Планета»).

В настоящее время в НИЦ «Планета» текущая плотность ГПС является недостаточной. Для наращивания ГПС НИЦ «Планета» необходимо дополнительно разместить ГПД на территории Сибирско-Дальневосточной зоны: от о. Байкал Байкальского района до Дальнего Востока. Требуется увеличить количество ГПД на территории центра европейской части РФ с целью повышения точности регистрации грозовой активности на этой территории. Необходимо расширить ГПС, развернув дополнительные сети, для создания непрерывного и равномерного поля наблюдений за грозами на всей территории РФ: от Юж-

ного и Северо-Кавказского ФО до Северо-Западного ФО.

2. Кроме ГПС Росгидромета на территории РФ развернуто ограниченное количество датчиков типа ENTLS (США) и TOA LPS-200 (США), но тем не менее до настоящего времени значительная часть территории РФ не покрыта сетью грозопеленгационных датчиков.

3. В ФГБУ «ВГИ» проведены тестовые сравнительные испытания различных грозопеленгационных датчиков. Получена хорошая согласованность выходных данных сравниваемых систем грозопеленгации при регистрации наземных молниевых разрядов.

Совмещение грозопеленгационных данных, как ГПС Earth Networks, так и ГПС LS8000, с данными радиоэха облаков, получаемых метеорологическими радиолокаторами, показало хорошую согласованность между выходными данными для обоих ГПС. Около 90% разрядов молнии сосредоточено в зонах радиоэха облаков и осадков.

Полученные данные позволяют сделать вывод о том, что использование грозопеленгационной системы на основе датчиков Earth Networks позволит повысить точность и эффективность предупреждения опасных погодных явлений, а также улучшит заблаговременность их прогноза.

4. Имеет место взаимное перекрытие территории мониторинга грозовой активности системами Росгидромета, TOA LPS-200, ENTLS, а также имеется часть территории РФ, которая охвачена грозопеленгационными датчиками Росгидромета. В этой связи до создания грозопеленгационной сети, покрывающей всю территорию РФ, рекомендуется привлекать для мониторинга грозовой активности данные TOA LPS-200.

Список литературы

1. Аджиев А.Х., Стасенко В.Н., Тапасханов В.О. Система грозопеленгации на Северном Кавказе // Метеорология и гидрология. 2013. № 1. С. 5–11.
2. Аджиев А.Х., Куповых Г.В. Измерения электрического поля атмосферы в высокогорных условиях Приэльбрусья // Известия Российской академии наук. Физика атмосферы и океана. 2015. Т. 51, № 6. С. 710–715.
3. Thompson K.B., Bateman M.G., Carey L.D. A comparison of two ground-based lightning detection networks against the satellite-based lightning imaging sensor (LIS) // Journal of Atmospheric and Oceanic Technology. 2014. Vol. 31, Is. 10. P. 2191–2205. DOI:10.1175/JTECH-D-13-00186.1.
4. Goodman S.J., et al. The GOES-R Geostationary Lightning Mapper (GLM) // Atmos. Res. 2013. № 125–126. P. 34–49. DOI: 10.1016/j.atmosres.2013.01.006.
5. Губенко И.М., Рубинштейн К.Г. Пример усвоения данных нескольких сетей грозопеленгации в численном прогнозе погоды // Оптика атмосферы и океана. 2021. Т. 34, № 10. С. 803–807. DOI: 10.15372/AOO20211007.
6. Lay E.H. Investigating lightning-to-ionosphere energy coupling based on VLF lightning propagation characterization // University of Washington, Seattle, Washington State, USA. 2008. P. 20–46.
7. Снегуров А.В., Снегуров В.С. Экспериментальная грозопеленгационная система // Труды ГГО. 2012. Вып. 567. С. 188–200.
8. Снегуров А.В., Снегуров В.С., Шаповалов А.В., Шуккин Г.Г. Опыт совместных наблюдений за грозами грозопеленгатором-дальномером и метеорологическим радиолокатором // Труды НИЦ ДЗА (Филиал ГГО). 2006. Вып. 7 (555). С. 139–148.
9. Жарашуев М.В. Метод выявления сбоев работы грозопеленгационной сети в сборнике: Инновационные решения в строительстве, природообустройстве и механизации сельскохозяйственного производства // Сборник научных трудов Всероссийской (национальной) научно-практической конференции. Нальчик, 2022. С. 50–56.
10. Аджиев А.Х., Болдырев А.С., Кузьмин В.А. Методология предупреждения грозовой опасности с использованием измерителей напряженности электрического поля и грозопеленгационной сети // Известия ЮФУ. Технические науки. 2018. № 7 (201). С. 166–177.
11. Koshak W.J., Cummins K.L., Buechler D.E., Vant-Hull B., Blakeslee R.J., Williams E.R. and Peterson H.S. Variability of CONUS lightning in 2003–12 and associated impacts // Journal of Applied Meteorology and Climatology. 2015. № 54 (1). P. 15–41. DOI: 10.1175/JAMC-D-14-0072.1.

СТАТЬЯ

УДК 528.7:550.8

DOI 10.17513/use.38210

**ТЕХНОЛОГИИ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ
С ПРИМЕНЕНИЕМ БЕСПИЛОТНЫХ ВОЗДУШНЫХ СУДОВ****Осинцева М.А., Рада А.О., Кузнецов А.Д.***ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет», Кемерово,**e-mail: pavvm2000@mail.ru*

В последние годы возросло применение дистанционного зондирования беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) для мониторинга техногенно нарушенных земель, а направления применения расширились. И в настоящее время было проведено несколько обзорных исследований, посвященных конкретно техногенно нарушенным землям. Однако недостаточно систематических и всесторонних исследований применения беспилотных воздушных судов в мониторинге техногенно нарушенных экосистем. Целью данной работы являлось изучение технологии дистанционного зондирования Земли с применением беспилотных воздушных судов для контроля техногенно нарушенных земель Кемеровской области – Кузбасса. Впервые проанализировали тенденции применения беспилотных воздушных судов для дистанционного зондирования техногенно нарушенных земель. Основными аспектами сценариев применения дистанционного зондирования с беспилотных воздушных судов являются мониторинг растительности, физический и химический мониторинг почвы, мониторинг деградации почвы и мониторинг нарушений окружающей среды. Существующие ограничения и направления развития применения беспилотных воздушных судов были обобщены. Приведенные материалы будут полезны для лучшего понимания возможностей применения дистанционного зондирования с помощью беспилотных воздушных судов не только для мониторинга нарушенных земель угольных участков, но и в научных исследованиях биологических объектов экологических наблюдений.

Ключевые слова: дистанционное зондирование, беспилотные воздушные суда, цифровые аэросъемки техногенно нарушенных земель, рекультивация

Работа ведется в рамках Распоряжения Правительства Российской Федерации от 11.05.2022 г. №1144-р, комплексной научно-технической программы полного инновационного цикла «Разработка и внедрение комплекса технологий в областях разведки и добычи твердых полезных ископаемых, обеспечения промышленной безопасности, биоремедиации, создания новых продуктов глубокой переработки из угольного сырья при последовательном снижении экологической нагрузки на окружающую среду и рисков для жизни населения» («Чистый уголь – зеленый Кузбасс»), мероприятие 3.1 «Экополигон мирового уровня технологий рекультивации и ремедиации» при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (соглашение №075-15-2022-1200 от 28.09.2022 г.).

**LAND REMOTE SENSING TECHNOLOGIES
USING UNMANNED AERIAL VEHICLES****Osintseva M.A., Rada A.O., Kuznetsov A.D.***Kemerovo State University, Kemerovo, e-mail: pavvm2000@mail.ru*

In recent years, the use of unmanned aerial vehicle (UAV) remote sensing for monitoring anthropogenically disturbed land has grown, as have the application areas. And there have been several review studies specifically on technogenically disturbed lands. However, there is insufficient systematic and comprehensive research on the application of unmanned aircraft in monitoring technogenically disturbed ecosystems. This paper aims to study the technology of remote sensing of the land using unmanned aircraft to control technogenically disturbed lands of Kemerovo region – Kuzbass. For the first time the trends in the use of unmanned aircraft for remote sensing of technogenically disturbed areas are analyzed. The primary aspects of unmanned aircraft remote sensing application scenarios were vegetation monitoring, soil physical and chemical monitoring, soil degradation monitoring, and environmental disturbance monitoring. The current limitations and future directions of unmanned aircraft applications have been summarized. The materials provided will aid in a better understanding of the applications of remote sensing by unmanned aircraft not only for monitoring of disturbed lands of coal sites, but also in scientific research of biological objects of ecological observations.

Keywords: remote sensing, unmanned aerial vehicles, digital aerial surveys of technogenically disturbed lands, reclamation

The work was carried out within the framework of Decree No. 1144-r of the Government of the Russian Federation dated 11.05.2022, a full innovation cycle comprehensive research and technical program "Development and implementation of a complex of technologies in the fields of exploration and extraction of solid minerals, industrial safety, bioremediation, creation of new products of deep processing from coal raw materials with a consistent reduction of the environmental burden on the environment and risks to the life of the population" ("Clean coal – green Kuzbass"), event 3.1 "Ecopoligon of world-class reclamation and remediation technologies" with financial support from the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (Agreement No. 075-15-2022-1200 dated 28.09.2022).

С начала 2000-х гг. аэрофотосъемка находит широкое применение в различных областях (картография, геодезия, геология, градостроительство и лесная инвентаризация, киноиндустрия, реклама и др.) [1]. Беспилотные летательные аппараты (беспилотные воздушные суда) обладают простотой в эксплуатации и управляются дистанционно, что расширяет их спектр применения в областях и территориях, недоступных для человека по разным причинам [2]. Беспилотные воздушные суда (БВС) способны получать изображения высокой четкости с точностью пространственного разрешения как минимум до сантиметров с больших площадей благодаря оснащению оборудованием (датчиками дистанционного зондирования) и соответствующим программным обеспечением (алгоритмы технологии позиционирования) [3]. Эти особенности БВС раскрывают всю широту их применения: военные операции (разведки, обнаружения цели и атаки на поле боя), гражданская авиация (мониторинг и наблюдения с воздуха, контроль лесных пожаров, инспекция инфраструктуры и др.), агрономия (выявление заболеваний растений, оценка, оптимизация использования земли и др.), киноиндустрия и шоу, транспорт и доставка, охрана окружающей среды и др. [4–7].

Широта областей совместного применения технологий дистанционного зондирования территорий и беспилотных воздушных судов определяет потенциал их использования. К таким областям относятся агрокультура, лесное хозяйство, гидрология, география, управление природными и экологи-

ческими катастрофами, транспорт и связь, научные исследования и др. [8]. Экспоненциальный рост числа научных публикаций по приложениям дистанционного зондирования территорий с помощью беспилотных воздушных судов [9] отображает рост авторитета аэрофотосъемки, как части исследований во многих дисциплинах. Тем не менее обзорных работ современных тенденций применения дистанционного зондирования с БВС для мониторинга нарушенных земель недостаточно [10].

Целью исследования являлось изучение возможности применения технологии дистанционного зондирования Земли с применением беспилотных воздушных судов для контроля техногенно нарушенных земель Кемеровской области – Кузбасса.

Материалы и методы исследования

Отвал вскрышных пород и сопредельные территории одного из угольных месторождений Кузбасса, расположенные в Прокопьевском районе Кемеровской области в непосредственной близости от лицензионных участков 1 и 2 (рис. 1), являлись территорией исследования. Согласно [11] рассматриваемый участок находится на территориях, где должны быть расположены луга.

По данным Единого государственного реестра недвижимости на отвале, в пределах которого расположен экспериментальный участок и сопредельные территории отвалов вскрышных пород угольных месторождений Кузбасса, расположены земли, относящиеся к категории земель лесного фонда.



Рис. 1. Границы объекта работ и лицензионные участки на недропользование: 1 и 2 лицензионные участки (фото из коллекции КемГУ, дата съемки 20.10.2022): черная линия – границы участка рекультивации; синяя линия – река Черновой Нарык, желтые линии – технологические дороги, серые линии – грунтовые дороги

Хотя непосредственно сам экспериментальный участок не попадает на земли лесного фонда, но в аналогичных условиях находятся другие части отвала, которые должны быть рекультивированы до возвращения земель в лесной фонд.

Для выполнения дистанционного зондирования отвала вскрышных пород угольного месторождения и сопредельных территорий использование программно-аппаратного комплекса (ПАК) в составе высокопроизводительных беспилотных воздушных судов коммерческого класса (DJI Phantom 4 Pro+, модернизированный набором TeoKit, воздушное судно мультироторного типа с четырьмя электрическими бесколлекторными двигателями (рис. 2), цифровой фотокамеры, воздушного лазерного сканера (лидара), мультиспектральной камеры, радиометрического тепловизора, газоанализатора, бортового и наземного спутниковых геодезических приемников, программное обеспечение (ПО) для фотограмметрической обработки, ПО для обработки данных геодезических измерений и ПО для создания ГИС является наиболее рациональным. Точка базовой станции представляла собой заранее заординированную точку в пространстве. Для удобства ее использования она была расположена максимально близко к точке взлета/посадки БВС, при этом расстояние точки базовой станции от крайних точек границ объекта работ не превышало 20 км. На данной точке при проведении полетов производилась запись наземным GNSS-приемником [12].



Рис. 2. Воздушное судно мультироторного типа DJI Phantom 4 Pro+ (фото из коллекции КемГУ)

Аэрофотосъемка территорий исследуемого участка и сопредельных участков техногенно нарушенных земель угольного месторождения Кемеровской области – Куз-

басса выполнялась 20 октября 2022 г. Погодные условия во время проведения работ: пасмурно, ветер 3 м/с, -5°C . Мультиспектральная съемка, съемка в ИК-спектре, детектирование утечек метана исследуемого участка выполнялись 1 ноября 2022 г. Погодные условия во время проведения съемок и детектирования: пасмурно, ветер 4 м/с, -5°C . На объекте работ наблюдался неустойчивый снежный покров. Высота полета 30 м относительно рельефа местности при детектировании утечек метана и 100 м при остальных съемках. При полете огибание рельефа местности не выполнялось.

С помощью программного обеспечения UGCS выполнялась подготовка полетного задания. В программном продукте ТЕОВОР относительно точки базовой станции tbs_kru выполнялось уравнивание полета для получения точных центров фотографирования. Программный продукт ТЕОВОХ 3 был использован для возможности применения смещения камеры относительно GNSS-приемника БВС.

Фотометрическую обработку данных аэрофотосъемки производили в ПО, позволяющем производить обработку снимков, полученных камерой видимого спектра, в автоматическом режиме. В результате фотограмметрической обработки получены ортофотоплан в формате GeoTiff и цифровая модель поверхности в формате GeoTiff.

Результаты исследования и их обсуждение

Работы по дистанционному зондированию Земли выполнялись специалистами КемГУ согласно утвержденной «Программе и методике проведения дистанционного зондирования экспериментального участка и сопредельных территорий отвалов вскрышных пород угольных месторождений Кузбасса», и включали в себя аэрофотосъемку, мультиспектральную съемку, воздушное лазерное сканирование, съемку в ИК-спектре, детектирование утечек метана.

Создание цифрового ортофотоплана и цифровой модели поверхности. Работы по созданию цифрового ортофотоплана и цифровой модели поверхности выполнялись в программном комплексе Agisoft Metashape Professional из цифровых аэрофотоснимков, с запасом покрывающих границы изучаемого объекта, с целью получения непрерывного ортофотоизображения местности без видимых швов и порезов. Цифровая модель поверхности создавалась в процессе построения ортофотоплана (рис. 3).

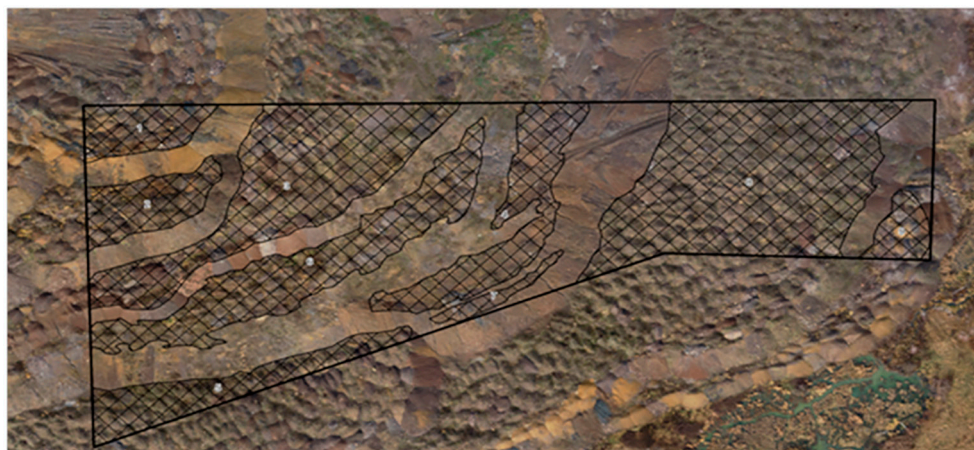


Рис. 3. Ортофотоплан и граница объекта исследований (фото из коллекции КемГУ) — границы рекультивации; □□ территория с плоским (неспланированным) рельефом

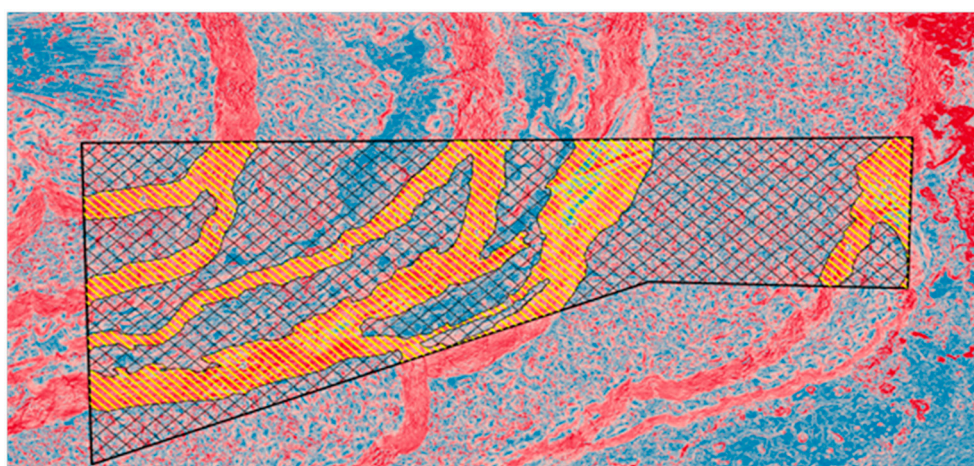


Рис. 4. Карта уклонов экспериментального участка и сопредельных территорий отвалов вскрышных пород угольных месторождений (фото из коллекции КемГУ)

Она во многом схожа с цифровой моделью рельефа, но имела более низкую точность построения. Поэтому цифровая модель поверхности была использована как модель земной поверхности при проектировании полетных заданий для последующих работ.

Крутые уклоны на участках рекультивации наиболее интересны с точки зрения исследования, поскольку их вертикальное профилирование – наиболее затратное мероприятие при рекультивации. На территории экспериментального участка и сопредельных территорий были выделены участки с крутыми уклонами (рис. 4), из которых было сформировано 9 участков, для каждого из которых были рассчитаны площадь,

минимальная высота на участке, максимальная высота на участке, перепад высот и средняя высота на участке.

Карта термографической съемки. Мониторинг возгораний угля осуществляется посредством тепловизионной аэрофотосъемки с БВС. Для анализа угольных пожаров собирают значительный объем данных по результатам аэрофотосъемки в тепловом диапазоне [8, 9]. Составленная по результатам съемки в ИК-спектре карта термографической съемки (рис. 5) содержит данные абсолютной температуры поверхности экспериментального участка и сопредельных территорий отвалов вскрышных пород угольных месторождений.



Рис. 5. Карта термографической съемки (фото из коллекции КемГУ)

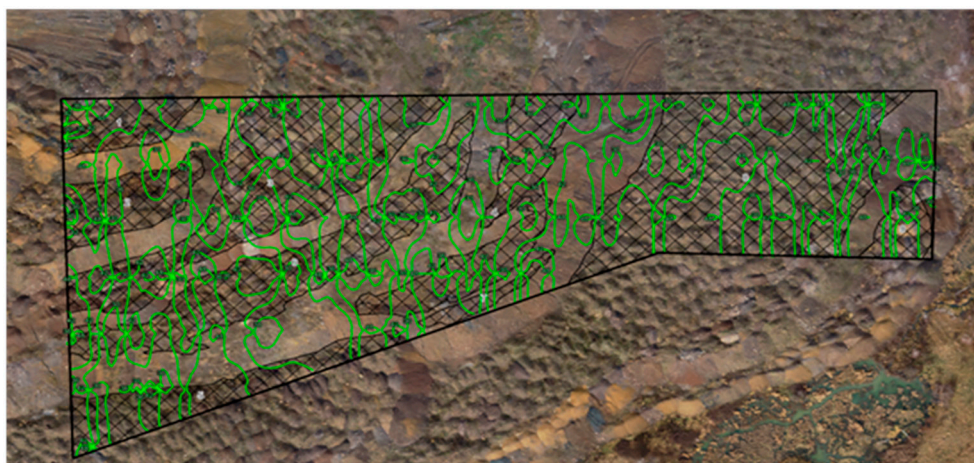


Рис. 6. Карта концентрации метана (фото из коллекции КемГУ)

На карте можно наблюдать локальные максимумы и минимумы температур. Температура на экспериментальном участке и сопредельных территориях отвалов вскрышных пород угольных месторождений имеет спокойный фон без выраженных максимумов, которые могли бы свидетельствовать о протекающих процессах окисления остатков угля в горной массе отвала.

Карта концентрации метана. Кузбасс является одной из крупнейших угольных территорий не только России, но и мира. Угледобыча сопровождается активными выбросами метана на территориях как угледобывающих разрезов, так и угольных отвалов [12]. Выбросы метана приводят к экологическим катастрофам, снижению качества воздуха, негативно влияют на здоровье и жизнь населения региона [13, 14]. В ме-

стах скопления метана в почве необходимо проводить мониторинг и контроль выбросов, что позволит отслеживать уровни выбросов и принимать меры для их снижения при необходимости.

Составленная по результатам детектирования утечек метана карта концентрации метана показывает наличие возможных выходов метана из угольной массы, оставшейся на экспериментальном участке и сопредельных территориях отвалов вскрышных пород угольных месторождений. Концентрация метана (рис. 6) не превышала значения 50 ppm. Возможно, полученные результаты отражают не фактическое состояние концентрации метана на экспериментальном участке и сопредельных территориях отвалов вскрышных пород угольных месторождений, а предел погрешности измерений.

Заключение

При проведении исследований техногенно нарушенных земель экспериментального участка и сопредельных территорий отвалов вскрышных пород территории угольного месторождения Кузбасса с помощью БВС были проведены аэрофотосъемка, мульти-спектральная съемка, воздушное лазерное сканирование, съемка в ИК-спектре, а также детектирование утечек метана. По результатам выполняемых работ для проведения анализа и визуализации пространственных данных, разных способов сбора и обработки полученных материалов аэросъемок, картографических материалов, геодезических измерений и дополнительных данных была создана специализированная ГИС.

Полученная достоверная информация об отсутствии на объекте температурных аномалий и возможных источников выбросов метана, которые могут негативно повлиять на развитие высаживаемых культур, позволит приступить к изучению существующих на участке вегетативных процессов, определить объем необходимых подготовительных работ по подготовке площадок к биологической рекультивации техногенно нарушенных территорий.

Список литературы

1. Isokangas E., Davids C., Kujala K., Rauhala A., Ronkanen A.-K., Rossi P.M. Combining unmanned aerial vehicle-based remote sensing and stable water isotope analysis to monitor treatment peatlands of mining areas // *Ecological Engineering*. 2019. Vol. 133. P. 137–147. DOI: 10.1016/j.ecoleng.2019.04.024.
2. Feng L., Chen S., Zhang C., Zhang Y., He Y. A comprehensive review on recent applications of unmanned aerial vehicle remote sensing with various sensors for high-throughput plant phenotyping // *Computers and Electronics in Agriculture*. 2021. Vol. 182. № 106033. DOI: 10.1016/j.compag.2020.105223.
3. Zheng H., Zhou X., He J., Yao X., Cheng T., Zhu Y., Cao W., Tian Y. Early season detection of rice plants using RGB, NIR-G-B and multispectral images from unmanned aerial vehicle (UAV) // *Computers and electronics in agriculture*. 2020. Vol. 169. № 105223. DOI: 10.1016/j.compag.2020.105223.
4. Рада А.О., Кузнецов А.Д., Зверев Р.Е., Тимофеев А.Е. Автоматизация мониторинга строительных работ на основе лазерного сканирования с беспилотных воздушных судов // *Нанотехнологии в строительстве*. 2023. Т. 15, № 4. С. 373–382.
5. Ivanova S., Prosekov A., Kaledin A. A Survey on Monitoring of Wild Animals during Fires Using Drones // *Fire*. 2022. Vol. 5, Is. 3. P. 60. DOI: 10.3390/fire5030060.
6. Бабич О.О., Рада А.О., Куликова Ю.В., Сухих С.А. Изучение уровня эвтрофикации прибрежных вод Гданьского залива Балтийского моря с использованием данных дистанционного зондирования Земли // *Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Серия: Естественные науки*. 2023. № 1 (217). С. 35–42.
7. Prosekov A., Kuznetsov A., Rada A., Ivanova S. Methods for Monitoring Large Terrestrial Animals in the Wild // *Forests*. 2020. Vol. 11, Is. 8. P. 808. DOI: 10.3390/f11080808.
8. Reis B.P., Martins S.V., Fernandes Filho E.I., Sarcinelli T.S., Gleriani J.M., Leite H.G., Halassy M. Forest restoration monitoring through digital processing of high resolution images // *Ecological Engineering*. 2019. Vol. 127. P. 178–186. DOI: 10.1016/j.ecoleng.2018.11.022.
9. Libran-Embid F., Klaus F., Tschamtk T., Grass I. Unmanned aerial vehicles for biodiversity-friendly agricultural landscapes—A systematic review // *The Science of the total environment*. 2020. Vol. 732. № 139204. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2020.139204.
10. Gao J.T., Sun F.D., Huo F., Zhang L.B., Zhou S., Yang T.Y., Dabian Z.X. Application and evaluation of unmanned aerial vehicle remote sensing in grassland animal and plant monitoring // *Acta Agrestia Sinica*. 2021. Vol. 29. P. 1–9. DOI: 10.11733/j.issn.1007-0435.2021.01.001.
11. Постановление губернатора Кемеровской области № 80-пг от 08 ноября 2016 г. «Схема размещения, использования и охраны охотничьих угодий на территории Кемеровской области» [Электронный ресурс]. URL: https://depozit.ru/index.php/dokumenty/58-postanovleniya-i-rasporyazheniya-gubernatora-kemerovskoj-oblasti/327-docs_327# (дата обращения: 10.11.2023).
12. Broda J., Franitza P., Herrmann U., Helbig R., Grobe A., Grzybowska-Pietras J., Rom M. Reclamation of abandoned open mines with innovative meandricly arranged geotextiles // *Geotextiles and Geomembranes*. 2020. Vol. 48, Is. 3. P. 236–242. DOI: 10.1016/j.geotextmem.2019.11.003.
13. Wu H., Yao C., Li C., Miao M., Zhong Y., Lu Y., Liu T. Review of Application and Innovation of Geotextiles in Geotechnical Engineering // *Materials*. 2020. Vol. 13, Is. 7. № 1774. DOI: 10.3390/ma13071774.
14. Kamble S.S., Dod R.D. Management of coal mine overburden and fly ash using bamboo cultivation // *International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering*. 2019. Vol. 8, Is. 10. P. 4223–4226. DOI: 10.35940/ijitee.J9942.0881019.

СТАТЬЯ

УДК 574.2

DOI 10.17513/use.38211

ВЛИЯНИЕ СОЛЕННОСТИ НА ПРОРАСТАНИЕ СЕМЯН РАСТЕНИЙ-ГАЛОФИТОВ ЛИТОРАЛИ БЕЛОГО МОРЯ: ОЦЕНКА ПЛАСТИЧНОСТИ

Марковская Е.Ф., Теребова Е.Н., Павлова М.А.

ФГБОУ ВО «Петрозаводский государственный университет», Петрозаводск,
e-mail: eterebova@gmail.com

В работе исследованы масса (г), прорастание семян (%) и пластичность (CV,%; индекс пластичности (ИП),%) этих показателей у растений-галофитов *Plantago maritima* L., *Tripolium vulgare* Bess. ex Nees., *Triglochin maritima* L., *Glaux maritima* L. прибрежных территорий Белого моря в условиях солёности 0; 10; 24‰ в лабораторном эксперименте. Для оценки пластичности использовали анализ коэффициента вариации (CV) признаков и формулу: $ИП = (M_{max} - M_{min}) / M_{max} \times 100$ (%). Наиболее низкие значения массы имели семена *G. maritima* (2,8±0,3), более высокие значения установлены у массы семян *T. maritima* (5,5±1,5) и *P. maritima* (6,6±2,0), и наибольшую массу показали семена *T. vulgare* (9,0±1,8). При сравнении уровня пластичности массы семян установлено, что наименее варьирует масса *T. maritima* и *G. maritima* (19±5 и 16±3%), несколько выше этот показатель у *P. maritima* – 22±2%, а наиболее пластичной оказалась масса семян *T. vulgare* – 29±4%. Максимальная всхожесть также установлена для семян *T. vulgare* (68–72%). Анализ степени пластичности (ИП) всхожести семян при разной солёности выявил, что наибольшая средняя степень пластичности 92% характерна для процесса прорастания семян *T. vulgare*, 64% – степень пластичности прорастания семян *T. maritima* и 45% – *P. maritima*. Так как семена *G. maritima* не проросли в условиях различной солёности, то степень пластичности установить не удалось. Семена *T. vulgare*, в отличие от других исследованных видов галофитов, проросли во всех вариантах солёности воды, что может свидетельствовать о более высоком уровне их солеустойчивости. На основании собственных и литературных данных делается вывод о высоком адаптивном потенциале вида *T. vulgare* и незначительном вкладе семенного размножения, по сравнению с вегетативным, в развитие растений-галофитов литорали Белого моря.

Ключевые слова: галофиты, прорастание семян, масса, пластичность, литораль, вегетативное размножение

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда Российской Федерации (тема № 23-67-10006).

THE INFLUENCE OF SALINITY ON THE GERMINATION OF SEEDS OF HALOPHYTE PLANTS IN THE LITTORAL ZONE OF THE WHITE SEA: ASSESSMENT OF PLASTICITY

Markovskaya E.F., Terebova E.N., Pavlova M.A.

Petrozavodsk State University, Petrozavodsk, e-mail: eterebova@gmail.com

In this work, the weight (g), seed germination (%) and plasticity (CV,%; plasticity index (PI),%) of these indicators in halophyte plants *Plantago maritima* L., *Tripolium vulgare* Bess. ex Nees., *Triglochin maritima* L., *Glaux maritima* L. on the coastal areas of the White Sea under salinity conditions of 0; 10; 24‰ in a laboratory experiment. To assess plasticity, we used the analysis of the coefficient of variation (CV) of traits and the formula: $PI = (M_{max} - M_{min}) / M_{max} \times 100$ (%). The lowest mass values were found for the seeds of *G. maritima* (2,8±0,3), higher values were found for the seeds of *T. maritima* (5,5±1,5) and *P. maritima* (6,6±2,0), and the seeds of *T. vulgare* showed the maximum weight (9,0±1,8). We compared the level of plasticity of seed mass. The mass of *T. maritima* and *G. maritima* varies the least (19±5 and 16±3%), this indicator is slightly higher in *P. maritima* – 22±2%, and the seed mass of *T. vulgare* had the greatest plasticity – 29±4%. The highest germination rate was also found for *T. vulgare* seeds (68–72%). Analysis of the degree of plasticity (PI) of seed germination at different salinities revealed that the highest average degree of plasticity – 92% – is typical for the germination process of *T. vulgare* seeds, 64% – for *T. maritima* seeds, and 45% – for *P. maritima* seeds. Since the seeds of *G. maritima* did not germinate under conditions of different salinities, the degree of plasticity could not be determined. The seeds of *T. vulgare*, in contrast to other studied halophyte species, sprouted in all water salinities, which may indicate a higher level of salt tolerance of the seeds. In conclusion, the adaptation potential of *T. vulgare* is high and the contribution of seed reproduction to the development of halophyte plants in the littoral zone of the White Sea, compared to vegetative reproduction, is low.

Keywords: halophytes, seed germination, mass, plasticity, littoral, vegetative propagation

This work was supported by the Russian Science Foundation of the Russian Federation (topic no. 23-67-10006).

На литорали Белого моря обитают галофиты – высшие растения, адаптированные к высокому содержанию солей в почве и воде

[1]. Произрастая на приливно-отливной зоне моря, галофиты испытывают на себе его динамику: два раза в сутки в течение примерно

восьми часов постепенно полностью заливаются морской водой в прилив и осушаются в отлив. В зоне контакта моря и суши происходит постоянное варьирование условий среды обитания растений (содержания кислорода, инсоляции, температуры, волновой динамики, уровня солености и элементного состава морской воды и грунтов). В процессе формирования приморских биогеоценозов в условиях прибрежных морских территорий идет эволюционный отбор видов растений, способных существовать в условиях периодически изменчивой среды, как в сезонном, так и в суточном цикле.

Вопросы эволюции тесно связаны с проблемой полиморфизма признаков вида и свойством их пластичности. Вопрос природы, роль и эволюционные последствия фенотипической пластичности как адаптивного свойства растений широко обсуждается [2]. Пластичность можно определить как изменение фенотипического проявления генотипа, которое происходит в ответ на определенные условия окружающей среды и которое усиливает способность организма к выживанию и размножению в таких условиях [3]. Особый интерес представляет понятие адаптивной пластичности [4], которая определяет резерв организма на настоящие и будущие связи организма со средой и свидетельствует о незавершенности процесса адаптации. Реализация свойства полиморфизма, пластичности в природе тесно связана со стратегией выживания или жизни вида [2].

Стратегия выживания вида базируется на многоуровневых адаптациях растений, затрагивающих все этапы онтогенеза растений. У галофитов были установлены и изучены эколого-физиологические [5, 6] приспособления к действию засоления и загрязнения [7] среды обитания. Считается, что изменчивость признака у растений в постоянно меняющихся условиях среды должна быть выше, чем в стабильных условиях существования. Ранее нами на метаболических показателях хвои сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) в условиях влияния фактора загрязнения было показано, что вариабельность (CV, %) концентраций основных веществ хвои (азотных, фосфорных, углеводных веществ и фотосинтетических пигментов) превышала уровни индивидуальной изменчивости признака (15%), принятый для сосны обыкновенной, и составляла 30–60% [8]. Относительно показателей прорастания семян – инициального процесса роста и развития галофитов на ли-

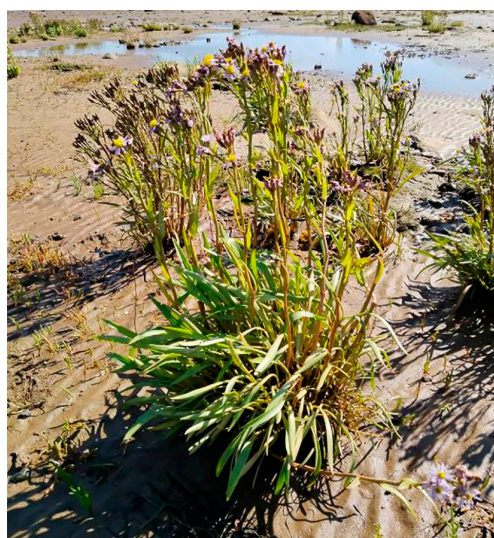
торали – данных очень мало. Таким образом, оценка всхожести семян доминантных видов литорали актуальна в связи с изучением механизмов адаптации онтогенеза галофитов в постоянно меняющихся условиях обитания. Цель исследования – изучить влияние солености на прорастание и пластичность морфометрических показателей, степени всхожести семян растений-галофитов литорали Белого моря.

Материалы и методы исследования

Работа выполнена в мае – июне 2017 г. на семенах четырех доминантных видов растений приливно-отливной зоны Белого моря: *Plantago maritima* L., *Tripolium vulgare* Bess. ex Nees., *Triglochin maritima* L., *Glaux maritima* L. Семена для работы были собраны в августе – сентябре 2016 г. на растениях, произрастающих на литорали на Карельском побережье в районе с. Сухое Беломорского района Республики Карелия (рисунок). Семена хранились в холодильнике при температуре 5–7 °С.

Glaux maritima L. (млечник морской) – криногалофит, на побережье Белого моря обычен для маршевых сообществ западного побережья, на других территориях побережья встречается редко. С точки зрения распространения имеет разорванный ареал в умеренной зоне Северного полушария. Лимитирующим фактором для распространения является захламливание береговой зоны. *Triglochin maritima* L. (триостренник морской) – эвгалофит, плюризональный вид, имеет циркумполярный ареал, встречается повсеместно на побережье Белого моря в зоне заливания солеными водами. *Tripolium vulgare* Bess. ex Nees (астра солончаковая) – эвгалофит, бореальный евразийский вид, широко встречается на морских побережьях Голарктики. *Plantago maritima* L. (подорожник морской) – эвгалофит, гипоарктический евразийский вид, на побережье Белого моря встречается повсеместно в зоне периодического затопления соленой водой [9].

Экспериментальная работа была выполнена с использованием световой установки в камеральных условиях. Семена проращивались при естественной освещенности (около 6 клк) в условиях разного уровня солености: 0; 10; 24 ‰. Соленость 10 ‰ была взята как наиболее часто наблюдаемая соленость, а 24 ‰ – это максимальное значение солености на Белом море. Семена проращивались в чашках Петри (по 25 семян), повторность опытов (n = 5–7) в каждом варианте солености.

*Glaux maritima L.**Triglochin maritima L.**Plantago maritima L.**Tripolium vulgare Bess. ex Nees.*

Исследованные виды галофитов на литорали Белого моря (фото авторов)

Эксперимент длился 42 дня, с 2.06.2017 по 14.07.2017 г. Проросшими семенами считали такие, у которых корешки развились нормально, а один главный корешок имел длину не менее длины семени. Загнившие семена относили к непроросшим, и количество их учитывалось отдельно.

Определение пластичности морфологических показателей семян

Для определения пластичности массы семян рассчитывали коэффициент вариации CV, % как отношение стандартного отклонения σ к среднему μ . Он показывает степень изменчивости по отношению к среднему показателю выборки и может, как предлагается в работах [3, 4], использоваться для расчета пластичности.

Определение степени пластичности всхожести семян

Расчет степени (индекса) пластичности (%) по формуле

$$\text{ИП} = (M_{\max} - M_{\min}) / M_{\max} \times 100 (\%),$$

где M_{\max} – максимальное значение свойства в одном варианте условий

(соленость 0 ‰);

M_{\min} – минимальное значение свойства в другом варианте условий

(соленость 10 или 24 ‰) по [3].

Результаты измерения морфометрических показателей обработаны с помощью параметрического критерия Фишера ($p < 0,05$), данные при этом представлены в виде средних арифметических значений и их стандартных ошибок.

**Результаты исследования
и их обсуждение**

*Исходная характеристика
семенного материала*

Поскольку собранные семена формировались в сходных условиях местообитания растений-галофитов на литорали, это позволило исключить влияние макрофакторов среды на образование семян. Различия связаны только с местом исходного произрастания растений: растения млечника морского произрастают на супралиторали в зоне контакта море – суша, а все остальные растения – на средней литорали в условиях полного заливания во время прилива.

Измерение массы семян (табл. 1) показало, что исследуемые виды галофитов различаются по массе семени и диапазону варьирования. Анализ показал, что наиболее низкие значения массы имели семена млечника морского, более высокие значения, в 1,5–2 раза, имела масса семян у триостренника морского, подорожника морского, и наибольшую массу имели семена астры солончаковой. При сравнении показателя пластичности массы семян установлено, что наименее варьирующим оказалось прорастание семян триостренника и млечника, которые имеют среднее значение CV 19 и 16% соответственно, несколько выше этот показатель у подорожника – 22%, и наиболее пластичным оказался показатель массы семян у астры – 29%. Пластичность показывает роль факторов среды в формировании семени: чем она выше, тем больше масса семян зависит от условий обитания растений. Расчет среднего значения пластичности показал увеличение этого значения от минимального 16 ± 3 у млечника до 29 ± 4 у астры. Низкие значения пластичности у млечника связаны и с более низкими значениями массы семян. Промежуточные

положения занимают показатели семян триостренника и млечника, для которых получены более высокие по сравнению с млечником значения массы и более широкий диапазон пластичности. В итоге оказалось, что наибольшая масса семян и ее пластичность была получена у астры солончаковой, возможно формирование семян у которой более, чем у других видов, зависит от уровня напряженности факторов среды (химический состав морской воды и грунтов [10], местоположение на материнском растении, срок закладки, жизненное состояние материнского организма), которые могут участвовать в формировании семян.

Анализ процесса прорастания семян

Общий процент проросших семян в разных вариантах опыта варьировал и составил для млечника морского – от 0 до 4% в пресной воде; для триостренника морского – 8–32% с максимумом в пресной воде и минимумом в соленой; для астры солончаковой – от 4 до 72%; для подорожника морского – 36–64%. В среднем (для всех вариантов опыта) самый высокий процент прорастания семян был отмечен для астры – 72%. Для подорожника эти значения составили 64%; для триостренника – 32%; для млечника – 4%. При прорастании семян галофитов в контрольных условиях было установлено, что наиболее раннее появление первых проростков было отмечено у растений подорожника и астры. Семена этих видов взошли на третий день. Семена триостренника в среднем взошли на 7-й, млечника – на 11-й день. Проращивание семян в условиях солености 10 ‰ показало, что наиболее раннее появление первых проростков было отмечено у растений астры – на 5-й день. Для этого вида были отмечены наибольшие значения всхожести – 68%. В среднем процент всхожести составил 32%.

Таблица 1

Масса семян растений-галофитов литорали Белого моря

| Вид | Диапазон массы одного семени (мг) | Среднее значение массы одного семени (мг) | Диапазон уровня пластичности (CV, %) | Среднее значение уровня пластичности (CV, %) |
|----------------------------|-----------------------------------|---|--------------------------------------|--|
| <i>Glaux maritima</i> | 2,5–3,0 | 2,8±0,3 | 14–20 | 16±3 ^a |
| <i>Triglochin maritima</i> | 4,6–7,0 | 5,5±1,5 | 14–33 | 19±5 ^a |
| <i>Plantago maritima</i> | 6,1–7,0 | 6,6±2,0 | 11–33 | 22±2 ^{ab} |
| <i>Tripolium vulgare</i> | 8,4– 9,3 | 9,0±1,8 | 26–32 | 29±4 ^c |

Примечание: значения с разными буквенными индексами статистически значимо отличаются друг от друга согласно критерию Фишера ($p < 0,05$).

Таблица 2

Показатели прорастания семян растений-галофитов литорали Белого моря

| Вид | Соленость, ‰ | Кол-во суток, на которые проросли первые проростки, сут | Кол-во проростков в 1-й день их прорастания, шт. | Макс. кол-во проростков на 15 суток, шт. | Макс. кол-во проростков на 30 суток, шт. | Прорастание на 42 суток, % |
|----------------------------|--------------|---|--|--|--|----------------------------|
| <i>Glaux maritima</i> | 0 | 11 | 1 | 1 | 1 | 4 |
| | 10 | – | – | – | – | – |
| | 24 | – | – | – | – | – |
| <i>Triglochin maritima</i> | 0 | 7 | 3 | 7 | 8 | 32 |
| | 10 | 10 | 2 | 2 | 2 | 8 |
| | 24 | – | – | – | – | – |
| <i>Plantago maritima</i> | 0 | 3 | 8 | 14 | 15 | 64 |
| | 10 | 5 | 3 | 9 | 9 | 36 |
| | 24 | – | – | – | – | – |
| <i>Tripolium vulgare</i> | 0 | 3 | 6 | 18 | 18 | 72 |
| | 10 | 5 | 2 | 17 | 17 | 68 |
| | 24 | 10 | 1 | 1 | 1 | 4 |

Таблица 3

Индекс пластичности (ИП) прорастания семян растений-галофитов литорали Белого моря

| Вид | Соленость, ‰ | В 1-й день прорастания, % | На 15 сут-ки, % | На 30 сут-ки, % | На 42 сут-ки, % | Среднее значение ИП, % |
|----------------------------|--------------|---------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|------------------------|
| <i>Triglochin maritima</i> | 0–10 | 33 | 71 | 75 | 75 | 64 ^a |
| <i>Plantago maritima</i> | 0–10 | 63 | 36 | 40 | 44 | 45 ^b |
| <i>Tripolium vulgare</i> | 0–10 | 67 | 6 | 6 | 6 | 21 ^c |
| | 0–24 | 83 | 94 | 94 | 94 | 92 ^d |

Примечание: значения с разными буквенными индексами статистически значимо отличаются друг от друга согласно критерию Фишера ($p < 0,05$).

Все семена подорожника проросли на 5-й день и имели относительно высокие показатели всхожести – 36%. Самые первые проростки у триостренника были отмечены на 10-й день. Максимальная отмеченная всхожесть составила 8%. Однако стоит отметить, что в большом числе проб семена не проросли. Семена млечника оказались неспособными в условиях солености воды 10 ‰. Анализ прорастания семян галофитов при солености 24 ‰ позволил установить, что семена растений астры проросли на десятый день. Величина всхожести составила от 0 до 4%. Семена остальных рас-

тений оказались неспособными при солености воды 24 ‰ (табл. 2).

Анализ степени пластичности (ИП) всхожести семян при разной солености выявил, что наибольшая средняя степень пластичности 92% характерна для процесса прорастания семян астры, 64% – степень пластичности прорастания семян триостренника и 45% – подорожника. Так как семена млечника не проросли в условиях различной солености, то степень пластичности установить не удалось (табл. 3).

В работе установлено, что наиболее жизнеспособные семена были у астры со-

лончаковой, которые имели большую массу и высокую всхожесть. Семена этого вида, в отличие от других исследованных видов, проросли во всех вариантах солености воды, что может свидетельствовать о более высоком уровне солеустойчивости семян. Несмотря на плотность оболочки, семена астры легко набухают и быстро прорастают. Развитию семян астры способствует и свойство гетерофилии [11].

Близкие к астре солончаковой значения массы были получены на семенах подорожника морского. Особенностью этого вида является присутствие в оболочках семян слизистых клеток, которые разбухают от влаги, лопаются, и липкая слизь приклеивает семена к комочкам земли и всему, что движется по приливно-отливной зоне, и это помогает семенам подорожника распространяться. Семена подорожника более тяжелые по сравнению с семенами триостренника и млечника. Кроме того, подорожник растет куртинами и иногда очень большими, что обеспечивает воспроизведение семенного потомства вблизи материнского растения. Семена этого вида не проросли при высокой солености воды 24 ‰, что может быть связано с их низкой солеустойчивостью.

Семена триостренника морского в целом показали высокую всхожесть, но наибольшие значения отмечаются в варианте с пресной водой, хотя проростки были получены и при солености 10 ‰. Эти ограничения могут быть связаны с биологическими особенностями вида, который может обитать не только на приливно-отливной зоне, но и в разных пресных местообитаниях, например стоячих болотах [12]. Семена у триостренника среднего размера, и их очень много на одной куртине за счет большого числа репродуктивных побегов. Особенностью вида является длительное репродуктивное развитие в течение вегетации [9]. Часть семян не успевает сформироваться, что может сказаться и на количестве зрелых семян.

Самое низкое значение прорастания семян в условиях лаборатории наблюдалось у млечника морского. Вид имеет наиболее легкие семена, что часто связано со слабым развитием зародыша на материнском растении. Этот результат может быть связан и с его географическим ареалом, край которого и находится на побережье Белого моря. Это определило и его локальные местообитания – на краю супралиторали на стыке двух сред: суша – море, что делает его бо-

лее уязвимым к воздействию экстремальных факторов среды, в частности к высокой освещенности [13].

Анализ показателей пластичности позволил установить, что наибольшие ее значения характерны для вида астра солончаковая. Это может свидетельствовать о расширении нормы реакции и развития адаптивной фенотипической пластичности [2] и в целом о большем адаптивном потенциале астры солончаковой, по сравнению с другими видами галофитов.

Сопоставление данных, полученных в настоящей работе, с результатами исследования Н.С. Котелиной [14], выполненных также на литорали Белого моря в 1948 г. на видах галофитов (*Triglochin maritima* L., *Plantago maritima* L., *Aster tripolium* L. (название для 1948 г.), *Glaux maritima* L.) почти 70 лет спустя, показало различия. Так, в лабораторных опытах с растениями 1948 г. всхожесть семян астры составила только 7%, что значительно ниже, чем в нашем эксперименте (до 72%); всхожесть семян триостренника составила 15%, а в наших опытах – до 32%; всхожесть семян подорожника – 22%, а в наших опытах – до 64%. Однако Н.С. Котелина отмечает отсутствие прорастания в лабораторных условиях семян растений млечника, что получено и в нашей работе. Однако автору в полевых условиях в 1948 г. удалось найти 5 семенных всходов млечника морского на м², что подтверждает наличие семенного размножения у этого вида в природе. Также по данным Н.С. Котелиной потенциальный объем семенного материала, который был исследован автором на растениях-галофитах побережья Белого моря составил для триостренника морского 17420 семян/м², для подорожника морского – 3920 семян/м², солероса европейского (*Salicornia europaea* L.) – 3600 семян/м², астры солончаковой – 4000 семян/м², млечника морского – 1040 семян/м², а число всходов составило: для триостренника – 55 шт/м², для подорожника – 58 шт/м², астры – 30 шт/м² и млечника – 5 шт/м². По этим данным можно рассчитать процент всходов от общего потенциального объема имеющегося семенного материала на литорали. Для млечника морского он составил 0,5%, для астры солончаковой – 0,75%, для подорожника морского – 1,45% и для триостренника морского – 0,32%. Однако дальнейшее развитие этих семенных всходов подвергается влиянию негативных факторов: межвидовой конкуренции со стороны других

видов, уничтожению животными, действию приливов и отливов, штормов, влиянию холодных периодов вегетации, деградации растительных сообществ и грунтов литорали [15]. В итоге на приморских территориях продолжают существование единичные особи семенного возобновления галофитов. Поэтому, по сравнению с вегетативным, вклад семенного размножения в развитие растений галофитов литорали невелик.

Заключение

В работе исследованы масса, прорастание семян и пластичность этих показателей у *Plantago maritima* L., *Tripolium vulgare* Bess. ex Nees., *Triglochin maritima* L., *Glaux maritima* L. прибрежных территорий Белого моря в условиях солёности 0; 10; 24 ‰ в лабораторном эксперименте. Наиболее низкие значения массы имели семена *G. maritima* ($2,8 \pm 0,3$ г), более высокие значения установлены у массы семян *T. maritima* ($5,5 \pm 1,5$ г) и *P. maritima* ($6,6 \pm 2,0$ г), и наибольшую массу показали семена *T. vulgare* ($9,0 \pm 1,8$ г). Максимальная всхожесть также установлена для семян *T. vulgare* (68–72%). Семена *T. vulgare*, в отличие от других исследованных видов галофитов, проросли во всех вариантах солёности воды, что может свидетельствовать о более высоком уровне их солеустойчивости.

При сравнении уровня пластичности массы семян установлено, что наименее варьирует масса *T. maritima* и *G. maritima* (19 ± 5 и 16 ± 3 %), несколько выше этот показатель у *P. maritima* – 22 ± 2 %, и наиболее пластичной оказалась масса семян *T. vulgare* – 29 ± 4 %.

Анализ степени пластичности (ИП) всхожести семян при разной солёности выявил, что наибольшая средняя степень пластичности, 92 %, характерна для процесса прорастания семян астры, 64 % степень пластичности прорастания семян триостренника и 45 % – подорожника. Так как семена млечника не проросли в условиях различной солёности, то степень пластичности установить не удалось.

На основании собственных и литературных данных делается вывод о высоком адаптивном потенциале вида *T. vulgare* и незначительном вкладе семенного размножения,

по сравнению с вегетативным, в развитие растений-галофитов литорали Белого моря.

Список литературы

1. Мосеев Д.С., Сергиенко Л.А. Приморская растительность эстуариев рек на полуострове Канин // Растительность России. 2020. № 39. С. 47–74. DOI: 10.31111/vegus/2020.39.47.
2. Марков А.В., Иваницкий С.Б. Эволюционная роль фенотипической пластичности // Вестник Московского университета Сер. 16. Биология. 2016. № 4. С. 3–9.
3. Cornelissen J.H.C., Lavorel S., Garnier E., Diaz S. A handbook of protocols for standardized and easy measurement of plant functional traits worldwide // Australian Journal of Botany. 2003. Vol. 51. P. 335–380. DOI: 10.1071/BT02124.
4. Valladares F., Wright S.J., Lasso E., Kitajima K., Pearcy R.W. Plastic phenotypic response to light of 16 congeneric shrubs from a Panamanian rainforest // Ecology. 2000. Vol. 81. P. 1925–1936. DOI: 10.1890/0012-9658.
5. Теребова Е.Н., Павлова М.А. Галофит астра солончаковая (*Aster tripolium* L.) – гипераккумулятор Fe, Ni, Pb на литорали Белого моря (п. Рабочееостровск) // Успехи современного естествознания. 2021. № 11. С. 144–150. DOI: 10.17513/use.37726.
6. Воронкова Н.М., Буковская Е.В., Безделева Т.А., Бурдукова О.Л. Морфологические и биологические особенности растений в связи с адаптацией к условиям морских побережий // Экология. 2008. № 1. С. 3–9.
7. Terebova E.N., Markovskaya E.F., Pavlova M.A., Oreshnikova N.V. Cell wall functional activity and metal accumulation of halophytic plant species *Plantago maritima* and *Triglochin maritima* on the White Sea littoral zone (NW Russia) // Czech Polar Reports. 2020. Vol. 10, Is. 2. P. 169–188. DOI: 10.5817/CPR2020-2-14.
8. Теребова Е.Н., Галибина Н.А., Сазонова Т.А., Таланова Т.Ю. Индивидуальная изменчивость метаболических показателей ассимиляционного аппарата сосны обыкновенной в условиях промышленного загрязнения // Лесоведение. 2003. № 1. С. 72–77.
9. Сергиенко Л.А. Флора и растительность побережий Российской Арктики и сопредельных территорий. Петрозаводск: Изд-во ПетрГУ, 2008. 225 с.
10. Terebova E.N., Pavlova M.A., Oreshnikova M.V. Iron Accumulation of Halophytes in the Littoral Zone of the White Sea // Biology Bulletin. 2023. Vol. 50, Is. 4. P. 684–695. DOI: 10.1134/S1062359023700243.
11. Марковская Е.Ф., Сергиенко Л.А., Шкляревич Г.А., Сони́на А.В., Стародубцева А.А., Смолькова О.В. Природный комплекс побережья Белого моря. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2010. 83 с.
12. Раменская М.Л., Андреева В.Н. Определитель высших растений Мурманской области и Карелии. Л.: Наука, 1982. 432 с.
13. Заславская Н.В. Флора и растительность засоленных приморских экотопов Западного побережья Белого моря: дис. ... канд. биол. наук. Петрозаводск: ПетрГУ, 2007. 193 с.
14. Котелина Н.С. О семенном и вегетативном размножении некоторых галофитов побережья Белого моря: сборник научных работ студентов Карело-Финск. гос. унив. № 1. Петрозаводск, 1949. 78 с.
15. Акимов В.А., Дурнев Р.А., Соколов Ю.И. Опасные гидрометеорологические явления на территории России. 2009. 316 с.