

**Двухлетний импакт-фактор РИНЦ – 0,653**

**Пятилетний импакт-фактор РИНЦ – 0,322**

**Журнал издается с 2001 г.**

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

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

**Подписной индекс по каталогу «Роспечать» – 70878**

**ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР**

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

**ЗАМ. ГЛАВНОГО РЕДАКТОРА**

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

*Чернева Ирина Николаевна, к.с.-х.н.*

*Ответственный секретарь редакции*

*Бизенкова Мария Николаевна, к.м.н.*

**РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ**

д.с.-х.н., доцент Абдулвалеев Р.Р. (Уфа); д.г.-м.н., проф., Абилхасимов Х.Б. (Астатна); д.т.н., проф. Айдовосов А. (Алматы); д.с.-х.н., проф. Алабушев А.В. (Зерноград); 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.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. Ивашкевич А.Н. (Москва); д.б.н., доцент Кавцевич 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. Косякова 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. (Мценск); 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. Сакиев 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. (Нерюнгри); 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. Ширапов Д.Ш. (Улан-Удэ); д.т.н., проф. Шишелова Т.И. (Иркутск); д.ф.-м.н., проф. Шугунов Л.Ж. (Нальчик); д.г.-м.н., проф. Юргенсон Г.А. (Чита); д.г.н., проф. Яковенко Н.В. (Воронеж); д.т.н., проф. Ямалетдинова К.Ш. (Челябинск)

---

Журнал «УСПЕХИ СОВРЕМЕННОГО ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ» зарегистрирован  
Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий  
и массовых коммуникаций.

Свидетельство – **ПН № ФС 77-63398.**

Все публикации рецензируются. Доступ к электронной версии журнала бесплатен.

**Двухлетний импакт-фактор РИНЦ – 0,653**

**Пятилетний импакт-фактор РИНЦ – 0,322.**

**Журнал зарегистрирован в Centre International de l'ISSN. ISSN 1681-7494.**

**Журнал включен в Реферативный журнал и Базы данных ВИНТИ.**

Учредитель, издательство и редакция:  
ИД «Академия Естествознания»

Почтовый адрес: 105037, г. Москва, а/я 47

Ответственный секретарь редакции –  
Бизенкова Мария Николаевна –  
+7 (499) 705-72-30  
E-mail: [edition@rae.ru](mailto:edition@rae.ru)

Подписано в печать – 30.12.2018  
Дата выхода номера – 30.01.2019

Формат 60x90 1/8  
Типография  
ООО «Научно-издательский центр  
Академия Естествознания»,  
г. Саратов, ул. Мамонтовой, 5

Техническая редакция и верстка  
Байгузова Л.М.  
Корректор  
Галенкина Е.С.

Способ печати – оперативный.  
Распространение по свободной цене.  
Усл. п.л. 21  
Тираж – 1000 экз. Заказ. УСЕ/12-2018  
Подписной индекс 70878

© ИД «Академия Естествознания»

---

## СОДЕРЖАНИЕ

**Химические науки (02.00.00)**

|                                                                                                                       |     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| ПРОГНОЗ ХИМИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ В СОКЕ ПОБЕГОВ <i>ARCTIUM LAPPA L.</i><br>МЕТОДОМ ИК ФУРЬЕ СПЕКТРОСКОПИИ                |     |
| <i>Беседин С.Н.</i>                                                                                                   | 249 |
| ФАЗОВЫЕ РАВНОВЕСИЯ В СТАБИЛЬНОМ ТЕТРАЭДРЕ $\text{CaMOO}_4\text{-Li}_2\text{MOO}_4\text{-Li}_2\text{SO}_4\text{-LiCl}$ |     |
| <i>Дибиров Я.А.</i>                                                                                                   | 254 |
| ЭФФЕКТИВНЫЕ МЕТОДЫ СИНТЕЗА ФУНКЦИОНАЛИЗИРОВАННЫХ<br>ГИДРОКСИБУТИЛТЕЛЛАНОВ                                             |     |
| <i>Мусалова М.В., Иванова Л.А., Мусалов М.В., Шкурченко И.В.</i>                                                      | 261 |

**Сельскохозяйственные науки (06.01.00, 06.03.00)**

|                                                                                                                                |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| ИЗМЕНЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПЛОДОРОДИЯ ЛУГОВО-ЧЕРНОЗЕМНОЙ ПОЧВЫ<br>ОМСКОГО ПРИИРТЫШЬЯ В УСЛОВИЯХ ПРИМЕНЕНИЯ СВИНОГО НАВОЗА           |     |
| <i>Азаренко Ю.А., Алексеева Ж.Л.</i>                                                                                           | 266 |
| ОПЫТ ТЕСТИРОВАНИЯ СТАБИЛЬНОСТИ РАЗВИТИЯ ПШЕНИЦЫ<br>В АГРОЦЕНОЗАХ ВЛАДИМИРСКОГО ОПОЛЬЯ                                          |     |
| <i>Баранов С.Г., Бирик Т.С., Винокуров И.Ю.</i>                                                                                | 272 |
| ВЛИЯНИЕ СПОСОБОВ ОБРАБОТКИ ПОЧВЫ НА ЧИСЛЕННОСТЬ<br>ВРЕДИТЕЛЕЙ ПШЕНИЦЫ И ИХ ЭНТОМОФАГОВ                                         |     |
| <i>Глазунова Н.Н., Безгина Ю.А., Пащикова Е.В., Волосова Е.В., Шипуля А.Н.</i>                                                 | 277 |
| КОМБИНАЦИОННАЯ СПОСОБНОСТЬ СОРТООБРАЗЦОВ СУДАНСКОЙ ТРАВЫ<br>В НИЖНЕМ ПОВОЛЖЬЕ                                                  |     |
| <i>Куколева С.С., Жужужкин В.И., Кибальник О.П., Семин Д.С., Старчак В.И.</i>                                                  | 283 |
| ОСНОВНЫЕ ИТОГИ СЕЛЕКЦИИ РОБИНИИ ЛЖЕАКАЦИИ В НИЖНЕМ ПОВОЛЖЬЕ                                                                    |     |
| <i>Морозова Е.В., Иозус А.П., Крючков С.Н.</i>                                                                                 | 290 |
| РОСТ И РАЗВИТИЕ ПОДРОСТА КЕДРА ( <i>PINUS SIBIRICA DU TOUR</i> ) ПОД ПОЛОГОМ ЛЕСА<br>И НА ВЫРУБКАХ ЮГО-ЗАПАДНОЙ ЯКУТИИ         |     |
| <i>Никитина Н.В., Михайлова Л.М.</i>                                                                                           | 296 |
| НЕКОТОРЫЕ ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИЗВЕСТКОВАНИЯ<br>СЕРЫХ ЛЕСНЫХ ПОЧВ ВЕРХНЕВОЛЖЬЯ                                         |     |
| <i>Окорков В.В., Окоркова Л.А.</i>                                                                                             | 302 |
| ВЛИЯНИЕ РАЗЛИЧНЫХ УСЛОВИЙ ВЫРАЩИВАНИЯ НА ФОРМИРОВАНИЕ<br>АССИМИЛЯЦИОННОЙ ПОВЕРХНОСТИ КУКУРУЗЫ                                  |     |
| <i>Сидельникова Н.А., Смирнова В.В.</i>                                                                                        | 310 |
| ПРИМЕНЕНИЕ КОМПЛЕКСОНАТОВ В ТЕХНОЛОГИИ ВОЗДЕЛЫВАНИЯ<br>ЛЬНА-ДОЛГУНЦА В УСЛОВИЯХ ВЕРХНЕВОЛЖЬЯ                                   |     |
| <i>Скворцов С.С., Васильев А.С., Яковлева С.В., Лесных П.А., Чумакова Е.Н.</i>                                                 | 315 |
| ЭФФЕКТИВНОСТЬ КОНТРОЛЯ БОЛЕЗНЕЙ ЛИСТЬЕВ ЯРОВОЙ МЯГКОЙ ПШЕНИЦЫ<br>СУПРАМОЛЕКУЛЯРНЫМ КОМПЛЕКСОМ ТЕБУКОНАЗОЛА С АРАБИНОГАЛАКТАНОМ |     |
| <i>Теплякова О.И., Кулагин О.В., Метелева Е.С., Душкин А.В., Власенко Н.Г.</i>                                                 | 321 |

**Науки о Земле (25.00.00)**

|                                                                                                                                           |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| ЧИСЛЕННО-АНАЛИТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ УГЛОВЫХ<br>И ЧАСТОТНЫХ ФЛУКТУАЦИЙ ДЕКАМЕТРОВОГО РАДИОСИГНАЛА<br>ПРИ НАКЛОННОМ ЗОНДИРОВАНИИ ИОНОСФЕРЫ |     |
| <i>Агеева Е.Т., Афанасьев Н.Т., Ким Д.Б., Чудаев С.О.</i>                                                                                 | 327 |

К ВОПРОСУ АНАЛИЗА ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКОГО И ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ И ОЦЕНКИ ПРИРОДНЫХ И АНТРОПОГЕННЫХ РИСКОВ СНИЖЕНИЯ УСТОЙЧИВОСТИ БЕРЕГОВЫХ СИСТЕМ ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ ЧЕРНОГО МОРЯ

*Аракелов М.С., Ахсалба А.К., Гогоберидзе Г.Г., Долгова-Шхалахова А.В., Жибя Р.Ю., Яйли Е.А.* ..... 333

МИГРАЦИИ НАСЕЛЕНИЯ НИЖЕГОРОДСКОЙ ОБЛАСТИ

*Аракчеева О.В., Кривдина И.Ю.* ..... 339

ФИТОРЕМЕДИАЦИЯ ТОКСИЧЕСКИХ ПОЧВ

*Бекузарова С.А., Ханиева И.М., Азубеков Л.Х.* ..... 345

ТЕМПЕРАТУРНЫЙ РЕЖИМ ВОДЫ В ДРАЖНОМ РАЗРЕЗЕ ПРИ РАЗРАБОТКЕ МЕРЗЛЫХ ГРУНТОВ

*Кисляков В.Е., Нафиков Р.З., Вокин В.Н., Веретёнова Т.А., Бахтигузин А.А.* ..... 353

ТЕОРИЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЛИНЕАРИЗОВАННЫХ МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОРОД И ГРУНТОВ ПО ИХ ОБЪЕМНОМУ СОСТАВУ

*Кравчук А.С., Смалюк А.Ф., Славащев С.И., Мисников В.А.* ..... 358

ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ ВОДОСБОРНОГО БАСЕЙНА РЕКИ ИШИМ НА ТЕРРИТОРИИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН В УСЛОВИЯХ ВЕСЕННЕГО ПОЛОВОДЬЯ ЗА ПЕРИОД 2002–2017 ГГ.

*Мезенцева О.В., Ломакина С.С.* ..... 368

О РЕЗУЛЬТАТАХ ХИМИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА СНЕЖНОГО ПОКРОВА ХАБАРОВСКА

*Новороцкая А.Г.* ..... 374

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЗМА РАЗРУШЕНИЯ МЕРЗЛЫХ ГЛИНИСТЫХ ПОРОД В ВОДНОЙ СРЕДЕ

*Рочев В.Ф., Мельников А.Е.* ..... 380

УТИЛИЗАЦИЯ ТВЕРДЫХ БЫТОВЫХ ОТХОДОВ И ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ (НА ПРИМЕРЕ КАБАРДИНО-БАЛКАРСКОЙ РЕСПУБЛИКИ)

*Татаренко Н.В., Папштова Л.Р., Емужева Л.З., Дахова О.О.* ..... 385

АЛГОРИТМ МОРФОЛОГИЧЕСКОГО АНАЛИЗА И ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОРЯДКОВ ВОДОТОКОВ НА ОСНОВЕ ЦИФРОВОЙ МОДЕЛИ РЕЛЬЕФА ДЛЯ РАЗРАБОТКИ ОТКРЫТЫХ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ

*Шевырёв С.Л.* ..... 390

## Научный обзор

## Сельскохозяйственные науки

НЕКОТОРЫЕ ЭКОЛОГО-БИОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ RADUS MAXIMOWICZII (RUPR.) SOKOLOV И ПЕРСПЕКТИВЫ ЕЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В ИНТРОДУКЦИИ И ЗЕЛЕНОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ

*Полещук А.В.* ..... 396

ЭФФЕКТИВНЫЕ ОРУДИЯ И МЕХАНИЗИРОВАННЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ УСТРОЙСТВА, ПРИМЕНЯЕМЫЕ ПРИ ПРОФИЛАКТИКЕ И ТУШЕНИИ ЛЕСНЫХ ПОЖАРОВ

*Шанин И.И., Лысыч М.Н.* ..... 403



## CONTENTS

### Chemical sciences (02.00.00)

|                                                                                                                             |     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| THE PROGNOSIS OF CHEMICAL COMPOUNDS IN THE JUICE OF THE SHOOTS<br>ARCTIUM LAPPA L. BY THE METHOD OF IR FOURIER SPECTROSCOPY |     |
| <i>Besedin S.N.</i>                                                                                                         | 249 |
| PHASE BALANCES IN THE STABLE TETRAHEDRON $\text{CaMOO}_4\text{-Li}_2\text{MOO}_4\text{-Li}_2\text{SO}_4\text{-LiCl}$        |     |
| <i>Dibirov Ya.A.</i>                                                                                                        | 254 |
| EFFICIENT METHODS OF SYNTHESIS OF FUNCTIONALIZED HYDROXYBUTYLTELLANES                                                       |     |
| <i>Musalova M.V., Ivanova L.A., Musalov M.V., Shkurchenko I.V.</i>                                                          | 261 |

### Agricultural sciences (06.01.00, 06.03.00)

|                                                                                                                                                              |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| CHANGES IN FERTILITY INDICATORS OF MEADOW CHERNOZEMIC SOILS<br>OF OMSK IRTYSH REGION IN CONDITIONS OF PIG MANURE APPLICATION                                 |     |
| <i>Azarenko Yu.A., Alekseeva Zh.L.</i>                                                                                                                       | 266 |
| WHEAT TESTING DEVELOPMENTAL STABILITY MEASUREMENT TEST<br>IN AGROCENOSIS OF VLADIMIR HIGH PLAIN                                                              |     |
| <i>Baranov S.G., Bibik T.S., Vinokurov I.Yu.</i>                                                                                                             | 272 |
| EFFECT OF SOIL PROCESSING METHODS ON THE NUMBER OF WHEAT PESTS<br>AND THEIR ENTOMOPHAGES                                                                     |     |
| <i>Glazunova N.N., Bezgina Yu.A., Pashkova E.V., Volosova E.V., Shipulya A.N.</i>                                                                            | 277 |
| COMBINATION ABILITY OF SUDAN GRASS SPECIES IN THE LOWER VOLGA REGION                                                                                         |     |
| <i>Kukoleva S.S., Zhuzhukin V.I., Kibalnik O.P., Semin D.S., Starchak V.I.</i>                                                                               | 283 |
| MAIN RESULTS OF ROBINIA PSEUDOACACIA BREEDING<br>IN THE LOWER VOLGA REGION                                                                                   |     |
| <i>Morozova E.V., Iozus A.P., Kryuchkov S.N.</i>                                                                                                             | 290 |
| GROWTH AND DEVELOPMENT OF THE CEDAR (PINUS SIBIRICA DU TOUR)<br>ADOLESCENT UNDER THE FOREST PROTECTION AND ON THE CUT-OVER AREAS<br>OF SOUTH-WESTERN YAKUTIA |     |
| <i>Nikitina N.V., Mikhaylova L.M.</i>                                                                                                                        | 296 |
| CERTAIN WAYS TO IMPROVE THE EFFICIENCY OF LIMING GRAY FOREST SOILS<br>OF THE UPPER VOLGA                                                                     |     |
| <i>Okorkov V.V., Okorkova L.A.</i>                                                                                                                           | 302 |
| FORMATION OF BIOMETRIC INDICATORS OF MAIZE HYBRIDS<br>IN DIFFERENT GROWING CONDITIONS                                                                        |     |
| <i>Sidelnikova N.A., Smirnova V.V.</i>                                                                                                                       | 310 |
| USE OF COMPLEXONATES IN TECHNOLOGY OF FLAX CULTIVATION<br>IN CONDITIONS OF THE UPPER VOLGA REGION                                                            |     |
| <i>Skvortsov S.S., Vasilev A.S., Yakovleva S.V., Lesnykh P.A., Chumakova E.N.</i>                                                                            | 315 |
| EFFICIENCY OF SPRING SOFT WHEAT LEAF DISEASES CONTROL<br>BY SUPRAMOLECULAR COMPLEX OF TEBUCONAZOLE WITH ARABINOGALAKTAN                                      |     |
| <i>Teplyakova O.I., Kulagin O.V., Meteleva E.S., Dushkin A.V., Vlasenko N.G.</i>                                                                             | 321 |

### Earth sciences (25.00.00)

|                                                                                                                                          |     |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| NUMERICAL-ANALYTICAL MODELING OF ANGULAR AND FREQUENCY<br>FLUCTUATIONS OF DECAMETER RADIO SIGNAL UNDER OBLIQUE<br>SOUNDING OF IONOSPHERE |     |
| <i>Ageeva E.T., Afanasev N.T., Kim D.B., Chudaev S.O.</i>                                                                                | 327 |

|                                                                                                                                                                                            |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| ON THE ANALYSIS OF GEOMORPHOLOGICAL AND GEO-ECOLOGICAL<br>CONDITION AND NATURAL AND ANTHROPOGENIC RISKS REDUCING<br>THE RESILIENCE OF COASTAL SYSTEMS OF THE EASTERN PART OF THE BLACK SEA |     |
| <i>Arakelov M.S., Akhsalba A.K., Gogoberidze G.G.,<br/>Dolgova-Shkhalakhova A.V., Zhiba R.Yu., Yayli E.A.</i>                                                                              | 333 |
| MIGRATION OF THE POPULATION OF NIZHNY NOVGOROD REGION                                                                                                                                      |     |
| <i>Arakcheeva O.V., Krivdina I.Yu.</i>                                                                                                                                                     | 339 |
| PHYTOREMEDIATION OF TOXIC SOILS                                                                                                                                                            |     |
| <i>Bekuzarova S.A., Khanieva I.M., Azubekov L.Kh.</i>                                                                                                                                      | 345 |
| TEMPERATURE WATER MODE IN THE DREDGE SECTION<br>IN THE DEVELOPMENT OF FROZEN GROUNDS                                                                                                       |     |
| <i>Kislyakov V.E., Nafikov R.Z., Vokin V.N., Veretenova T.A., Bakhtiguzin A.A.</i>                                                                                                         | 353 |
| THEORY OF DETERMINATION OF LINEARIZED MECHANICAL CHARACTERISTICS<br>OF ROCKS AND SOILS BY THEIR VOLUME COMPOSITION                                                                         |     |
| <i>Kravchuk A.S., Smaluk A.F., Slavashevich S.I., Misnikov V.A.</i>                                                                                                                        | 358 |
| GEOECOLOGICAL MONITORING OF THE CATCHMENT BASIN<br>OF THE ISHIM RIVER IN THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN<br>DURING THE SPRING FLOOD FOR THE PERIOD OF 2002–2017                                 |     |
| <i>Mezentseva O.V., Lomakina S.S.</i>                                                                                                                                                      | 368 |
| ON THE RESULTS OF CHEMICAL MONITORING OF SNOW COVER OF Khabarovsk                                                                                                                          |     |
| <i>Novorotskaya A.G.</i>                                                                                                                                                                   | 374 |
| INVESTIGATION OF THE MECHANISM OF DESTRUCTION OF THE FROZEN<br>CLAY ROCKS IN THE AQUATIC ENVIRONMENT                                                                                       |     |
| <i>Rochev V.F., Melnikov A.E.</i>                                                                                                                                                          | 380 |
| THE DISPOSAL OF SOLID WASTE AND ENVIRONMENTAL PROBLEMS IMPACT<br>ON THE ENVIRONMENT (THE EXAMPLE OF KABARDINO-BALKARIAN REPUBLIC)                                                          |     |
| <i>Tatarenko N.V., Pashtova L.R., Emuzova L.Z., Dakhova O.O.</i>                                                                                                                           | 385 |
| ALGORITHM OF MORPHOLOGICAL ANALYSIS AND IDENTIFICATION<br>OF STREAM ORDER IN DIGITAL ELEVATION MODEL<br>FOR DEVELOPMENT OF OPEN-SOURCE GEOINFORMATIC SYSTEMS                               |     |
| <i>Shevyrev S.L.</i>                                                                                                                                                                       | 390 |

### Scientific review

### Agricultural sciences

|                                                                                                                                                         |     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| SOME ENVIRONMENTAL AND BIOLOGICAL FEATURES<br>OF PADUS MAXIMOWICZII (RUPR.) SOKOLOV AND PROSPECTS<br>FOR ITS USE IN INTRODUCTION AND GREEN CONSTRUCTION |     |
| <i>Poleshchuk A.V.</i>                                                                                                                                  | 396 |
| THE EFFECTIVE TOOLS AND MECHANIZED TECHNICAL DEVICES USED<br>AT PREVENTION AND SUPPRESSION OF WILDFIRES                                                 |     |
| <i>Shanin I.I., Lysych M.N.</i>                                                                                                                         | 403 |

УДК 543.6:615:577.1

# ПРОГНОЗ ХИМИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ В СОКЕ ПОБЕГОВ ARCTIUM LAPPA L. МЕТОДОМ ИК ФУРЬЕ СПЕКТРОСКОПИИ

Беседин С.Н.

ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный социально-педагогический университет»  
Министерства науки и образования России, Волгоград, e-mail: sergei\_forsag@mail.ru

Химический состав сока молодых побегов лопуха, который богат биологически активными веществами (БАВ), не изучен и представляет научный интерес, требующий дополнительных исследований. Растения этого семейства (*Compositae*) обладают противоопухолевой активностью и представляют ресурс разнообразных полисахаридов, аминокислот, флавоноидов и может служить перспективным сырьем для применения в различных отраслях медицинской промышленности. Проведен анализ взаимосвязи химических соединений в соке молодых побегов лопуха и вещества, выделенного из водного экстракта его корней. Анализ ИК-спектра сока побегов лопуха и его сравнение со спектром вещества, ранее выделенного из экстракта корней лопуха, показал на наличие полос поглощения характерных для вещества β-аспарагин. Выявленные отличия в спектрах можно рассматривать как изменение химического состава вещества. Прогнозирование его количества в образцах на этапе исследования проводилось по содержанию основных групп Амид I (C=O)st с учетом коэффициента экстинкции на частоте максимального поглощения группы. Дополнительные отличия можно отнести к обнаружению полос поглощения фосфорной кислоты в фосфолипидах P=Ost и наложении деформационно-скелетных и скелетных колебаний групп δγCH<sub>2</sub> и γ(NH<sub>2</sub>). Для уточнения возможных химических изменений целесообразно провести исследование чистого вещества, выделенного из водного экстракта молодых побегов лопуха, и его изучение методами физико-химического анализа, включая метод ЯМР.

**Ключевые слова:** инфракрасный спектр (ИК), биологически активные вещества (БАВ), молодые побеги лопуха, β-аспарагин, фосфолипиды

## THE PROGNOSIS OF CHEMICAL COMPOUNDS IN THE JUICE OF THE SHOOTS ARCTIUM LAPPA L. BY THE METHOD OF IR FOURIER SPECTROSCOPE

Besedin S.N.

Volgograd State Socio-Pedagogical University of the Ministry of Science and Education of Russia,  
Volgograd, e-mail: sergei\_forsag@mail.ru

The chemical composition of young burdock shoots juice, which is rich in biologically active substances (BAS), has not been studied and is of scientific interest requiring additional research. Plants of this family (*Compositae*) possess antitumor activity and represent a resource of various polysaccharides, amino acids, flavonoids, and can serve as a promising raw material for use in various branches of the medical industry. The analysis of the relationship of chemical compounds in the juice of young shoots of burdock and the substance extracted from the aqueous extract of its roots. Analysis of the infrared spectrum of burdock juice sap and its comparison with the spectrum of the substance of burdock previously isolated from the root extract showed the presence of absorption bands characteristic of the substance β – asparagine. The revealed differences in the spectra can be considered as a change in the chemical composition of the substance. Prediction of its quantity in the samples at the research stage was carried out on the content of the main Amide I (C = O) st groups, taking into account the extinction coefficient at the frequency of the maximum absorption of the group. Additional differences can be attributed to the detection of phosphoric acid absorption bands in the P = Ost phospholipids and the imposition of deformation-skeletal and skeletal vibrations of the δγCH<sub>2</sub> and groups γ(NH<sub>2</sub>) from an aqueous extract of young burdock shoots and its study by the methods of physicochemical analysis, including the NMR method.

**Keywords:** infrared spectrum (IR), biologically active substances (BAS), young shoots of burdock, β-asparagine, phospholipids

В настоящее время в терапии многих заболеваний активно применяются препараты на основе биологически активных веществ (БАВ) лекарственного происхождения. При этом актуальность применения БАВ в медицинской практике с каждым годом возрастает. Лекарственные средства растительного происхождения на основе корней лопуха находят широкое применение в онкологической практике [1]. Химический состав сока молодых побегов лопуха, который богат БАВ, не изучен и представляет научный интерес, требующий дополнительных

исследований. Растения этого семейства (*Compositae*) обладают противоопухолевой активностью и представляют ресурс разнообразных полисахаридов, аминокислот, флавоноидов и других веществ и могут служить перспективным сырьем для применения в различных отраслях медицинской промышленности. В связи с этим представляет интерес идентификация веществ, входящих в сок молодых побегов лопуха, и их сравнения с химическим веществом, выделенным ранее из водного экстракта корней лопуха [1].

Цель исследования: изучение и прогноз химических соединений сока молодых побегов лопуха и сравнительный анализ с веществом  $\beta$ -аспарагин, выделенного из корней лопуха, методом ИКФурье-спектроскопии.

#### Материалы и методы исследования

Объект исследования – молодые побеги лопуха *Arctium Lappa* L. (*Lappa major* Gaertn.) семейства сложноцветных. Исследуемый вид встречается в регионе Нижнего Поволжья среди кустарников по всей степной и лесостепной зоне. Сбор растений для анализа производился в мае в период активного формирования стеблей до начала цветения. Учитывая недостаточную изученность химических элементов, входящих в его состав, который богат биологически активными веществами, а также сложный и многокомпонентный состав органических соединений, входящих в сырье, исследование проводилось в расширенном диапазоне инфракрасного спектра от 400 до 4000  $\text{см}^{-1}$ .

Для решения этой задачи в качестве инструментария исследования использовался Фурье ИК-спектрофотометр PerkinElmer, гидравлический пресс для таблетирования образцов. Количество исследуемого образца в таблетке КВг составляло  $\sim 0,0008$  г. В целях повышения достоверности исследований при подготовке образцов к таблетированию применялась сублимационная сушка экстрактов в чашках Петри в течение 3 суток с предварительной заморозкой до 80 град. Цельсия на установке FDU – 2100.

#### Результаты исследования и их обсуждение

На рис. 1 представлены ИК-спектры образцов сока молодых побегов *Arctium Lappa* L. ИК-спектральный анализ показал, что исследуемые образцы 1 и 2 имеют полосы поглощения, которые характеризуют химический состав растения: углеводы, белки, жиры [2].

Сравнение ИК-спектров образцов, очищенных центрифугой и без нее, показывает на относительную идентичность полос поглощения на всех характерных частотах, что говорит о незначительном влиянии дисперсных фракций, выделенных из сока молодых побегов лопуха, на спектральную картину поглощения и не окажет существенного влияния на качество идентификации химических соединений, входящих в состав исследуемых образцов. Однако наблюдаются отличия в оптической плотности образцов, о чем говорит разница в интенсивности поглощения на частотах менее  $\sim 1468$   $\text{см}^{-1}$ .

В этом случае разница интенсивности поглощения образцов достигает максимальных значений 5–7%. Отличия интенсивности поглощения в области больших частот (более  $\sim 1500$   $\text{см}^{-1}$ ) минимальны (составляют порядка 1–2 %) и относятся к области поглощения в которой проявляются валентные колебания ряда функциональных групп. В большую разницу в интенсивностях поглощения образцов на частотах менее  $\sim 1500$   $\text{см}^{-1}$  попадают области скелетно-деформационных колебаний ряда функциональных групп, которая, по всей вероятности, связана с вкладом дисперсных фракций таких органических веществ, как лигнин.

Так, например, валентные колебания групп на ОН и  $\text{CH}_2$  на частотах  $\sim 3400$  и  $\sim 2925$   $\text{см}^{-1}$  соответственно, показывают на наличие углеводов в растительном сырье [2, 3]. Для белков характерна полоса в области частот близкой к  $3300$   $\text{см}^{-1}$ , которая обусловлена колебанием группы NH и принимает участие в образовании водородной связи.

Картина дополняется полосами Амид I и Амид II в области частот  $1600$ – $1500$   $\text{см}^{-1}$ , которая связана с природой аминокислот. У большинства полипептидов и белков имеются полосы амид I и амид II которые поглощаются в области  $1650$  и  $1550$   $\text{см}^{-1}$ , но могут встречаться и отличия, которые могут вносить изменения в спектр с учетом образования водородных связей.

Таким исключением могут быть циклические пептиды, которые поглощаются на частотах близких к  $\sim 1610$  и  $\sim 1513$   $\text{см}^{-1}$ . А для полосы амид II на частотах  $\sim 1527$  и  $1550$   $\text{см}^{-1}$  [3]. Область  $1500$ – $1700$   $\text{см}^{-1}$  содержит ряд интенсивных полос, отнесенных к Амид I, Амид II, Амид III. О наличии пептидов говорят поглощения в полосах, характерных для Амид I и Амид II, которые подтверждаются валентными колебаниями связи  $\text{C}=\text{O}$  (Амид I) и плоскостными деформационными колебаниями связи NH (Амид II) [2].

Исследуя положение этих полос в спектре, можно получить сведения о молекулярной форме, с определенной степенью достоверности осуществить идентификацию молекулярного соединения, но необходимо учитывать что в твердой форме вещества на поглощение могут влиять и другие факторы (например, температура). Поэтому идентификация полосы Амид II у белков и пептидов носит затруднительный характер по причине наличия в этой области спектра полосы поглощения колебаниями ионизированной карбоксильной группы.

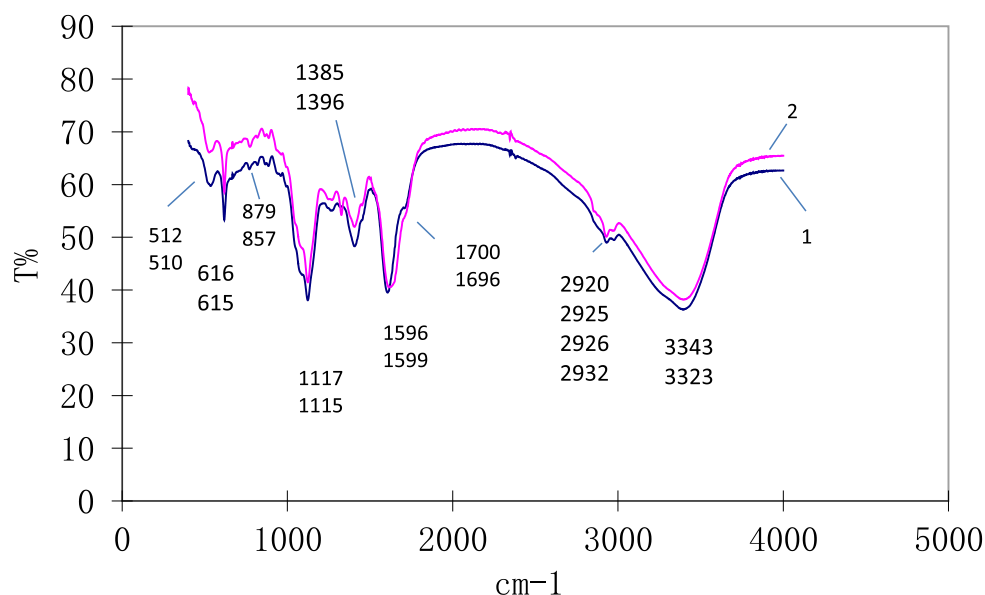


Рис. 1. ИК-спектр сока побегов лопуха  
(образец 1 – очищенный центрифугой; образец 2 – без центрифуги)

Сравнение отнесений полос поглощения исследуемых образцов с полосами поглощения вещества  $\beta$ -аспарагин (рис. 1, спектры 1, 2)

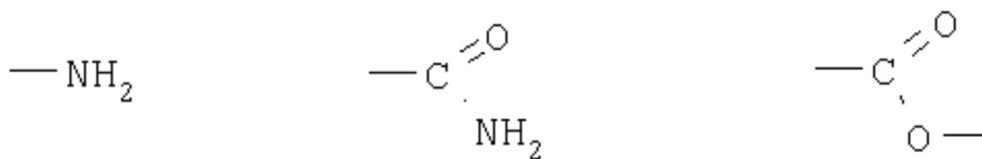
| Положение полосы, см <sup>-1</sup> |           |                        | Отнесения                                                                                                                       | Источник |
|------------------------------------|-----------|------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|
| Образец 1                          | Образец 2 | $\beta$ -аспарагин [1] |                                                                                                                                 |          |
| 3343                               | 3323      | 3382                   | (N-H)st                                                                                                                         | [1, 2]   |
| 2925                               | 2926      | –                      | (CH <sub>2</sub> )st                                                                                                            | [2]      |
| 2932                               | 2933      | –                      | (CH <sub>n</sub> –)st                                                                                                           | [2]      |
| 2926                               | 2920      | 3111                   | (NH)st                                                                                                                          | [1, 2]   |
| 1596                               | 1599      | 1682                   | Амид I (C=O)st                                                                                                                  | [1, 2]   |
| 1700                               | 1696      | 1644                   | Амид II (NH) $\delta$                                                                                                           | [1, 2]   |
| 1396                               | 1385      | 1429                   | Амид III (N-H) $\delta$                                                                                                         | [1, 2]   |
| 1117                               | 1115      | –                      | Валентные колебания P=Ost группы фосфорной кислоты в фосфолипидах R(RO)PO <sub>2</sub> – на частотах 1110–1050 см <sup>-1</sup> | [3]      |
| 879                                | 857       | –                      | Валентные колебания P=Ost в фосфолипидах в интервале 875–855 см <sup>-1</sup>                                                   | [3]      |
| 768                                | 711       | –                      | $\delta$ CH <sub>2</sub> деформационно-скелетные колебания группы                                                               | [3, 5]   |
| 616                                | 615       | 669                    | $\delta$ (N-H) группы NH <sub>2</sub> C=O                                                                                       | [1, 3]   |
| 512                                | 510       | –                      | скелетное колебания группы $\sim\gamma$ (NH <sub>2</sub> )                                                                      | [5]      |

Примечание: st – валентные колебания,  $\delta$  – деформационные колебания, stas – валентно-асимметричные колебания,  $\delta$  – деформационно-скелетные колебания, ip – плоскостные колебания,  $\gamma$  – скелетные колебания молекулы.

Кроме того надо учитывать, что у многих белков полоса амид II частично перекрывается полосой поглощения ионизированной карбоксильной группы. Поэтому идентификация частот поглощения в этой группе весьма проблематична. По этим по-

лосам поглощения можно судить о наличии белков, которым соответствуют полосы поглощения на частотах близких к  $\sim 1600$  см<sup>-1</sup> (1596, 1599) (Амид I);  $\sim 1700$  см<sup>-1</sup> (1700, 1696) (Амид II);  $\sim 1400$  см<sup>-1</sup> (1396, 1395) (Амид III) (таблица) [2; 9].



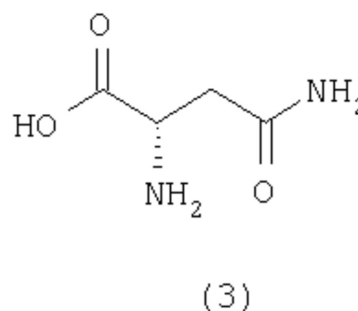
Рис. 2. Функциональные группы вещества  $\beta$ -аспарагина [1]

На частотах близких к  $\approx 1150 \text{ см}^{-1}$  проявляются валентные колебания  $\text{P}=\text{O}$ st фосфорной кислоты, входящей в состав фосфолипидов, также деформационно-плоскостные колебания амидной группы  $\text{NH}\delta\text{ip NH}_2\text{C}=\text{O}$  ( $1117$  и  $1115 \text{ см}^{-1}$ ) [3]. О присутствии небелковых молекул в виде фосфолипидов говорят поглощения на частотах, которые характерны для фосфорной кислоты в виде валентных колебаний на частотах  $\text{P}=\text{O}$ st ( $1110\text{--}1050 \text{ см}^{-1}$ ) и  $\text{P}-\text{O}$ st ( $879\text{--}835 \text{ см}^{-1}$ ) [3] на наличие липидной группы жирных кислот в образцах указывает поглощение группы  $\text{CH}_2-\text{}$  в полосе  $3010\text{--}2853 \text{ см}^{-1}$  на частоте  $2932 \text{ см}^{-1}$  [2].

Полосы поглощения в группах  $(\text{N}-\text{H})\text{st}$  и  $(\text{CH}_2-\text{})\text{st}$ , которые характерны амидам и липидам, близки и совпадают [3]. Поглощения на частотах  $616, 615 \text{ см}^{-1}$  относятся к группе  $\text{NH}_2\text{C}=\text{O}$  [3] и свойственны амидо-карбонильным соединениям, в виде дополнительных поглощений с деформационно-плоскостными колебаниями  $\text{NH}\delta\text{ip}$  в молекуле вещества. В ИК-спектре (рис. 2, 3) присутствуют полосы поглощения, которые подтверждают наличие следующих функциональных групп, которые характерны для вещества  $\beta$ -аспарагин.

Валентные колебания связи  $\text{N}-\text{H}$  в первичных аминах проявляются на частотах  $3343, 3323 \text{ см}^{-1}$ . Валентные колебания амидной группы  $\text{NH}$  наблюдаются на частотах  $2932$  и  $2920 \text{ см}^{-1}$ , а ее деформационные колебания на частотах  $1700$  и  $1696 \text{ см}^{-1}$  (полоса Амид II). Что характерно для первичных амидов, вторая область проявления этих колебаний находится в полосе меньших частот  $1396$  и  $1385 \text{ см}^{-1}$  (таблица, спектры 1 и 2). Валентные колебания карбонильной группы ( $\text{C}=\text{O}$ ) амидов обнаружены на частотах  $1596, 1599 \text{ см}^{-1}$  {полоса Амид I( $\text{C}=\text{O}$ )st}. Концентрацию карбонильных групп на этих частотах с учетом коэффициента экстинкции можно определить по методу, изложенному в монографии, которая в образцах 1 и 2 составила  $1,16 \cdot 10^{-3}$  и  $1,08 \cdot 10^{-3}$  моль/см соответственно [4, 5].

Такой подход позволит прогнозировать концентрацию вещества в образцах полученных как из корней лопуха, так и из его молодых побегов. Таким образом, область частот  $1500\text{--}1700 \text{ см}^{-1}$  содержит ряд интенсивных полос, которые можно отнести к полосам Амид I, II, III. Уширенная полоса на максимальных частотах поглощения  $616, 615 \text{ см}^{-1}$  соответствует деформационным колебаниям связи  $\text{N}-\text{H}$  в аминах.

Рис. 3. Химическое соединение  $\beta$ -аспарагин [1]

Сравнение полос поглощения в спектрах образцов 1 и 2 (рис. 1) со спектром вещества  $\beta$ -аспарагина выделенного из корней лопуха позволяет сделать предположение, что это химическое соединение с высокой достоверностью содержится в соке молодых побегов лопуха. Отличия в виде сдвигов максимумов поглощения на  $40\text{--}50 \text{ см}^{-1}$  в сторону меньших частот поглощения, а в области деформационных колебаний аминогруппы  $\text{NH}$  на  $185 \text{ см}$ , а также появление дополнительного поглощения в области деформационных колебаний на частоте  $\approx 527 \text{ см}^{-1}$ , могут быть связаны с наложением крутильных, плоскостных и скелетно-деформационных колебаний молекулы вещества [6]. Что может указывать на изменение химического состава вещества.

Скелетные колебания в области низких частот поглощения проявляются у вторичных амидов на частотах около  $\sim 600 \text{ см}^{-1}$ . Для белков и вторичных амидов характер-

ной является размытая полоса поглощения в виде внеплоскостных деформационных колебаний группы NH с максимумом около  $\sim 700 \text{ см}^{-1}$ .

### Выводы

С помощью метода ИК Фурье-спектроскопии впервые изучен состав сока молодых побегов лопуха, произрастающего в регионе Нижнего Поволжья, и удалось осуществить прогнозирование органических веществ, входящих в его состав. Анализ результатов показал, что химический состав вещества с высокой степенью достоверности по своему химическому составу совпадает с веществом  $\beta$ -аспарагин. Наблюдаемые отличия в полученных спектрах можно рассматривать как изменение химического состава вещества. Прогнозирование количества вещества в образцах на этапе исследования может проводиться по содержанию концентраций групп Амид  $\text{I}(\text{C}=\text{O})_{\text{st}}$  с учетом коэффициента экстинкции [5] на частоте максимального поглощения этой группы. Для уточнения возможных химических изменений целесообразно провести выделение вещества из водного экстракта молодых побегов лопуха и его дополнительного изучения методами физико-химического анализа, включая метод ЯМР. Появление новых полос, отличающихся и дополняющих спектральную картину вещества на частотах  $1117$ ,  $1115 \text{ см}^{-1}$  и  $879$ ,  $857 \text{ см}^{-1}$ , можно отнести к валентным колебаниям  $\text{P}=\text{O}_{\text{st}}$  группы фосфорной кислоты в фосфолипидах  $\text{R}(\text{RO})\text{PO}_2^-$  в интервалах  $1110\text{--}1050 \text{ см}^{-1}$  и  $875\text{--}855 \text{ см}^{-1}$ . Поглощения на частотах  $768$ ,  $711 \text{ см}^{-1}$  и  $512$ ,  $510 \text{ см}^{-1}$  свойственны  $\delta\gamma\text{CH}_2$  деформационно-скелетным и скелетным колебаниям групп  $\sim\gamma(\text{NH}_2)$ .

### Список литературы / References

1. Боев Р.С. Химическое исследование корней лопуха как источника биологически активных веществ противоопухолевого действия: автореф. дис. ... канд. фарм. наук. Институт Химии нефти Сибирского отделения Российской академии наук. Томск, 2006. 30 с.

Boev R.S. Chemical research of roots of a burdock as source of biologically active agents of antineoplastic action: avtoref. dis. ... kand. farm. nauk. Institut Khimii nefti Sibirskogo otdeleniya Rossijskoj akademii nauk. Tomsk, 2006. 30 p. (in Russian).

2. Ильяшенко Н.В., Оленева Ю.Г., Иванова А.И., Хижняк С.Д., Пахомов П.М. Влияние факторов окружающей среды на изменение химического состава в листовых пластинах биоиндикативных гидрофицированных растений после примера глубокого горновости // Современные проблемы науки и образования. 2012. № 2 [Электронный ресурс]. URL: <http://science-education.ru/ru/article/view?id=5714> (дата обращения: 11.12.2018).

Ilyashenko N.V., Oleneva Yu.G., Ivanova A.I., Khizhnyak S.D., Pakhomov P.M. Influence of factors of the environment on change of the chemical composition in sheet platel of bioindikativny gidrofitsirovanny plants after an example deep gornovost // Modern problems of science and education. 2012. № 2 [Electronic resource]. URL: <http://science-education.ru/ru/article/view?id=5714> (дата обращения: 11.12.2018) (in Russian).

3. Преч Э., Бюльманн Ф., Аффолтер К. Определение строения органических соединений. Таблицы спектральных данных / Пер. с англ. М.: Изд-во Мир, 2006. 439 с.

Prech E., Byulmann F., Affolter K. Definition of the structure of organic compounds. Tables of spectral data / Per. s angl. M.: Izd-vo Mir, 2006. 439 p. (in Russian).

4. Беседин С.Н. Прогноз молекулярных соединений и концентраций групп в растительном сырье верескового типа методом инфракрасной спектроскопии // Актуальные вопросы теории и практики биологического образования, материалы 11-й Всероссийской с международным участием научно-практической конференции посвященной году экологии в России, Волгоград, апрель 2017. М.: Планета, 2017. 544 с.

Besedin S.N. The forecast of molecular connections and concentration of groups in vegetable raw materials of heather type by method of infrared spectroscopy // Topical issues of the theory and practice of biological education, materials of the 11th the scientific and practical conference, All-Russian with the international participation, of the ecology devoted to year in Russia. Volgograd, aprel' 2017. M.: Planeta, 2017. 544 p. (in Russian).

5. Беседин С.Н. Молекулярная диагностика кризиса в энергонасыщенных помещениях. Основы, идентификация, подробный анализ, методы. Изд. LAP LAMBERT Academic Publishing. Saarbrücken, 2012. 292 с.

Besedin S.N. Molecular diagnostics of crisis in power saturated rooms. Bases, identification, detailed analysis, methods. Prod. LAP LAMBERT Academic Publishing. Saarbrücken, 2012. 292 p. (in Russian).

6. Справочник химика 21: Колебания молекул скелетные [Электронный ресурс]. URL: <http://chem21.info/info/100428> (дата обращения: 11.12.2018).

Reference book by the chemist 21: Skeletal molecular vibrations [Electronic resource]. URL: <http://chem21.info/info/100428> (date of access: 11.12.2018) (in Russian).



УДК 544.016.2:544.344

**ФАЗОВЫЕ РАВНОВЕСИЯ В СТАБИЛЬНОМ  
ТЕТРАЭДРЕ  $\text{CaMoO}_4\text{-Li}_2\text{MoO}_4\text{-Li}_2\text{SO}_4\text{-LiCl}$** **Дибиров Я.А.***Филиал ФГБУН «Объединенный институт высоких температур» РАН, Махачкала,  
e-mail: jakhya@yandex.ru*

Дифференциально-термическим методом физико-химического анализа исследован стабильный тетраэдр  $\text{CaMoO}_4\text{-Li}_2\text{MoO}_4\text{-Li}_2\text{SO}_4\text{-LiCl}$ , являющийся стабильным элементом четырехкомпонентной взаимной системы  $\text{Ca, Li // MoO}_4, \text{SO}_4, \text{Cl}$ . Основанием исследуемого тетраэдра является тройная система из литиевых солей –  $\text{Li // MoO}_4, \text{SO}_4, \text{Cl}$ , а вершиной – молибдат кальция. Боковые грани тетраэдра образованы следующими тройными системами: стабильным секущим треугольником  $\text{CaMoO}_4\text{-Li}_2\text{SO}_4\text{-LiCl}$  призмы составов четырехкомпонентной взаимной системы  $\text{Ca, Li // MoO}_4, \text{SO}_4, \text{Cl}$ , стабильным треугольником  $\text{CaMoO}_4\text{-Li}_2\text{MoO}_4\text{-LiCl}$  квадрата составов трехкомпонентной взаимной системы  $\text{Ca, Li // MoO}_4, \text{Cl}$  и стабильным треугольником  $\text{CaMoO}_4\text{-Li}_2\text{MoO}_4\text{-Li}_2\text{SO}_4$  квадрата составов трехкомпонентной взаимной системы  $\text{Ca, Li // MoO}_4, \text{SO}_4$ . Все двойные и тройные системы ограничения тетраэдра исследованы ранее и являются системами эвтектического типа. Планирование эксперимента для получения параметров четверной эвтектики проведено согласно общим правилам проекционно-термографического метода, для чего в объеме кристаллизации вершины тетраэдра выбрано двухмерное сечение, параллельное основанию  $\text{Li // MoO}_4, \text{SO}_4, \text{Cl}$ . Экспериментальным изучением политермического разреза на этом сечении выявлены направления на проекцию четверной эвтектики с двух вершин и получен ее состав. Состав и температура плавления четверной эвтектики исследуемого тетраэдра получены экспериментальным исследованием лучевого разреза, исходящего из вершины молибдата кальция и проходящего через проекцию четверной эвтектики на двухмерном сечении. Проведенными calorиметрическими исследованиями получены значения энтальпии и энтропии плавления четверного неинвариантного состава стабильного тетраэдра  $\text{CaMoO}_4\text{-Li}_2\text{MoO}_4\text{-Li}_2\text{SO}_4\text{-LiCl}$ .

**Ключевые слова:** стабильный тетраэдр, эвтектика, диаграмма состояния, энтальпия плавления, энтропия плавления

**PHASE BALANCES IN THE STABLE TETRAHEDRON  $\text{CaMoO}_4\text{-Li}_2\text{MoO}_4\text{-Li}_2\text{SO}_4\text{-LiCl}$** **Dibirov Ya.A.***Branch FGBUN Joint institute of high temperatures RAN, Makhachkala, e-mail: jakhya@yandex.ru*

The differential and thermal method of the physical and chemical analysis investigated the stable tetrahedron of  $\text{CaMoO}_4\text{-Li}_2\text{MoO}_4\text{-Li}_2\text{SO}_4\text{-LiCl}$  which is a stable element of the four-component mutual system  $\text{Ca, Li // MoO}_4, \text{SO}_4, \text{Cl}$ . The basis of the studied tetrahedron is the threefold system from lithium salts –  $\text{Li // MoO}_4, \text{SO}_4, \text{Cl}$ , and top – calcium molybdate. Side sides of a tetrahedron are formed by the following threefold systems: to stable secants triangle of  $\text{CaMoO}_4\text{-Li}_2\text{SO}_4\text{-LiCl}$  of a prism of structures of the four-component mutual system  $\text{Ca, Li // MoO}_4, \text{SO}_4, \text{Cl}$ , stable triangle of  $\text{CaMoO}_4\text{-Li}_2\text{MoO}_4\text{-LiCl}$  of a square of structures of the three-component mutual system  $\text{Ca, Li // MoO}_4, \text{Cl}$  and stable triangle of  $\text{CaMoO}_4\text{-Li}_2\text{MoO}_4\text{-Li}_2\text{SO}_4$  of a square of structures of the three-component mutual system  $\text{Ca, Li // MoO}_4, \text{SO}_4$ . All double and threefold systems of an sides of a tetrahedron are investigated earlier and are the systems of the eutectic type. Planning of an experiment for obtaining parameters of a fourfold eutectic is carried out according to the general rules of a projective thermographic method for what in volume of crystallization of top of a tetrahedron the two-dimensional section parallel the basis of  $\text{Li // MoO}_4, \text{SO}_4, \text{Cl}$  is chosen. Experimental studying of a polythermal section on this section revealed the directions on a projection of a fourfold eutectic from two tops and its structure is received. Structure and temperature of melting of a fourfold eutectic of the studied tetrahedron are received by a pilot study of the beam section which is proceeding from top of molybdate of calcium and passing through a projection of a fourfold eutectic on two-dimensional section. Values of an enthalpy and entropy of melting of fourfold invariant structure of a stable tetrahedron of  $\text{CaMoO}_4\text{-Li}_2\text{MoO}_4\text{-Li}_2\text{SO}_4\text{-LiCl}$  are received by the conducted calorimetric researches.

**Keywords:** stable tetrahedron, eutectic, chart of a state, melting enthalpy, entropy of melting

С каждым годом в науке, технике и различных отраслях промышленности все большее распространение получают ионные расплавы солей и их эвтектические составы. Перспективным и востребованным направлением применения низкотемпературных солевых композитов в настоящее время является их использование в качестве рабочих тел и теплоносителей в тепловых аккумуляторах, проводников второго рода в источниках постоянного тока, при синтезе различных химических соединений и др. [1]. Объектом исследования является

стабильный тетраэдр  $\text{CaMoO}_4\text{-Li}_2\text{MoO}_4\text{-Li}_2\text{SO}_4\text{-LiCl}$ , основанием которого является тройная система из литиевых солей, а вершиной – молибдат кальция. Исходные соли – компоненты тетраэдра плавятся в широком температурном диапазоне и характеризуются высокими значениями энтальпий плавления.

Цель исследования: выявление фазовых равновесий в стабильном тетраэдре  $\text{CaMoO}_4\text{-Li}_2\text{MoO}_4\text{-Li}_2\text{SO}_4\text{-LiCl}$  и поиск низкотемпературного четверного неинвариантного состава.

### Формирование базы данных

В элементы ограничения стабильного тетраэдра  $\text{CaMoO}_4\text{-Li}_2\text{MoO}_4\text{-Li}_2\text{SO}_4\text{-LiCl}$  (рис. 1, 2) входят шесть двухкомпонентных:

1.  $\text{Li}_2\text{SO}_4\text{-LiCl}$  [2]. Эвтектика ( $e_1$ ) при  $478^\circ\text{C}$  и содержит 36,5 мол. %  $\text{Li}_2\text{SO}_4$ .
  2.  $\text{Li}_2\text{MoO}_4\text{-LiCl}$  [2]. Эвтектика при ( $e_2$ )  $495^\circ\text{C}$  и содержит 26,6 мол. %  $\text{Li}_2\text{MoO}_4$ .
  3.  $\text{Li}_2\text{MoO}_4\text{-Li}_2\text{SO}_4$  [2]. Эвтектика ( $e_3$ ) при  $564^\circ\text{C}$  и содержит 62,5 мол. %  $\text{Li}_2\text{SO}_4$ .
  4.  $\text{CaMoO}_4\text{-Li}_2\text{MoO}_4$  [2]. Эвтектика ( $e_4$ ) при  $688^\circ\text{C}$  и содержит 97 мол. %  $\text{Li}_2\text{MoO}_4$ .
  5.  $\text{CaMoO}_4\text{-Li}_2\text{SO}_4$  (стабильная диагональ квадрата составов трехкомпонентной взаимной системы  $\text{Ca, Li // MoO}_4, \text{SO}_4$ ) [3, 4]. Эвтектика ( $e_5$ ) при  $708^\circ\text{C}$  и содержит 11,0 мол. %  $\text{CaMoO}_4$ .
  6.  $\text{CaMoO}_4\text{-LiCl}$  (стабильная диагональ квадрата составов трехкомпонентной взаимной системы  $\text{Ca, Li // MoO}_4, \text{Cl}$ ) [5]. Эвтектика ( $e_6$ ) при  $586^\circ\text{C}$  и содержит 4,7 мол. %  $\text{CaMoO}_4$ .
- и четыре трехкомпонентные системы:

1.  $\text{CaMoO}_4\text{-Li}_2\text{SO}_4\text{-LiCl}$  (стабильный сечущий треугольник призмы составов системы  $\text{Ca, Li // MoO}_4, \text{SO}_4, \text{Cl}$ ) [6, 7]. Эвтектика ( $E_1^\Delta$ )  $468^\circ\text{C}$  и содержит 3,4 мол. %  $\text{CaMoO}_4$ , 34,8 мол. %  $\text{Li}_2\text{SO}_4$ , 61,8 мол. %  $\text{LiCl}$ .
2.  $\text{CaMoO}_4\text{-Li}_2\text{MoO}_4\text{-LiCl}$  (стабильный треугольник квадрата составов трехкомпонентной взаимной системы  $\text{Ca, Li // MoO}_4, \text{Cl}$ ) [5]. Эвтектика ( $E_2^\Delta$ ) при  $487^\circ\text{C}$  и содержит 1,0 мол. %  $\text{CaMoO}_4$ , 26,8 мол. %  $\text{Li}_2\text{MoO}_4$ , 72,2 мол. %  $\text{LiCl}$ .
3.  $\text{CaMoO}_4\text{-Li}_2\text{MoO}_4\text{-Li}_2\text{SO}_4$  (стабильный треугольник квадрата составов трехкомпонентной взаимной системы  $\text{Ca, Li // MoO}_4, \text{SO}_4$ ) [3, 4]. Эвтектика ( $E_3^\Delta$ )  $538^\circ\text{C}$  и содержит 3,5 мол. %  $\text{CaMoO}_4$ , 36,7 мол. %  $\text{Li}_2\text{MoO}_4$ , 59,8 мол. %  $\text{Li}_2\text{SO}_4$ .
4.  $\text{Li // MoO}_4, \text{SO}_4, \text{Cl}$  [8]. Эвтектика ( $E_4^\Delta$ ) при  $445^\circ\text{C}$  и содержит 17,9 мол. %  $\text{Li}_2\text{MoO}_4$ , 23,6 мол. %  $\text{Li}_2\text{SO}_4$ , 58,5 мол. %  $\text{LiCl}$ .

Развертка стабильного тетраэдра  $\text{CaMoO}_4\text{-Li}_2\text{MoO}_4\text{-Li}_2\text{SO}_4\text{-LiCl}$  с нанесением всей информации о граневых элементах приведена на рис. 2.

### Материалы и методы исследования

Экспериментальное исследование разрезов системы  $\text{CaMoO}_4\text{-Li}_2\text{MoO}_4\text{-Li}_2\text{SO}_4\text{-LiCl}$  проведено с применением дифференциально-термического метода анализа (ДТА) [9–11] со следующим приборным исполнением. Записи термограмм осуществлялись на самописце следящего уравнивания КСП-4 с применением платинородий-платиновых термопар. Для

усиления сигнала с дифференциальной термопары использовали фотоусилитель Ф-116/1. Для регулирования чувствительности сигнала на дифференциальной термопаре использовали магазин сопротивлений МСР-63, а при необходимости смещение положения записи дифференциальной термограммы производилось использованием источника регулируемого напряжения ИРН 64. Скорость нагрева (охлаждения) регулировали автотрансформатором ЛАТР-2М.

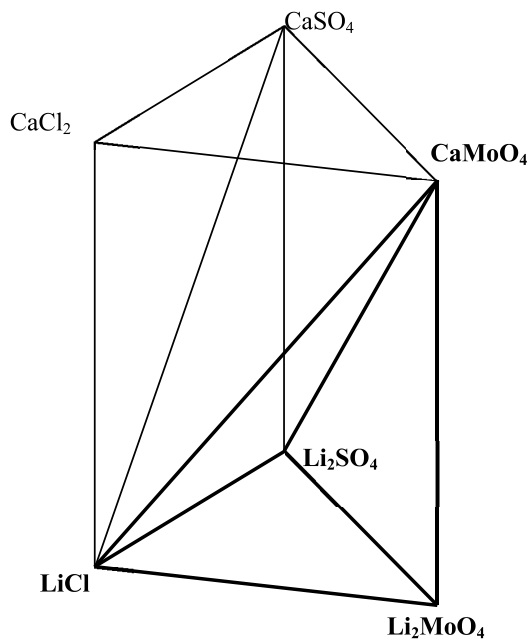


Рис. 1. Призма составов системы  $\text{Ca, Li // MoO}_4, \text{SO}_4, \text{Cl}$  с указанием расположения стабильного тетраэдра  $\text{CaMoO}_4\text{-Li}_2\text{MoO}_4\text{-Li}_2\text{SO}_4\text{-LiCl}$

Предварительно обезвоженные исходные соли имели квалификации  $\text{Li}_2\text{MoO}_4$  и  $\text{Li}_2\text{SO}_4$  – «хч», а  $\text{CaMoO}_4$  и  $\text{LiCl}$  – «ч». Эталонным веществом служил свежeproкаленный оксид алюминия квалификации «чда». Все исследования проводили в инертной среде в стандартных платиновых микротиглях. Масса навесок 0,3 г. Точность измерения температур  $\pm 2,5^\circ\text{C}$ . Выбор политермических сечений для экспериментального изучения проводился согласно общим правилам проекционно-термографического метода [12].

Для calorиметрических исследований образцов [13–15] использовали дифференциально-сканирующий calorиметр NETZSCH DSC 204 F1 со скоростью сканирования в  $0,5\text{--}20\text{ K/мин}$ . Точность измерения температуры при этом составляла  $\pm 0,2^\circ\text{C}$ , а теплоты –  $\pm 2\%$ .

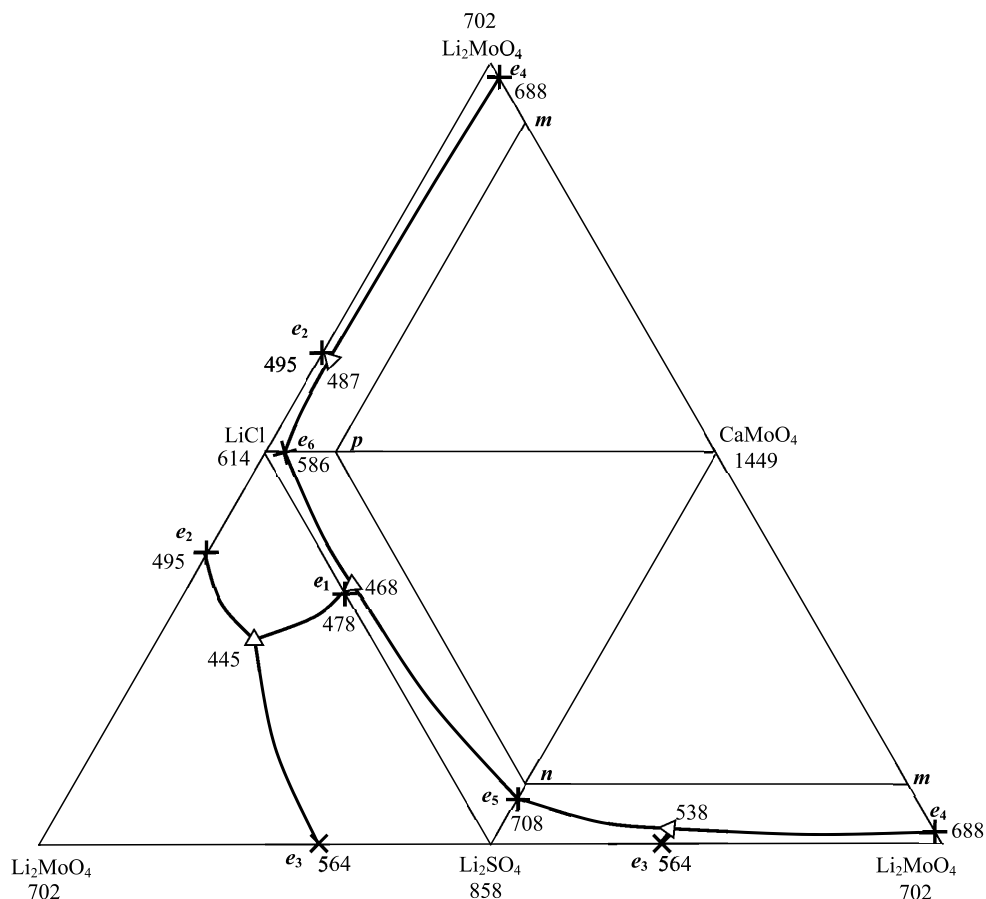


Рис. 2. Развертка граневых элементов тетраэдра  $\text{CaMoO}_4\text{-Li}_2\text{MoO}_4\text{-Li}_2\text{SO}_4\text{-LiCl}$  и расположение двухмерного сечения  $m\text{-n-p}$

### Результаты исследования и их обсуждение

Исследуемый тетраэдр  $\text{CaMoO}_4\text{-Li}_2\text{MoO}_4\text{-Li}_2\text{SO}_4\text{-LiCl}$  является стабильным элементом огранения четверной взаимной системы  $\text{Ca, Li // MoO}_4, \text{SO}_4, \text{Cl}$ . Из проведенного литературного обзора, в результате которого сформирована база данных, следует, что все элементы огранения исследуемого стабильного тетраэдра были исследованы ранее. Исследованиями, проведенными в данной работе, определены состав и температура плавления четверной эвтектики стабильного тетраэдра  $\text{CaMoO}_4\text{-Li}_2\text{MoO}_4\text{-Li}_2\text{SO}_4\text{-LiCl}$ .

Согласно правилам проекционно-термографического метода, для определения параметров четверной эвтектики в объеме кристаллизации молибдата кальция выбрано двухмерное политемическое сечение  $m\text{-n-p}$ , параллельное тройной системе огранения  $\text{Li}_2\text{MoO}_4\text{-Li}_2\text{SO}_4\text{-LiCl}$  (рис. 2, 3),

где  $m$  – (15 %  $\text{CaMoO}_4$  + 85 %  $\text{Li}_2\text{MoO}_4$ ),  $n$  – (15 %  $\text{CaMoO}_4$  + 85 %  $\text{Li}_2\text{SO}_4$ ) и  $p$  – (15 %  $\text{CaMoO}_4$  + 85 %  $\text{LiCl}$ ).

Проецирование тройной эвтектической точки каждой из боковых граней тетраэдра составов ( $E_1^A$ ,  $E_2^A$  и  $E_3^A$ ) на соответствующую сторону двухмерного сечения  $m\text{-n-p}$  (соответственно  $\bar{E}_1^A$ ,  $\bar{E}_2^A$  и  $\bar{E}_3^A$ ) произведено геометрически. Для этого из вершины тетраэдра составов проведен отрезок прямой, соединяющий полюс молибдата кальция с точкой состава тройной эвтектики на каждой боковой грани. Точка пересечения этой линии со стороной двухмерного сечения на этой грани и есть проекция тройной эвтектической точки на соответствующей стороне выбранного сечения с полюса молибдата кальция. После получения проекций каждой из тройных эвтектических точек на соответствующей стороне сечения  $m\text{-n-p}$  ( $\bar{E}_1^A$ ,  $\bar{E}_2^A$  и  $\bar{E}_3^A$ ) для проведения экспериментальных исследований выбран одномерный

политермический разрез  $q-s$  ( $q$  – (15%  $\text{CaMoO}_4$  + 65%  $\text{Li}_2\text{MoO}_4$  + 20%  $\text{LiCl}$ ),  $s$  – (15%  $\text{CaMoO}_4$  + 65%  $\text{Li}_2\text{SO}_4$  + 20%  $\text{LiCl}$ )), параллельный стороне  $m-n$  двухмерного сечения  $m-n-p$  (рис. 3).

Диаграмма состояния, полученная экспериментальным изучением разреза  $q-s$ , приведена на рис. 4. По точкам 1 и 2, полученным как точки пересечения ветвей третичной и четвертичной кристаллизаций диаграммы состояния разреза  $q-s$ , выявлены направления на проекцию четверной эвтектической точки с вершин  $m$  и  $n$ . Состав проекции четверной эвтектики ( $\bar{E}^{\square}$ ) на сечении  $m-n-p$  получен геометрическим построением, как точка пересечения лучевых разрезов  $m \rightarrow 1 \rightarrow \bar{E}^{\square}$  и  $n \rightarrow 2 \rightarrow \bar{E}^{\square}$  (рис. 3, 4). По полученному составу про-

екции четверной эвтектики ( $\bar{E}^{\square}$ ) определены соотношения компонентов молибдата, сульфата и хлорида лития в составе четверной эвтектики.

По диаграмме состояния (рис. 5), полученной экспериментальным изучением лучевого разреза  $\text{CaMoO}_4 \rightarrow \bar{E}^{\square} \rightarrow \bar{E}^{\square}$ , исходящего из вершины  $\text{CaMoO}_4$  и проходящего через точку проекции четверной эвтектики ( $\bar{E}^{\square}$ ) на сечении  $m-n-p$  (рис. 3), определены состав и температура плавления четверной эвтектики исследуемого тетраэдра ( $\bar{E}^{\square}$ ). Отличительным свойством этого разреза является постепенное уменьшение концентрации  $\text{CaMoO}_4$  без изменения полученных в составе проекции четверной эвтектики ( $\bar{E}^{\square}$ ) соотношений концентраций  $\text{Li}_2\text{MoO}_4$ ,  $\text{Li}_2\text{SO}_4$  и  $\text{LiCl}$ .

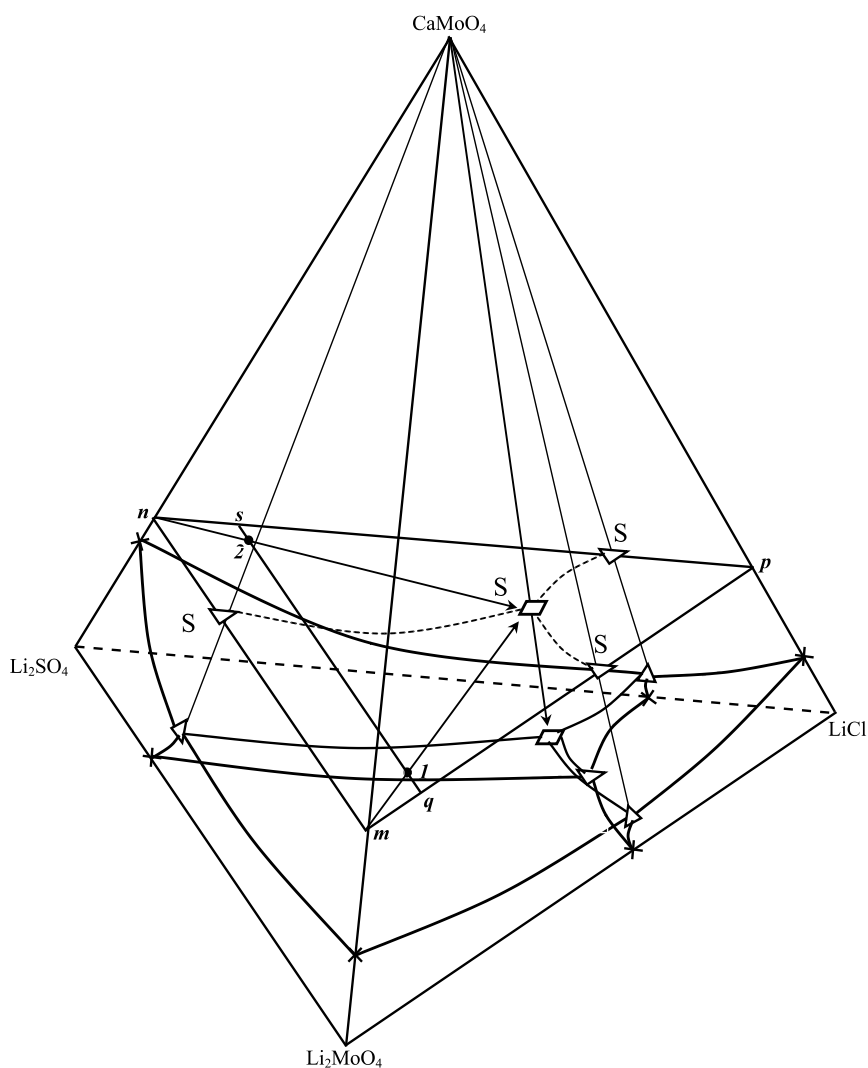


Рис. 3. Схематическое расположение объемов кристаллизации в тетраэдре составов  $\text{CaMoO}_4\text{-Li}_2\text{MoO}_4\text{-Li}_2\text{SO}_4\text{-LiCl}$  с указанием геометрических построений для определения состава четверной эвтектики

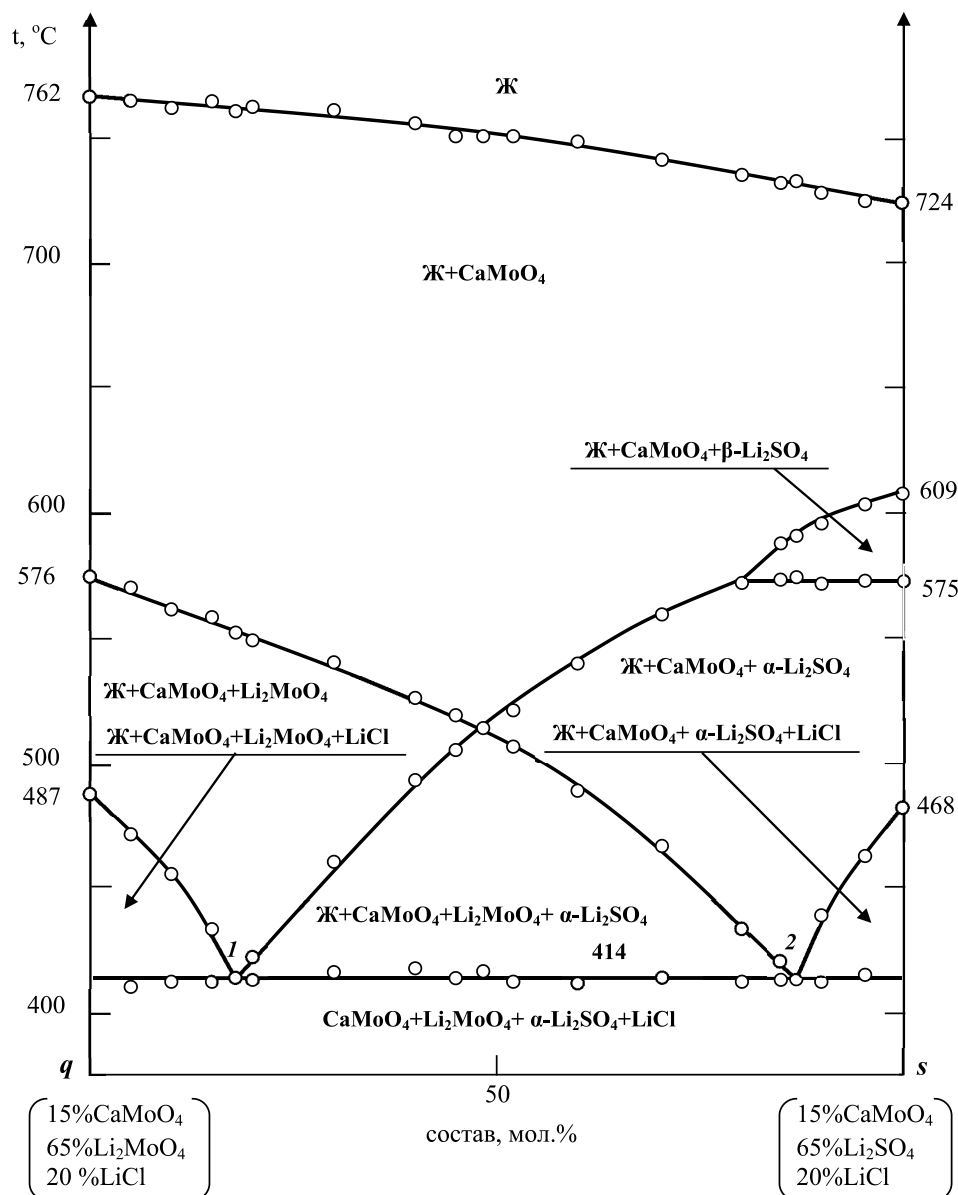


Рис. 4. Диаграмма состояния политемического разреза  $q-s$

Энтальпия плавления образца эвтектического состава четверной эвтектики, содержащего (в мол. %) 2,0%  $\text{CaMoO}_4$ , 20,7%  $\text{Li}_2\text{MoO}_4$ , 25,0%  $\text{Li}_2\text{SO}_4$  и 52,3%  $\text{LiCl}$ , определена на дифференциально-сканирующем калориметре NETZSCH DSC 204 F1 и составила  $405 \pm 8,1$  кДж/кг. Энтропия плавления четверной эвтектики составляет  $589 \pm 11,8$  Дж/(кг·К).

Четверной эвтектике ( $E^*$ ) соответствует инвариантный процесс:



### Выводы

Проведенными исследованиями выявлены фазовые равновесия, состав и температура плавления четверной эвтектики стабильного тетраэдра  $\text{CaMoO}_4\text{-Li}_2\text{MoO}_4\text{-Li}_2\text{SO}_4\text{-LiCl}$ , плавящейся при температуре  $414^\circ\text{C}$  с удельной энтальпией плавления  $405 \pm 8,1$  кДж/кг.

Установлены объемы кристаллизации каждого компонента системы в тетраэдре составов  $\text{CaMoO}_4\text{-Li}_2\text{MoO}_4\text{-Li}_2\text{SO}_4\text{-LiCl}$ .



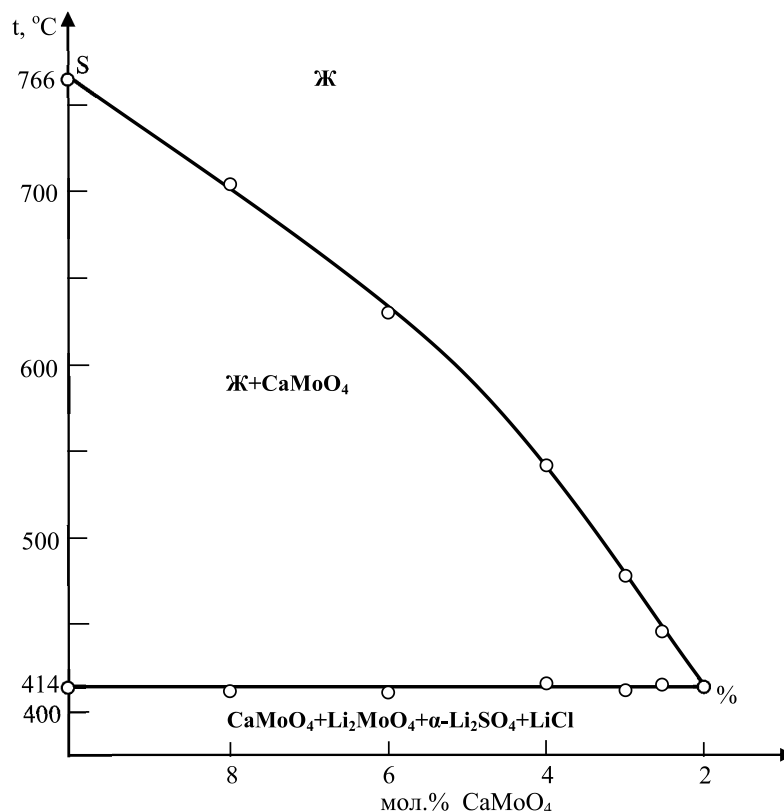


Рис. 5. Диаграмма состояния лучевого разреза  $\text{CaMoO}_4 \rightarrow \bar{E}^{\square} \rightarrow \bar{E}^{\square}$

Полученный эвтектический состав с достаточно высоким значением энтальпии плавления может быть использован в качестве рабочего тела в тепловых аккумуляторах.

#### Список литературы / References

1. Гасаналиев А.М., Гаркушин И.К., Дибиров М.А., Трунин А.С. Применение расплавов в современной науке и технике. Махачкала: Деловой мир, 2011. 159 с.

Gasanaliev A.M., Garkushin I.K., Dibirov M.A., Trunin A.S. Use of fusions in modern science and technology. Makhachkala: Delovoy mir, 2011. 159 p. (in Russian).

2. Справочник по плавкости систем из безводных неорганических солей. Двойные системы / Под общ. ред. Н.К. Воскресенской. М.: АН СССР, 1961. 845 с.

The reference book on fusibility of systems from waterless inorganic salts. Double systems / Under the general editorial office N.K. Voskresenskoy. M.: AN SSSR, 1961. 845 p. (in Russian).

3. Вердиев Н.Н., Дибиров Я.А., Арбуханова П.А., Вайнштейн С.И. Трехкомпонентная взаимная система  $\text{Li,Ca//SO}_4\text{,MoO}_4$  // Вестник МГУ. Серия 2. Химия. 2009. № 2. С. 139–144.

Verdiev N.N., Dibirov Ya.A., Arbukhanova P.A., Vaynshteyn S.I. Three-component mutual system  $\text{Li,Ca//SO}_4\text{,MoO}_4$  // Vestnik MGU. Seriya 2. Khimiya. 2009. № 2. P. 139–144 (in Russian).

4. Дибиров Я.А. Теплоаккумулирующие составы на основе системы  $\text{Li,Ca//SO}_4\text{,MoO}_4$  // Актуальные проблемы освоения возобновляемых энергоресурсов: материалы IV Школы молодых ученых им. Э.Э. Шпилерайна (г. Махачкала, 19–23

сентября 2011 г.). Махачкала: АЛЕФ (ИП Овчинников), 2011. С. 118–122.

Dibirov Ya.A. Heat-retaining structures on the basis of the system  $\text{Li,Ca//SO}_4\text{,MoO}_4$  // Aktualnye problemy osvoeniya vozobnovlyаемых energoresursov: materialy IV Shkoly molodykh uchenykh im. E.E. Shpilrayna (g. Makhachkala, 19–23 sentyabrya 2011 g). Makhachkala: ALEF (IP Ovchinnikov), P. 118–122 (in Russian).

5. Гасаналиев А.М., Трунин А.С., Дибиров М.А. Диаграмма плавкости системы  $\text{Li,Ca//Cl,MoO}_4$  // Изв. вузов. Химия и химическая технология. 1981. № 2. С. 194–196.

Gasanaliev A.M., Trunin A.S., Dibirov M.A. Chart of fusibility of system  $\text{Li,Ca//Cl,MoO}_4$  // Izv. vuzov. Chemistry and chemical technology. 1981. № 2. P. 194–196 (in Russian).

6. Дибиров Я.А., Вердиев Н.Н., Арбуханова П.А., Беренгартен М.Г., Дибиров К.Я. Фазовые равновесия и теплоаккумулирующие материалы в системе  $\text{LiCl-Li}_2\text{SO}_4\text{-CaMoO}_4$  // Известия вузов. Химия и химическая технология. 2012. № 8. С. 50–52.

Dibirov Ya.A., Verdiev N.N., Arbuxanova P.A., Berengarten M.G. Phase balances and heat-retaining materials in system  $\text{LiCl-Li}_2\text{SO}_4\text{-CaMoO}_4$  // Izvestia vuzov. Chemistry and chemical technology. 2012. № 8. P. 50–52 (in Russian).

7. Дибиров Я.А. Фазовые равновесия в системе  $\text{LiCl-Li}_2\text{SO}_4\text{-CaMoO}_4$  // Физико-химические процессы в конденсированных средах и на межфазных границах (ФАГРАН – 2018): материалы VIII Всероссийской конференции с международным участием (г. Воронеж, 8–11 октября 2018 г.). Воронеж: Издательско-полиграфический центр «Научная книга», 2018. С. 408–409.

Dibirov Ya.A. Phase equilibria in the  $\text{LiCl-Li}_2\text{SO}_4\text{-CaMoO}_4$  system // Fiziko-khimicheskie processy v kondensirovannykh sredakh i na mezhfaznykh granicax (FAGRAN – 2018): materialy

VIII Vserossijskoj konferencii s mezhdunarodnym uchastiem (g. Voronezh, 8–11 oktyabrya 2018 g.). Voronezh: Izdatelsko-poligraficheskij centr «Nauchnaya kniga», 2018. P. 408–409 (in Russian).

8. Губанова Т.В. Фазовые равновесия в шестикомпонентной системе  $\text{Li}/\text{F}, \text{Cl}, \text{VO}_3, \text{SO}_4, \text{CrO}_4, \text{MoO}_4$  и элементах ее ограничения: дис. ... канд. хим. наук. Самара, 2003. 126 с.

Gubanova T.V. Phase balances in six-component system  $\text{Li}/\text{F}, \text{Cl}, \text{VO}_3, \text{SO}_4, \text{CrO}_4, \text{MoO}_4$  and elements of its sides: dis. ... kand. khim. nauk. Samara, 2003. 126 p. (in Russian).

9. Трунин А.С., Мешалкин А.В. Дифференциальный термический анализ. Самара: Самар. гос. обл. академия Научной, 2010. 32 с.

Trunin A.S., Meshalkin A.V. Differential thermal analysis. Samara: Samar. gos. obl. akademiya Nayanovoy, 2010. 32 p. (in Russian).

10. Егунов В.П. Термический анализ с эталоном или без него // Международная конференция по термическому анализу и калориметрии в России (RTAC-2013): материалы XIV Международной конференции (г. Санкт-Петербург, 23–28 сентября 2013 г.). Санкт-Петербург: Издательский дом Руда и Металлы, 2013. С. 388–391.

Egunov V.G. Thermal analysis with or without reference // Mezhdunarodnaya konferenciya po termicheskomu analizu i kalorimetrii v Rossii (RTAC-2013): materialy XIV Mezhdunarodnoj konferencii (g. Sankt-Peterburg 23–28 sentyabrya 2013 g.). Sankt-Peterburg: Izdatelskij dom Ruda i Metally, 2013. P. 388–391.

dunarodnoj konferencii (g. Sankt-Peterburg 23–28 sentyabrya 2013 g.). Sankt-Peterburg: Izdatelskij dom Ruda i Metally, 2013. P. 388–391 (in Russian).

11. Ивлев В.И., Фомин Н.Е., Юдин В.А. и др. Методы термического анализа. Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 2017. 44 с.

Ivlev V.I., Fomin N.E., Yudin V.A. and others. Thermal analysis methods. Saransk: Izd-vo Mordov. un-ta, 2017. 44 p. (in Russian).

12. Космынин А.С., Трунин А.С. Проекционно-термографический метод исследования гетерогенных равновесий в конденсированных многокомпонентных системах. Самара: Самарский гос. техн. ун-т, 2006. 182 с.

Kosminin A.S., Trunin A.S. Projective and thermographic method of a research of heterogeneous balances in the condensed multicomponent systems. Samara: Samarskij gos. texn. un-t, 2006. 182 p. (in Russian).

13. Braga C.I., Rezende M.C., Costa M.L. Methodology for DSC calibration in high heating rates. J. Aerosp. Technol. Manag. 2011. no. 3. P. 179–192. DOI: 10.5028/JATM.2011.03021911.

14. Shimkin A. Optimization of DSC calibration procedure. Thermochim. Acta. 2013. no. 266. P. 71–76. DOI: 10.1016/j.tca.2013.04.039.

15. Moukhina E. Enthalpy calibration for wide DSC peaks. Thermochim. Acta. 2011. P. 96–99.

УДК 547.379

## ЭФФЕКТИВНЫЕ МЕТОДЫ СИНТЕЗА ФУНКЦИОналиЗИРОВАННЫХ ГИДРОКСИБУТИЛТЕЛЛАНОВ

Мусалова М.В., Иванова Л.А., Мусалов М.В., Шкурченко И.В.

*Иркутский институт химии имени А.Е. Фаворского Сибирского отделения  
Российской академии наук, Иркутск, e-mail: musalova@irioch.irk.ru*

Реакции тетрагалогенидов теллура с бут-3-ен-1-олом не известны. Мы впервые осуществили и систематически изучили взаимодействие четырехбромистого и четыреххлористого теллура с бут-3-ен-1-олом. Если проводить реакцию  $\text{TeCl}_4$  с бутенолом в среде  $\text{CCl}_4$ , процесс приводит к моноаддукту, ранее неизвестному (4-гидрокси-2-хлорбутил)трихлортеллану, с количественным выходом. Нагревание до кипения (4-гидрокси-2-хлорбутил)трихлортеллана в среде  $\text{CCl}_4$  или хлороформа не сопровождается внутримолекулярной циклизацией с образованием возможного гетероциклического продукта. Разработаны условия для селективного синтеза бис-аддукта, ранее неизвестного бис(4-гидрокси-2-хлорбутил)дихлортеллана, с выходом 96%. Оптимальными условиями для получения этого соединения является нагревание до кипения в среде бензола  $\text{TeCl}_4$  с бутенолом (двукратный мольный избыток бутенола) в течение 18 ч. Для введения MeO-группы реакцией алкоксителлурирования четырехбромистого теллура с бутенолом использован разработанный нами ранее подход, основанный на взаимодействии субстрата и реагента в среде спиртов. Ранее неизвестный процесс алкоксителлурирования бутенола четырехбромистым теллуrom реализуется в среде метанола при 50–60 °C и приводит к образованию нового субстрата, (4-гидрокси-2-метоксибутил)трибромтеллана, с количественным выходом. Восстановлением этого соединения в двухфазной системе  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$  (водный раствор) – бензол синтезирован ранее неизвестный бис(4-гидрокси-2-метоксибутил)дителлан с выходом 90%. Структуры синтезированных соединений надежно доказаны методами ЯМР  $^1\text{H}$  и  $^{13}\text{C}$  и подтверждены данными элементного анализа (C, H, Te, Cl, Br). Синтезированные продукты – ценные субстраты, функционализированные тригалогентелланильной и дигалогентелланильной функциями, гидроксильной и метоксильной группами. Полученные телланы являются перспективными реагентами для микро- и нанoeлектроники.

**Ключевые слова:** бут-3-ен-1-ол, региоселективность, телланы, тетрабромид теллура, тетрахлорид теллура

## EFFICIENT METHODS OF SYNTHESIS OF FUNCTIONALIZED HYDROXYBUTYLTELLANES

Musalova M.V., Ivanova L.A., Musalov M.V., Shkurchenko I.V.

*A.E. Favorskiy Irkutsk Institute of Chemistry, Siberian Division of the Russian Academy of Sciences,  
Irkutsk, e-mail: musalova@irioch.irk.ru*

The reactions of tellurium tetrahalides with but-3-en-1-ol were unknown. We realized for the first time and systematically studied the reactions of tellurium tetrabromide and tetrachloride with but-3-en-1-ol. If the reaction of tellurium tetrachloride with butenol was carried out in carbon tetrachloride the process led to the monoadduct, hitherto unknown 4-hydroxy-2-chlorobutyl)trichlorotellane, in quantitative yield. Heating 4-hydroxy-2-chlorobutyl)trichlorotellane in boiling carbon tetrachloride or chloroform was not accompanied by intramolecular cyclization with the formation of a possible heterocyclic product. The conditions for the selective synthesis of bis-adduct, hitherto unknown bis(4-hydroxy-2-chlorobutyl)dichlorotellane, in 96% yield were developed. The optimal conditions for obtaining this compound are heating tellurium tetrachloride with butenol (a two-fold molar excess of butenol) in boiling benzene for 18 hours. For the introduction of the MeO group by the alkoxytelluration of tellurium tetrabromide with butenol, we used the approach we developed earlier, based on the interaction of the substrate and reagent in an alcohol medium. Previously unknown alkoxytelluration was realized by heating tetrabromide tellurium with butenol in methanol at 50–60 °C and led to the formation of hitherto unknown substrate, (4-hydroxy-2-methoxybutyl)tribromotellane, in quantitative yield. By reducing this compound in a two-phase system, an aqueous solution of sodium metabisulfite – benzene, hitherto unknown bis(4-hydroxy-2-methoxybutyl)ditellane in 90% yield was synthesized. The structures of the synthesized compounds have been reliably proven by  $^1\text{H}$  and  $^{13}\text{C}$  NMR and confirmed by elemental analysis data (C, H, Te, Cl, Br). The synthesized products – valuable substrates functionalized with trihalotellanyl and dihalotellanyl functions, hydroxyl and methoxyl groups. The tellanes obtained are promising reagents for micro- and nanoelectronics.

**Keywords:** but-3-en-1-ol, regioselectivity, tellanes, tellurium tetrabromide, tellurium tetrachloride

В последние десятилетия вырос интерес синтетиков к органическим телланам и органителланильным субстратам. В известном обзоре [1] и книге [2] систематически раскрыт синтетический потенциал функционализированных телланов и других органилтеллуристых соединений.

Найдены ранее неизвестные диорганителланы с высокой биологической

активностью [3–5]. Многие диорганителланы обнаруживают высокую глутатионпероксидаза-подобную активность, т.е. являются катализаторами разложения перекисей под действием соединений, содержащих тиольную функцию, например, глутатиона [6–8]. Соединения с тиольной функцией при этом превращаются в соответствующие дисульфиды.

Следует отметить, что ранее в отношении глутатионпероксидаза-подобной активности интенсивно изучались селенорганические соединения [6, 7]. Однако в 2018 г. вышла фундаментальная работа, в которой исследована глутатионпероксидаза-подобная активность функционализированных диорганителланов [8]. В этой работе показано, что диорганителланы обладают более высокой глутатионпероксидаза-подобной активностью, чем аналогичные селенорганические соединения.

Ранее было установлено, что наличие гидроксигруппы в молекуле диорганителланов, как правило, увеличивает глутатионпероксидаза-подобную активность [6, 7]. В работе 2018 г., в которой изучена биологическая активность функционализированных диорганителланов, было показано, что наибольшую глутатионпероксидаза-подобную активность проявляют телланы, которые содержат гидроксигруппы, бис(гидроксиалкил)телланы [8].

До настоящих исследований нами синтезированы новые семейства ранее неизвестных функционализированных диорганителланов на базе реакций  $\text{TeCl}_4$  [9–11]. Нами систематически разработан новый подход к процессу алкоксителлурирования [9]. Однако если в субстрате имеется удаленная от двойной связи гидроксильная функция, то может реализоваться циклофункционализация за счет нуклеофильного замещения внутримолекулярного типа. Например, взаимодействие 2-аллил-1-гидроксibenзола с четыреххлористым теллуром приводит к трихлор(2,3-дигидро-1-бензофуран-2-илметил)теллану [11]. Если циклизации не происходит, наблюдается образование функционализированного гидроксиалкилтеллана. Реакция тетрагалогенидов теллура с бут-3-ен-1-олом не описана в литературе.

Цель исследования: изучение реакций четыреххлористого и четырехбромистого теллура с бут-3-ен-1-олом (**1**) и разработка на основе этих реакций эффективных региоселективных методов синтеза ранее неизвестных функционализированных теллурорганических соединений – перспективных полупродуктов для получения веществ с высокой глутатионпероксидаза-подобной активностью.

#### Материалы и методы исследования

Спектры ЯМР  $^1\text{H}$  и  $^{13}\text{C}$  регистрировали на спектрометре Bruker DPX-400 на рабочих частотах 400,13 и 100,61 МГц соот-

ветственно, в  $\text{DMSO-d}_6$ , внутренний стандарт – ГМДС. Для элементного анализа использован прибор Thermo Finigan EA 1112. В реакциях использовались осушенные и перегнанные растворители.

(4-Гидрокси-2-хлорбутил)трихлортеллан (**2**). К смеси четыреххлористого теллура (0,539 г, 2 ммоль) и 25 мл четыреххлористого углерода при перемешивании добавили по каплям раствор бут-3-ен-1-ола (0,144 г, 2 ммоль) в 5 мл четыреххлористого углерода и перемешивали смесь при комнатной температуре в течение 48 ч. Растворитель отогнали на роторном испарителе, остаток сушили в вакууме. Получили 0,683 г (выход количественный) (4-гидрокси-2-хлорбутил)трихлортеллана (**2**) в виде вещества светлого цвета.

Спектр ЯМР  $^1\text{H}$ ,  $\delta$ , м.д.: 1,98–2,18 м (2H,  $\text{CH}_2$ ), 3,12 с (1H, OH), 3,89–3,98 м (2H,  $\text{CH}_2\text{O}$ ), 4,56–4,78 м (3H,  $\text{CHCl}$ ,  $\text{TeCH}_2$ ). Спектр ЯМР  $^{13}\text{C}$ ,  $\delta$ , м.д.: 38,1 ( $\text{CH}_2$ ), 58,6 ( $\text{CHCl}$ ), 59,3 ( $\text{CH}_2\text{O}$ ), 68,9 ( $\text{ClTeCH}_2$ ). Найдено, %: C 13,83; H 2,54; Cl 41,27; Te 37,09.  $\text{C}_4\text{H}_8\text{Cl}_4\text{OTe}$ . Вычислено, %: C 14,07; H 2,36; Cl 41,52; Te 37,36.

Попытка внутримолекулярной циклизации (4-гидрокси-2-хлорбутил)трихлортеллана. Раствор (0,342 г, 1 ммоль) 4-гидрокси-2-хлорбутил)трихлортеллана в 20 мл четыреххлористого углерода нагревали до кипения при перемешивании в течение 8 ч. Растворитель отогнали на роторном испарителе, остаток сушили в вакууме и анализировали методом ЯМР  $^1\text{H}$  и  $^{13}\text{C}$ . Остаток по данным ЯМР  $^1\text{H}$  и  $^{13}\text{C}$  представляет собой исходный 4-гидрокси-2-хлорбутил)трихлортеллан в виде вещества светло-серого цвета. Продукта внутримолекулярной циклизации не обнаружено.

Бис(4-гидрокси-2-хлорбутил)дихлортеллан (**6**). К смеси четыреххлористого теллура (0,539 г, 2 ммоль) и 20 мл бензола при перемешивании добавили по каплям раствор бут-3-ен-1-ола (0,288 г, 4 ммоль) в 5 мл бензола и нагревали смесь при перемешивании до кипения в течение 18 ч. Смесь фильтровали, растворитель отогнали на роторном испарителе, остаток сушили в вакууме. Получили 0,794 г (выход 96%) бис(4-гидрокси-2-хлорбутил)дихлортеллана в виде вещества светлого цвета.

Спектр ЯМР  $^1\text{H}$ ,  $\delta$ , м.д.: 1,96–2,28 м (4H,  $\text{CH}_2$ ), 3,02 с (2H, OH), 3,78–3,95 м (4H,  $\text{CH}_2\text{O}$ ), 4,43–4,72 м (6H,  $\text{CHCl}$ ,  $\text{TeCH}_2$ ). Спектр ЯМР  $^{13}\text{C}$ ,  $\delta$ , м.д.: 36,3 ( $\text{CH}_2$ ), 56,1 ( $\text{CHTe}$ ), 58,7 ( $\text{CHCl}$ ), 59,8 ( $\text{CH}_2\text{O}$ ). Найдено, %: C 23,51; H 3,72; Cl 34,57; Te 31,12.

$C_8H_{16}Cl_4O_2Te$ . Вычислено, %: С 23,23; Н 3,90; Cl 34,29; Те 30,85.

(4-Гидрокси-2-метоксибутил)трибромтеллан (7). К смеси 0,894 г (2 ммоль) четыреххлористого теллура и 25 мл метанола добавили по каплям раствор бут-3-ен-1-ола (0,144 г, 2 ммоль) в 5 мл метанола. Реакционную смесь перемешивали при нагревании до 50–60 °С в течение 8 ч. Растворитель удаляли на ротаторном испарителе, остаток сушили в вакууме. Получили 0,941 г (выход количественный) (4-гидрокси-2-метоксибутил)трибромтеллана в виде вещества темно-желтого цвета.

Спектр ЯМР  $^1H$ ,  $\delta$ , м.д.: 1,86–2,11 м (2Н,  $CH_2$ ), 3,22 с (3Н,  $CH_3O$ ), 3,56–3,75 м (2Н,  $CH_2O$ ), 3,86–3,97 м (1Н,  $CHO$ ), 4,25–4,49 м (2Н,  $TeCH_2$ ). Спектр ЯМР  $^{13}C$ ,  $\delta$ , м.д.: 31,8 ( $CH_2$ ), 56,3 ( $CH_3O$ ), 60,4 ( $TeCH_2$ ), 61,5 ( $CH_2O$ ), 72,2 ( $CHO$ ). Найдено, %: С 13,05; Н 2,54; Br 51,16; Те 26,87.  $C_5H_{11}Br_3O_2Te$ . Вычислено, %: С 12,77; Н 2,36; Br 50,95; Те 27,12.

Бис(4-гидрокси-2-метоксибутил)дителлан (8). К охлажденной до 0 °С смеси 0,471 г (1 ммоль) (4-гидрокси-2-метоксибутил)трибромтеллана 7 и 20 мл бензола при перемешивании добавили охлажденный до 0 °С раствор 1,2 г (6,3 ммоль)  $Na_2S_2O_5$  в 10 мл воды. Реакционную смесь перемешивали в течение 3 ч при комнатной температуре. Органический слой отделили, фильтровали, сушили  $Na_2SO_4$ . Растворитель удаляли на ротаторном испарителе, остаток сушили в вакууме. Получили бис(4-гидрокси-2-метоксибутил)дителлан (0,415 г, выход 90%) в виде темно-красного масла.

Спектр ЯМР  $^1H$ ,  $\delta$ , м.д.: 1,72–2,01 м (4Н,  $CH_2$ ), 2,94–3,23 м (4Н,  $TeCH_2$ ), 3,28 с (6Н,  $CH_3O$ ), 3,49–3,74 м (4Н,  $CH_2O$ ), 3,76–4,03 м (2Н,  $CHO$ ). Спектр ЯМР  $^{13}C$ ,  $\delta$ , м.д.: 13,1 ( $TeCH_2$ ), 37,2 ( $CH_2$ ), 55,9 ( $CH_3O$ ), 61,3 ( $CH_2O$ ), 71,4 ( $CHO$ ). Найдено, %: С 25,75; Н 4,64; Те 54,98.  $C_{10}H_{22}O_4Te_2$ . Вычислено, %: С 26,03; Н 4,81; Те 55,30.

### Результаты исследования и их обсуждение

Впервые осуществлено и систематически изучено взаимодействие четыреххлористого и четыреххлористого теллура с бут-3-ен-1-олом (1) в различных экспериментальных условиях.

В работах [10, 11] нами описано взаимодействие гексенола и 2-аллилфенола с четыреххлористым теллуrom. Процессы реализуются при кипячении в  $CCl_4$  и сопровождаются циклизацией внутримолекулярного типа с образованием 6-членного и 5-членного кислородсодержащих гетероциклов: (тетрагидро-2Н-пиран-2-илметил)трихлортеллана и (2,3-дигидро-1-бензофуран-2-илметил)трихлортеллана с практически количественными выходами (Схема 1).

Если теоретически рассмотреть возможные пути реакции четыреххлористого теллура с бутенолом 1, то можно предположить, что процесс может привести как к Марковниковскому продукту 2, так и к продукту присоединения против правила Марковникова 3, который может подвергаться циклизации внутримолекулярного типа, давая гетероцикл 4 (Схема 2).

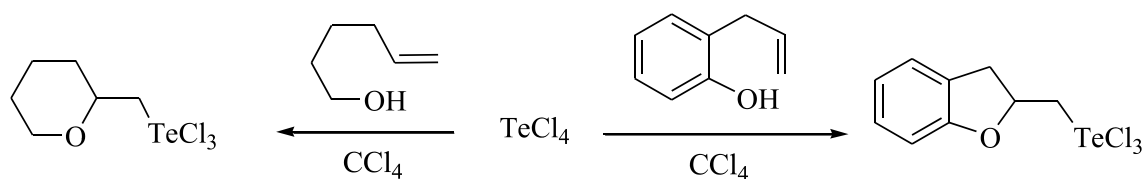


Схема 1. Реакции четыреххлористого теллура с гекс-5-ен-1-олом и 2-аллилфенолом

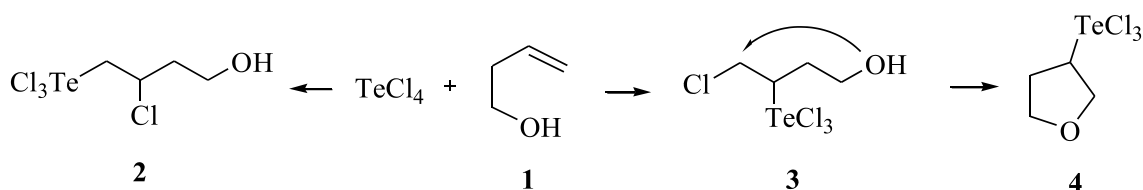


Схема 2. Возможные пути реакции четыреххлористого теллура с бут-3-ен-1-олом



Установлено, что реакция четыреххлористого теллура с бутенолом **1** в среде  $\text{CCl}_4$  как при кипячении, так и при комнатной температуре приводит к продукту присоединения по правилу Марковникова, (4-гидрокси-2-хлорбутил)трихлортеллану (**2**), с количественным выходом (Схема 3).

Найдено, что нагревание соединения **2** в кипящих растворителях (хлороформ, четыреххлористый углерод) не сопровождается гетероциклизацией с образованием возможного продукта **5** (Схема 3).

Разработаны экспериментальные условия для хемоселективного синтеза бисаддукта, бис(4-гидрокси-2-хлорбутил)дихлортеллана (**6**). Оптимальными условиями для получения соединения **6** является нагревание до кипения четыреххлористого теллура с двукратным избытком бутенола **1** в среде бензола в течение 18 ч. При этом выход продукта **6** составляет 96% (Схема 4).

Ранее нами был разработан новый подход к одновременному введению в органический субстрат теллуристого заместителя и спиртовой функции. Этот подход использован для алкоксителлурирования бутенола **1**. Ранее неизвестный (4-гидрокси-2-метоксибутил)трибромтеллан (**7**) синтезирован с выходом 100% взаимодействием  $\text{TeBr}_4$  с бутенолом **1** (Схема 5).

Новое соединение бис(4-гидрокси-2-метоксибутил)дителлан синтезирован с выходом 90% восстановлением соединения **7** (Схема 6).

Можно предполагать, что синтезированный нами бис(4-гидрокси-2-метоксибутил)дителлан **8** может быть источником новых электрофильных субстратов: (4-гидрокси-2-метоксибутил)телланилгалогенидов и (4-гидрокси-2-метоксибутил)телланилтригалогенидов [1, 2].

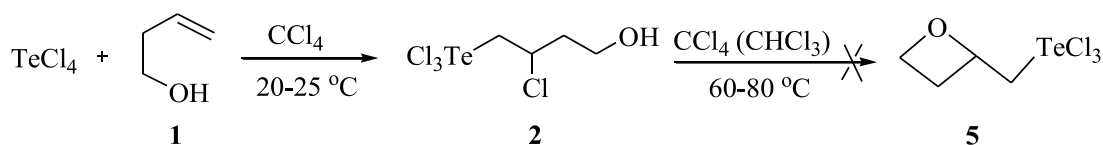


Схема 3. Синтез (4-гидрокси-2-хлорбутил)трихлортеллана (**2**) реакцией четыреххлористого теллура с бут-3-ен-1-олом

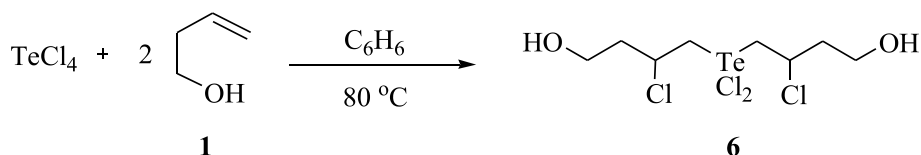


Схема 4. Синтез бис(4-гидрокси-2-хлорбутил)дихлортеллана (**6**) реакцией четыреххлористого теллура с бут-3-ен-1-олом

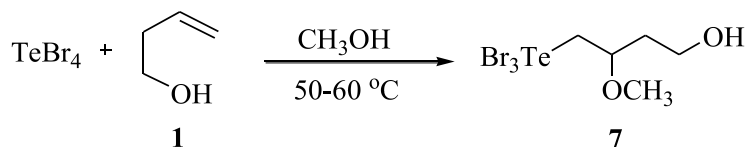


Схема 5. Синтез (4-гидрокси-2-метоксибутил)трибромтеллана (**7**) из четырехбромистого теллура и бутенола **1**

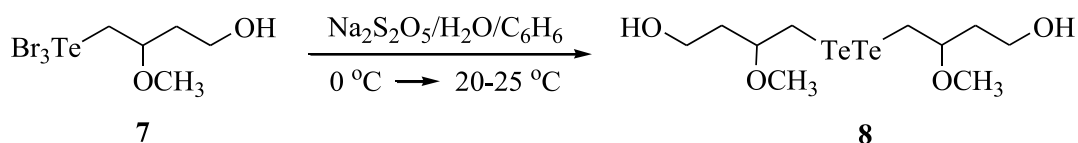


Схема 6. Синтез бис(4-гидрокси-2-метоксибутил)дителлана (**8**)

Строение синтезированных соединений надежно доказано методами ЯМР  $^1\text{H}$  и  $^{13}\text{C}$  и подтверждено данными элементного анализа (C, H, Te, Cl, Br).

### Заключение

На основе систематических исследований ранее неизвестных реакций четыреххлористого и четырехбромистого теллура с бут-3-ен-1-олом разработаны эффективные региоселективные методы синтеза новых функционализированных гидроксibuтилтелланов: (4-гидрокси-2-хлорбутил)трихлортеллана (2), бис(4-гидрокси-2-хлорбутил)дихлортеллана (6), (4-гидрокси-2-метоксибутил)трибромтеллана (7) и бис(4-гидрокси-2-метоксибутил)дителлана (8) с выходами до количественного. Полученные продукты являются перспективными субстратами и реагентами для микро- и наноэлектроники.

*Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 16-33-60199\_мол\_а\_дк).*

*Авторы благодарят Байкальский аналитический центр коллективного пользования Сибирского отделения Российской академии наук за спектральные исследования и элементный анализ.*

### Список литературы / References

1. Petragani N., Stefani H.A. Advances in organic tellurium chemistry. Tetrahedron. 2005. Vol. 61. P. 1613–1679. DOI: 10.1002/chin.200522257.
2. Petragani N., Stefani H.A. Tellurium in Organic Synthesis. London: Academic Press, 2007. 372 p.
3. Seng H.-L., Tiekink E.R.T. Anti-cancer potential of selenium- and tellurium-containing species: opportunities abound! Applied Organometallic Chemistry. 2012. V. 26. P. 655–662. DOI: 10.1002/aoc.2928.
4. Cunha R.L.O.R., Gouvea I.E., Juliano L. A glimpse on biological activities of tellurium compounds. Annals of the Brazilian Academy of Sciences. 2009. Vol. 81. P. 393–407.
5. Ba L.A., Döring M., Jamier V., Jacob C. Tellurium: an element with great biological potency and potential. Organic & Biomolecular Chemistry. 2010. Vol. 8. P. 4203–4216. DOI: 10.1039/c0Ob00086h.
6. Tiekink E.R.T. Therapeutic potential of selenium and tellurium compounds: Opportunities yet unrealised. Dalton Transactions. 2012. Vol. 41. P. 6390–6395. DOI: 10.1039/C2DT12225A.
7. Alberto E.E., do Nascimento V., Braga A.L. Catalytic Application of Selenium and Tellurium Compounds as Glutathione Peroxidase Enzyme Mimetics. Journal of Brazilian Chemical Society. 2010. Vol. 21. P. 2032–2041. DOI: 10.1590/S0103-50532010001100004.
8. Tanini D., Grechi A., Ricci L., Dei S., Teodorib E., Capperucci A. Novel functionalized organotellurides with enhanced thiol peroxidase catalytic activity. New Journal of Chemistry. 2018. Vol. 42. P. 6077–6083. DOI: 10.1039/C8NJ00700D.
9. Потапов В.А., Мусалова М.В., Мусалов М.В., Амосова С.В. Региоселективная реакция тетрабромида теллура с 1-гексеном и метанолом // Журнал органической химии. 2013. Т. 49. № 11. С. 1719–1720.
10. Potapov V.A., Musalova M.V., Musalov M.V., Amosova S.V. Regioselective reaction of tellurium tetrabromide with 1-hexene and methanol // Russian Journal of Organic Chemistry. 2013. Vol. 49. № 11. P. 1703–1704 (in Russian).
11. Мусалова М.В., Мусалов М.В., Потапов В.А., Амосова С.В. Синтез 2-(трихлор- $\lambda^4$ -телланилметил)тетрагидро-2H-пирана и бис(тетрагидро-2H-пиран-2-илметил)дителлурида // Журнал органической химии. 2015. Т. 51. № 12. С. 1838–1839.
12. Musalova M.V., Musalov M.V., Potapov V.A., Amosova S.V. Synthesis of 2-(Trichloro- $\lambda^4$ -tellanyl)methyltetrahydro-2H-pyran and Bis(tetrahydro-2H-pyran-2-ylmethyl) Ditetelluride // Russian Journal of Organic Chemistry. 2015. Vol. 51. № 12. P. 1805–1806 (in Russian).
13. Мусалов М.В., Ишигеев Р.С., Удалова С.И., Мусалова М.В., Куркутов Е.О., Хабибулина А.Г., Албанов А.И., Потапов В.А., Амосова С.В. Синтез конденсированных соединений на основе хлоридов халькогенов и 2-аллилфенолов // Журнал органической химии. 2018. Т. 54. № 7. P. 1031–1035.
14. Musalov M.V., Ishigeev R.S., Udalova S.I., Musalova M.V., Kurkutov E.O., Khabibulina A.G., Albanov A.I., Potapov V.A., Amosova S.V. Synthesis of Fused Compounds on the Basis of Chalcogen Chlorides and 2-Allylphenols // Russian Journal of Organic Chemistry. 2018. Vol. 54. № 7. P. 1035–1040 (in Russian).

УДК 631.452:631.862(571.13)

## ИЗМЕНЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПЛОДОРОДИЯ ЛУГОВО-ЧЕРНОЗЕМНОЙ ПОЧВЫ ОМСКОГО ПРИИРТЫШЬЯ В УСЛОВИЯХ ПРИМЕНЕНИЯ СВИНОГО НАВОЗА

**Азаренко Ю.А., Алексеева Ж.Л.***ФГБОУ ВО «Омский государственный аграрный университет имени П.А. Столыпина», Омск,  
e-mail: yua.azarenko@omgau.org*

В полевых опытах на лугово-черноземной очень маломощной слабогумусированной почве изучалось действие и последствие твердой фракции свиного навоза на некоторые показатели плодородия: содержание гумуса, его фракционно-групповой состав, содержание обменно-поглощенных катионов, реакцию среды, структурное состояние. Выявлено положительное влияние навоза в год действия и первый год последействия на гумусное состояние почвы. При действии и последействии навоза содержание гумуса увеличилось с 2,0–2,06% на контроле до 2,11–2,15% в вариантах с дозой удобрения 20 т/га и до 2,64–2,67% с дозой 60 т/га. Запасы гумуса в слое 0–20 см возросли до 60,7–61,4 т/га при максимальной дозе удобрения по сравнению с исходным запасом гумуса 46,0–47,4 т/га. В качественном составе гумуса почвы отмечено увеличение доли гуминовых кислот под действием навоза за счет их лабильной фракции на 73–97% и фракции, связанной с устойчивыми полуторными оксидами и глинистыми минералами, на 18–46%. В год действия навоза соотношение углерода гуминовых и фульвокислот (Сгк/Сфк) увеличилось от 1,64 до 2,15–2,18. Существенных изменений состава обменно-поглощенных катионов и реакции среды под действием навоза не выявлено, однако наблюдалась тенденция к увеличению суммы поглощенных оснований. Навоз не оказал положительное влияние на структурно-агрегатный состав лугово-черноземной почвы. Статистически значимое увеличение количества водопрочных агрегатов почвы, как в период действия, так и в годы последействия твердой фракции навоза наблюдалось только при его дозе 60 т/га.

**Ключевые слова:** лугово-черноземная почва, Омское Прииртышье, свиной навоз, гумус, физико-химические свойства, структура почвы

## CHANGES IN FERTILITY INDICATORS OF MEADOW CHERNOZEMIC SOILS OF OMSK IRTYSH REGION IN CONDITIONS OF PIG MANURE APPLICATION

**Azarenko Yu.A., Alekseeva Zh.L.***Higher Education Omsk State Agrarian University named after P.A. Stolypin,  
Omsk, e-mail: yua.azarenko@omgau.org*

In field experiments on meadow-chernozemic very low-power weakly-humus soil, the effect and consequences of the solid fraction of pig manure on some fertility indicators were studied: humus content, its fractional group composition, content of exchange-absorbed cations, soil reaction, structural state. The positive effect of manure was revealed in the year of action and the first year of aftereffect on the humus state of the soil. Under the action and consequences of manure, the content of humus increased from 2.0–2.06% on control to 2.11–2.15% in variants with a fertilizer dose of 20 t/hectare and to 2.64–2.67% with a dose of 60 t/hectare. The humus reserves in the 0–20 cm layer increased to 60.7–61.4 t/ha with the maximum dose of fertilizer as compared with the initial humus reserve of 46.0–47.4 t/hectare. In the qualitative composition of soil humus, an increase in the proportion of humic acids under the action of manure due to their labile fraction by 73–97% and the fraction associated with stable sesquioxides and clay minerals by 18–46% was noted. In the year of manure, the ratio of carbon humic and fulvic acids (Cha/Cfa) increased from 1.64 to 2.15–2.18. Significant changes in the composition of the exchange-absorbed cations and the reaction of the soil under the action of manure were not detected, however, there was a tendency to an increase in amount of absorbed bases. Manure did not have a positive effect on the structural-aggregate composition of the meadow-chernozemic soil. A statistically significant increase in the number of water-resistant aggregates of the soil, both in the period of action and in the years of consequence of the solid fraction of manure, was observed only at its dose of 60 t/hectare.

**Keywords:** meadow-chernozemic soil, Omsk Irtysh region, pig manure, humus, physical and chemical properties, structure of soil

Проблема сохранения плодородия пахотных почв в современных условиях не теряет своей актуальности. Интенсивное агрогенное воздействие на почвы без применения мер по сохранению их плодородия приводит к ухудшению баланса элементов питания, гумуса, физико-химических и водно-физических свойств. Так, по данным агрохимической службы Омской области за период с 1990 по 2015 г. средневзвешенное содержание гумуса в почвах региона уменьшилось

с 5,34 до 5,0%. При среднем уровне применения минеральных удобрений 2,2 кг/га и органических 0,8 т/га пашни сохраняется отрицательный баланс азота, фосфора и калия [1]. В этих условиях возрастает роль использования в земледелии биологических ресурсов, в том числе органических удобрений [2]. В настоящее время в регионе работает ряд крупных животноводческих комплексов по производству свинины. Внедрение на производстве современных

технологий разделения навоза на жидкую и твердую фракции, систем подготовки, хранения и внесения в почву позволяет повысить продуктивность сельскохозяйственных культур с соблюдением природоохранных требований.

Значение свиного навоза как средства повышения урожайности сельскохозяйственных культур показано в разных регионах страны [3, 4], в том числе в Омской области [5, 6]. В то же время исследований по изменению параметров плодородия почв региона проведено недостаточно. Целью наших исследований являлось изучение действия твердой фракции свиного навоза на показатели почвенного плодородия лугово-черноземной почвы: содержание и состав гумуса, физико-химические свойства, структурное состояние.

#### Материалы и методы исследования

Исследования проводили в 2016–2018 гг. в полевых опытах, заложенных на опытном поле Омского ГАУ. Территория г. Омска относится к подзоне южной лесостепи. В геоморфологическом отношении опытный участок расположен на равнинной поверхности второй надпойменной террасы реки Иртыш, сложенной аллювиальными отложениями.

Объектом исследования была лугово-черноземная очень маломощная слабогумусированная среднесуглинистая почва (по классификации почв России 2004 г. агро-чернозем квазиглееватый среднепахотный среднесуглинистый). По степени эродированности почва является среднесмытой за счет процессов плоскостного смыва.

Опыты закладывали в 2016 и 2017 гг. в непосредственной близости на одной почвенной разности. Использовали твердую фракцию навоза свиноводческого комплекса ООО «РУСКОМ-Агро» Кормиловского района в дозах 20, 30, 40, 50, 60 т/га при его естественной влажности. В статье приводятся данные по влиянию минимальной и максимальной доз навоза на свойства почвы. Навоз вносили весной до посева с последующей заделкой под вспашку на глубину 20 см. Химический состав навоза при естественной влажности: N – 0,57–0,59%, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> – 1,08–1,13%, K<sub>2</sub>O – 0,14–0,21%, содержание органического вещества 81,2–82,1%, pH 7,4–8,0, влажность 73,6–73,7%. Возделываемая культура – пшеница сорта «Элемент-22». Площадь деланки 18 м<sup>2</sup>, повторность трехкратная. Почвенные пробы отбирали после уборки пшеницы буром на глубину 0–20 см. В пробах почвы определя-

ли содержание гумуса по И.В. Тюрину в модификации В.Н. Симанова с дополнениями Б.А. Никитина; групповой и фракционный состав гумуса – по И.В. Тюрину в модификации В.В. Пономаревой и Т.А. Плотниковой; pH водной суспензии потенциометрическим методом. Обменно-поглощенные катионы вытесняли 1М CH<sub>3</sub>COONH<sub>4</sub> с последующим определением кальция и магния трилонометрическим методом, натрия на пламенном фотометре. Анализ структурно-агрегатного состава почвы проводили по Н.И. Савинову, водопрочность воздушно-сухих структурных агрегатов размером 3–5 мм по П.И. Андрианову в модификации Н.А. Качинского.

#### Результаты исследования и их обсуждение

Одним из основных показателей плодородия почвы является содержание и качественный состав гумуса. Исследованная лугово-черноземная почва имела низкое его содержание, связанное с воздействием процессов плоскостного смыва, а также с ее длительным сельскохозяйственным использованием (табл. 1).

Запасы гумуса в слое 0–20 см почвы оценивались как очень низкие. Применение органического удобрения в год действия вызвало увеличение содержания гумуса и его запасов в почве на 7,5% при дозе 20 т/га и на 33,5% в варианте с дозой 60 т/га. В первый год последействия навоза более высокий уровень содержания гумуса в пахотном слое почвы (на 28,5% по сравнению с контролем) сохранялся только при максимальной дозе удобрения. Увеличение количества гумусовых веществ в почве при внесении навоза связано с высоким содержанием в нем углеродсодержащих органических веществ, в том числе частично гумифицированных. На второй год последствия статистически достоверных различий в содержании гумуса между вариантами не наблюдалось при сохранении тенденции к его увеличению в варианте с дозой 60 т/га.

Лугово-черноземная почва характеризовалась фульватно-гуматным типом гумуса (табл. 2).

Среди гуминовых кислот преобладала фракция (ГК2), связанная с кальцием (30,76% общего углерода и 57,1% общей суммы ГК). Доля гуминовых кислот, прочно связанных с глинистыми минералами и устойчивыми полуторными оксидами (фракция ГК3), была меньше: 15,7% от общего содержания углерода. На долю фракции ГК1 (свободная и связанная с подвижными полуторными

оксидами) приходилось всего 7,4% углерода. Между тем именно эта фракция играет наиболее важную роль в питании растений. Среди ФК количество «агрессивных» фульвокислот (ФК1а) занимало 14,7% их общей суммы. Содержание остальных фракций этой группы кислот распределилось приблизительно в равных долях.

Действие свиного навоза за вегетационный период вызвало определенные изменения фракционно-группового состава гумуса почвы. В вариантах с удобрением увеличилось содержание углерода гуминовых кислот, среди которых доля свободных кислот возросла на 73-97% по сравнению с контролем и достигла 14,6% от общего содержания углерода. Увеличение содержания фракций ГКЗ, связанных с устойчивыми полуторными оксидами и глинистыми минералами, достигало 18–46%. Степень гумификации органического вещества по

всем вариантам опыта была очень высокая. В составе ФК было отмечено снижение содержания фракций ФК1 и ФК3 и увеличение доли ФК, связанных с фракцией ГК2, т.е. связанных с кальцием. Общее содержание углерода ФК в почве под действием навоза существенно не изменилось. В вариантах с внесением свиного навоза отмечалось увеличение соотношения Сгк/Сфк до 2,15–2,18 и изменение типа гумуса от фульватно-гуматного до гуматного.

В год последствия удобрения сохранялось не только более высокое содержание углерода в почве, но и более высокое содержание лабильной фракции ГК-1 (табл. 2). Повышение содержания гуминовых кислот и снижение доли фульвокислот при заметном изменении соотношения Сгк/Сфк в сторону его расширения наблюдалось в опытах на лугово-черноземной почве с длительным применением навоза крупного рогатого скота [2].

Таблица 1

Содержание и запасы гумуса в слое 0–20 см лугово-черноземной почвы в условиях применения твердой фракции свиного навоза (опыт 1)

| Вариант                      | Гумус, %    | Оценка содержания гумуса | Запасы гумуса в слое 0–20 см, т/га | Оценка запасов гумуса |
|------------------------------|-------------|--------------------------|------------------------------------|-----------------------|
| 1-й год действия, 2016 г.    |             |                          |                                    |                       |
| Контроль                     | 2,00 ± 0,03 | низкое                   | 46,0 ± 0,19                        | очень низкие          |
| Навоз 20 т/га                | 2,14 ± 0,01 | низкое                   | 49,2 ± 0,27                        | очень низкие          |
| Навоз 60 т/га                | 2,67 ± 0,01 | низкое                   | 61,4 ± 0,30                        | низкие                |
| 1-й год последствия, 2017 г. |             |                          |                                    |                       |
| Контроль                     | 2,06 ± 0,04 | низкое                   | 47,4 ± 0,89                        | очень низкие          |
| Навоз 20 т/га                | 2,11 ± 0,04 | низкое                   | 48,5 ± 0,75                        | очень низкие          |
| Навоз 60 т/га                | 2,64 ± 0,07 | низкое                   | 60,7 ± 1,68                        | низкие                |
| 2-й год последствия, 2018 г. |             |                          |                                    |                       |
| Контроль                     | 2,10 ± 0,04 | низкое                   | 48,4 ± 0,84                        | очень низкие          |
| Навоз 20 т/га                | 2,09 ± 0,08 | низкое                   | 48,0 ± 1,93                        | очень низкие          |
| Навоз 60 т/га                | 2,45 ± 0,02 | низкое                   | 56,3 ± 0,41                        | низкие                |

Примечание. Плотность почвы в слое 0–20 см 1,15 г/см<sup>3</sup>. Величина НСР<sub>05</sub> для содержания гумуса в 2016 г. 0,13%, в 2017 и 2018 гг. 0,41%.

Таблица 2

Групповой состав гумуса в слое 0–20 см лугово-черноземной почвы в условиях применения твердой фракции свиного навоза (опыт 1)

| Вариант       | 1 год действия, 2016 г. |                       |      |         | 1 год последействия, 2017 г. |                              |
|---------------|-------------------------|-----------------------|------|---------|------------------------------|------------------------------|
|               | С <sub>общ</sub> , %*   | Сгк                   | Сфк  | Сгк/Сфк | С <sub>общ</sub> * почвы, %  | Сгк-1, % от С <sub>общ</sub> |
|               |                         | % от С <sub>общ</sub> |      |         |                              |                              |
| Контроль      | 1,16                    | 53,9                  | 32,8 | 1,64    | 1,19                         | 4,3                          |
| Навоз 20 т/га | 1,24                    | 62,9                  | 28,9 | 2,18    | 1,22                         | 10,6                         |
| Навоз 60 т/га | 1,55                    | 64,5                  | 30,0 | 2,15    | 1,53                         | 10,4                         |

Примечание. Сгк – углерод гуминовых, Сфк – углерод фульвокислот; \* – от массы почвы.



Таблица 3

Физико-химические свойства слоя 0–20 см лугово-черноземной почвы в условиях применения твердой фракции свиного навоза (2017 г.)

| Вариант                               | рН   | Ca <sup>2+</sup> |      | Mg <sup>2+</sup> |      | Na <sup>+</sup> |      | S*,<br>ммоль/100 г |
|---------------------------------------|------|------------------|------|------------------|------|-----------------|------|--------------------|
|                                       |      | ммоль/100 г      | %    | ммоль/100 г      | %    | ммоль/ 100 г    | %    |                    |
| 1-й год действия навоза (опыт 2)      |      |                  |      |                  |      |                 |      |                    |
| Контроль                              | 6,38 | 9,58             | 52,6 | 7,92             | 43,5 | 0,70            | 3,84 | 18,2               |
| 20 т/га                               | 6,35 | 11,7             | 57,9 | 8,03             | 39,8 | 0,46            | 2,28 | 20,2               |
| 60 т/га                               | 6,48 | 10,4             | 48,8 | 10,4             | 48,8 | 0,45            | 2,11 | 21,3               |
| 1-й год последействия навоза (опыт 1) |      |                  |      |                  |      |                 |      |                    |
| Контроль                              | 6,71 | 9,60             | 52,7 | 7,90             | 43,4 | 0,71            | 3,90 | 18,2               |
| 20 т/га                               | 6,65 | 10,0             | 51,8 | 8,75             | 45,3 | 0,48            | 2,49 | 19,3               |
| 60 т/га                               | 6,47 | 10,8             | 53,7 | 8,75             | 43,5 | 0,48            | 2,39 | 20,1               |

Примечание. \* – сумма поглощенных оснований. НСР<sub>05</sub> для Ca<sup>2+</sup> в год действия 1,46, в год последействия 1,47 ммоль/100 г, для Mg<sup>2+</sup> 2,95 и 2,91 ммоль/100 г.

Таблица 4

Показатели структурного состояния пахотного слоя лугово-черноземной почвы (опыт 1)

| Вариант                               | K <sub>агр</sub> | Количество агрономически ценных агрегатов, % | K <sub>стр</sub> | Количество водопрочных агрегатов, % |
|---------------------------------------|------------------|----------------------------------------------|------------------|-------------------------------------|
| 2016 г., 1-й год действия навоза      |                  |                                              |                  |                                     |
| Контроль                              | 67,4             | 57,7                                         | 1,36             | 10,0 ± 1,63                         |
| Навоз 20 т/га                         | 66,6             | 56,6                                         | 1,30             | 12,7 ± 0,67                         |
| Навоз 60 т/га                         | 76,0             | 46,2                                         | 0,86             | 16,7 ± 2,40                         |
| 2017 г., 1-й год последействия навоза |                  |                                              |                  |                                     |
| Контроль                              | 84,0             | 45,4                                         | 0,80             | 22,5 ± 1,44                         |
| Навоз 20 т/га                         | 82,9             | 48,4                                         | 0,90             | 26,7 ± 5,46                         |
| Навоз 60 т/га                         | 82,2             | 44,3                                         | 0,80             | 33,3 ± 3,31                         |
| 2018 г., 2-й год последействия навоза |                  |                                              |                  |                                     |
| Контроль                              | 91,0             | 43,4                                         | 0,77             | 10,0 ± 2,89                         |
| Навоз 20 т/га                         | 93,6             | 30,6                                         | 0,44             | 10,8 ± 0,83                         |
| Навоз 60 т/га                         | 92,6             | 42,0                                         | 0,72             | 25,0 ± 3,82                         |

Примечание. K<sub>агр</sub> – коэффициент агрегированности, рассчитан как сумма агрегатов > 0,50 мм; K<sub>стр</sub> – коэффициент структурности, рассчитан как отношение агрономически ценных агрегатов 0,25–10 мм к сумме агрегатов < 0,25 мм и > 10 мм. Величина НСР<sub>05</sub> для количества водопрочных агрегатов в 2016 г. 6,33 %, в 2017 г. 8,67 %, в 2018 г. 9,46 %.

Одними из показателей плодородия почвы являются состав и количество обменно-поглощенных катионов, а также реакция среды. Почва контрольного варианта имела сравнительно небольшую величину суммы обменных катионов (18,2 ммоль/100 г), связанную с низким содержанием гумуса и среднесуглинистым гранулометрическим составом (табл. 3).

Соотношение обменно-поглощенных катионов с агроэкологической точки зрения не являлось оптимальным. При низком содержании обменного кальция в почве (52,6–52,7 % суммы катионов) наблюдалось

повышенное количество магния, на долю которого приходится 43,4–43,5 %.

Применение навоза не вызвало существенных изменений состава и соотношения обменно-поглощенных катионов почвы. Однако четко наметилась тенденция к увеличению их суммы на 10,4–17,0 % по отношению к контрольному варианту. Реакция среды в пахотном слое лугово-черноземной почвы в контрольных вариантах изменялась от слабокислой до близкой к нейтральной. Применение органического удобрения не повлияло существенно на величину рН водной суспензии. Даже при

внесении навоза с рН 8,0 в 2017 г. не отмечено подщелачивания почвы.

Одним из важнейших свойств почвы, определяющим физические и физико-механические свойства, воздушный, водный режимы и в целом ее плодородие, является структура. Пахотный слой лугово-черноземной почвы морфологически характеризовался пылевато-глыбисто-комковатой структурой, характерной для длительно используемых в пашне почв. Почва опытного участка имеет неблагоприятное структурное состояние в связи с низким содержанием органического вещества и лабильных фракций гуминовых кислот, обменно-поглощенного кальция и его неблагоприятным соотношением с магнием, воздействием эрозийных процессов, ежегодными механическими обработками. По количеству агрегатов с размером более 0,5 мм почва имеет среднюю и хорошую степень агрегированности. Однако значительная их доля входит в состав фракций с размером > 10 мм (44,3–53,6%) и < 0,25 мм (10,3–14,8%). В соответствии с этим количество агрономически ценных по размерам агрегатов в почве контрольных вариантов было небольшим, но оценивалось как удовлетворительное (табл. 4).

Навоз оказывал неустойчивое влияние на структуру почвы. Так, в опыте 1 в год действия отмечалось снижение количества агрономически ценных агрегатов и величины коэффициента структурности за счет увеличения глыбистых агрегатов (табл. 4). В то же время в опыте 2 в период действия, напротив, было установлено увеличение коэффициента структурности с 0,46 на контроле до 1,20–0,70 в вариантах с навозом, уменьшение содержания фракции агрегатов > 10 мм и увеличение количества мезоагрегатов размером 3–5 мм. При последствии навоза существенных изменений структурно-агрегатного состава почвы не было выявлено.

Количество водопрочных агрегатов размером 3–5 мм в пахотном слое почвы контрольных вариантов в разные годы изменялось от 10,0 до 22,5% и оценивалось как низкое. Действие навоза в дозе 60 т/га привело к существенному увеличению их доли на 67,0%, однако водопрочность структуры оставалась неудовлетворительной. В годы последствия органического удобрения его положительное существенное влияние на количество устойчивых к воздействию воды агрегатов, также сохранялось только при дозе навоза 60 т/га. Следует отметить, что формирование структуры почвы яв-

ляется длительным процессом, происходящим под действием комплекса механических, физико-химических, химических и биологических факторов. Для улучшения структурного состояния почвы требуется не одноразовое, а систематическое применение органических удобрений в сочетании с рациональной системой обработки почвы и севооборотом.

### Заключение

Таким образом, проведенные исследования свидетельствуют о положительном влиянии твердой фракции свиного навоза на показатели эффективного плодородия лугово-черноземной очень маломощной слабогумусированной среднесмытой почвы. Применение навоза в дозах 20 и 60 т/га вызвало улучшение гумусного состояния почвы в период его действия и первый год последствия. Содержание и запасы гумуса в год действия удобрения существенно увеличивались на 7,5 и 33,5% соответственно дозам, в первый год последствия – на 28,0% в варианте с дозой навоза 60 т/га. В составе гумуса произошло увеличение содержания гуминовых кислот и их лабильной фракции, участвующей в питании растений, на 73–97% в год действия навоза и до 2,5 раз в первый год последствия. Действие свиного навоза способствовало увеличению соотношения  $S_{гк}/S_{фк}$  от 1,64 до 2,15–2,18 и изменению типа гумуса от фульватно-гуматного до гуматного. Состав обменно-поглощенных катионов и реакция среды в условиях применения навоза отличались большей стабильностью, при этом наблюдалась тенденция возрастания величины суммы поглощенных оснований. Увеличение количества водопрочных агрегатов в год действия и два года последствия навоза наблюдалось только при его максимальной дозе. В целом наиболее значимое влияние на гумусное состояние и водопрочность структуры лугово-черноземной почвы оказала доза твердой фракции свиного навоза 60 т/га.

### Список литературы / References

1. Красницкий В.М., Шмидт А.Г. Динамика плодородия пахотных почв Омской области и эффективность использования средств его повышения в современных условиях // Достижения науки и техники АПК. 2016. Т. 30. № 7. С. 34–37.
2. Krasnitsky V.M., Schmidt A.G. Dynamics of fertility of arable soils in Omsk region and efficiency of use of means for its increase under modern conditions // Achievements of science and technology in Agro-Industrial Complex. 2016. V. 30. № 7. P. 34–37 (in Russian).
3. Воронкова Н.А. Биологические ресурсы и их значение в сохранении почвенного плодородия и повышении про-

дуктивности агроценозов Западной Сибири: монография. Омск: Изд-во ОмГТУ, 2014. 188 с.

Voronkova N.A. Biological resources and their importance in preserving soil fertility and increasing the productivity of agroecosystems in Western Siberia: monograph. Omsk: Omsk State Technical University Publishing House, 2014. 188 p. (in Russian).

3. Бабенко М.В. Влияние отдельных фракций свиного навоза на продуктивность зернотравяного звена севооборота и плодородие дерново-подзолистой супесчаной почвы: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. Москва, 2016. 21 с.

Babenko M.V. The influence of individual fractions of pig manure on the productivity of the grain-grass link of crop rotation and fertility of sod-podzolic sandy loam soil: avtoref. dis. ... cand. s.-h. sciences. Moscow, 2016. 21 p. (in Russian).

4. Мерзлая Г.Е., Щеголева И.В., Леонов М.В. Использование свиного навоза для удобрения сельскохозяйственных культур // Перспективное свиноводство: теория и практика. 2012. № 5 [Электронный ресурс]. URL: [https://elibrary.ru/download/elibrary\\_18306890\\_59539773.pdf](https://elibrary.ru/download/elibrary_18306890_59539773.pdf) (дата обращения: 19.12.2018).

Merzlaya G.Ye., Schegoleva I.V., Leonov M.V. The use of pig manure for fertilizing crops // Perspective pig breeding: theory and practice. 2012. № 5 [Electronic resource]. URL: [https://elibrary.ru/download/elibrary\\_18306890\\_59539773.pdf](https://elibrary.ru/download/elibrary_18306890_59539773.pdf) (date of access: 19.12.2018) (in Russian).

5. Баранова Е.В., Шуманева М.В. Влияние твердых органических удобрений на продуктивность яровой пшеницы и плодородие лугово-черноземной почвы Омской области // Электронный научно-методический журнал Омского ГАУ. 2017. № 2 (9) [Электронный ресурс]. URL: <http://e-journal.omgau.ru/images/issues/2017/2/00333.pdf> (дата обращения: 19.12.2018).

Baranova E.V., Shumaneva M.V. The Effect of solid organic fertilizers on the productivity of spring wheat and the fertility of meadow-chernozem soil of Omsk Region // Electronic scientific and methodical journal of the Omsk State Agrarian University. 2017. № 2 (9) [Electronic resource]. URL: <http://e-journal.omgau.ru/images/issues/2017/2/00333.pdf> (date of access: 19.12.2018) (in Russian).

6. Щербина Н.И., Филиппов А.В. Оптимизация применения свиного бесподстилочного навоза при выращивании ярового ячменя на лугово-черноземной почве // Электронный научно-методический журнал Омского ГАУ. 2017. № 2 (9) [Электронный ресурс]. URL: <http://e-journal.omgau.ru/images/issues/2017/2/00361.pdf> (дата обращения: 19.12.2018).

Scherbina N.I., Filippov A.V. Optimization of application of liquid swine manure in the cultivation of spring barley on meadow-chernozem soil // Electronic Scientific Methodological Journal of Omsk State Agrarian University. 2017. № 2 (9) [Electronic resource]. URL: <http://e-journal.omgau.ru/images/issues/2017/2/00361.pdf> (date of access: 19.12.2018) (in Russian).

УДК 633.111.1«324»:631.58:631.81(470.314)

## ОПЫТ ТЕСТИРОВАНИЯ СТАБИЛЬНОСТИ РАЗВИТИЯ ПШЕНИЦЫ В АГРОЦЕНОЗАХ ВЛАДИМИРСКОГО ОПОЛЯ

<sup>1</sup>Баранов С.Г., <sup>2</sup>Бибик Т.С., <sup>2</sup>Винокуров И.Ю.

<sup>1</sup>ФГБОУ ВПО «Владимирский государственный университет им. А.Г. и Н.Г. Столетовых»,  
Владимир, e-mail: bar.serg58@gmail.com;

<sup>2</sup>ФГБНУ «Верхневолжский федеральный научный центр», п. Новый, Владимирская обл.,  
e-mail: tabibik@yandex.ru

Стабильность развития – генотипическое и фенотипическое свойство популяции, отражающее уровень гомеостаза популяции на молекулярном уровне и определяемое с помощью показателя флуктуирующей асимметрии (ФА), как незначительного и ненаправленного отклонения от строгой симметрии в билатеральных признаках. Для культурных растений характерна селекционная чистота генотипа, которая способствует более точному определению индекса ФА как ответной реакции на стресс. Целью работы было тестирование величины ФА листовых пластин озимой пшеницы (сорт «Поэма») в зависимости от различных доз минеральных и органоминеральных удобрений. Работа проводилась на серых лесных почвах Владимирского Ополья Суздальского района в 2018 г. Признаком для измерения служила максимальная ширина верхнего флагового листа. Индекс ФА определялся по формуле нормирующей разности. Предварительно величина разности между левым и правым значениями признаков была проверена на нормальность распределения, а также на присутствие направленной асимметрии и антисимметрии. На повышение ФА влияла высокоинтенсивная доза удобрения ( $N_{120}P_{120}K_{120}$ ). Меньшая доза ( $N_{90}P_{90}K_{90}$ ) в смеси с органическим удобрением не вызывала такого эффекта. Таким образом, высокоинтенсивная доза  $N_{120}P_{120}K_{120}$  означала стресс-фактор, снижавший стабильность развития пшеницы. Интенсивный режим органоминерального удобрения, который показал оптимальный уровень стабильности развития, представляет интерес при разработках агротехнологии озимой пшеницы. Длина листа также антибатно изменялась в зависимости от доз удобрения (минимум ФА – максимум длины листовой пластины, и наоборот), что свидетельствовало о связи стабильности развития с особенностями вегетативной фазы развития пшеницы.

**Ключевые слова:** стабильность развития, флуктуирующая асимметрия, озимая пшеница

## WHEAT TESTING DEVELOPMENTAL STABILITY MEASUREMENT TEST IN AGROCENOSIS OF VLADIMIR HIGH PLAIN

<sup>1</sup>Baranov S.G., <sup>2</sup>Bibik T.S., <sup>2</sup>Vinokurov I.Yu.

<sup>1</sup>Vladimir State University named after A.G. and N.G. Stoletov, Vladimir, e-mail: bar.serg58@gmail.com;

<sup>2</sup>Federal State Budgetary Scientific Institution «The Upper Volga Federal Agricultural Research Centre»,  
Noviy, Vladimir region, e-mail: tabibik@yandex.ru

Development stability is a genotypic and phenotypic property of a population, reflecting the level of population homeostasis at the molecular level and it's determined using the fluctuating asymmetry index (FA), as a slight and undirected deviation from strict symmetry in bilateral traits. Cultivated plants are characterized by the breeding purity of the genotype, which allows to perform a more accurate testing of the FA index as a measure of stress. The aim of the work was to test the FA value of leaf plates of winter wheat («Poem» variety) depending on various doses of mineral and organic fertilizers. The work was carried out on the gray forest soils of the Vladimir High Plain of the Suzdal region in 2018. A sign to measure was the maximum width of the upper flag leaf. The FA index was determined by the formula of the normalizing difference. Previously, the magnitude of the difference between the left and right values of the trait was checked for normal distribution, as well as for the presence of directional asymmetry and antisymmetry. A high-intensity dose of fertilizer ( $N_{120}P_{120}K_{120}$ ) influenced the increase in FA. A smaller dose ( $N_{90}P_{90}K_{90}$ ) mixed with organic fertilizer did not cause this effect. Thus, the high-intensity dose of  $N_{120}P_{120}K_{120}$  became a stress factor reducing the wheat developmental stability. The intensive regime of organic fertilizer, which showed the optimal level of developmental stability, is of interest in the winter wheat agricultural technology development. The length of the leaf also changed in antipathic way depending on the doses of fertilizer (the minimum of FA is the maximum of the length of the leaf plate, and vice versa), which indicated the relationship of developmental stability with the characteristics of the vegetative phase of wheat development.

**Keywords:** developmental stability, fluctuating asymmetry, winter wheat

Флуктуирующая асимметрия (ФА) характеризуется статистически значимым ненаправленным отклонением от строгой билатеральной симметрии парных симметричных признаков. У растений ими являются проводящие сосуды в листовой пластине, мерные расстояния между различными элементами листовой пластины, а также количественные

признаки, например зубчики на обеих сторонах пластины. По мнению многих авторов, величина ФА отражает стабильность развития как гомеостатическую характеристику популяции, в том числе на биохимическом молекулярном уровне [1].

Под стабильностью развития понимают способность организма к нейтрализа-

ции внешних и внутренних стрессовых факторов с последующей реализацией фенотипических свойств. Несмотря на противоречивость мнений, стабильность развития на основе величины ФА продолжает оставаться интересной популяционной характеристикой, объединяющей свойства генотипа и его реакции на факторы внешней среды [2–4]. Среди генетических механизмов причину ФА рассматривают в эпистатических взаимодействиях генов и в повышенной гетерозиготности. Среди эпигенетических реакций предполагается метилирование нуклеотидов в генах, ответственных за синтез регуляторных протеинов. Неослабевающий интерес к ФА привел к обновлению классификации изменчивости, как общебиологического свойства. По одной из классификаций, этот вид асимметрии относят к специальной форме изменчивости – флуктуационной, обусловленной стохастическими (неопределенными) процессами на молекулярном уровне [5].

В отношении сельскохозяйственных культур, исходя из основной цели – их урожайности, выделяют устойчивость геосистем (агроэкосистем), в которую вкладывается смысл активного противодействия внешним воздействиям или возмущениям. Таким образом, стабильность развития популяции и устойчивость агроэкосистемы – это два различных понятия, при этом первое (стабильность развития) скорее категория меньшего иерархического уровня, тем не менее влияющая на устойчивость агроэкосистемы [6]. Среди многих возникающих вопросов выделим один из них: способствуют ли аграрные технологии более стабильному развитию, наряду с достаточно высокой продуктивностью и сохранением почвенных ресурсов?

В сельском хозяйстве агроландшафтное районирование подразумевает создание и поддержание экологически устойчивых агроэкосистем, в то время как в экологических исследованиях накоплено много материала в области стабильности развития дикорастущих, главным образом древесных растений, как биоиндикаторов стресса. Существует устойчивое мнение о том, что повышение значения флуктуирующей асимметрии сообщает о снижении стабильности развития, хотя многочисленные исследования растений, в том числе культурных, указывают на отсутствие связи между уровнем стабильности развития и жизнеспособностью и сельскохозяйственной продуктивностью. Так, многофакторный анализ зна-

чения ФА в градиенте источника стресса показал, что лишь некоторые виды стресса вызывают ответную реакцию дикорастущего растения в виде повышения ФА [3, 4]. Вместе с тем культурные растения обладают высоким преимуществом в чистоте генотипа и гомозиготности, и служат удобным материалом для проведения исследований по влиянию стресса на величину флуктуирующей асимметрии.

Цель исследования: определение ФА листовых пластин культурных растений и соотношение показателей ФА с урожайностью и стрессоустойчивостью к абиотическим и биотическим факторам представляется перспективным теоретическим и практическим направлением. Цель данного исследования – попытка определения величины флуктуирующей асимметрии листовых пластин озимой пшеницы, в зависимости от дозы внесения принятых в севооборотах доз удобрения. Одновременно определялись биопродуктивные показатели: длина листовой пластины и урожайность пшеницы в зависимости от дозы удобрения.

#### Материалы и методы исследования

Работа выполнялась в 2018 г. на опытном участке «Верхневолжского ФАНЦ» и являлась частью эксперимента, проводимого с 1996 г. на почвах Владимирского Ополья. Исследования проводятся в четвертой ротации шестипольных севооборотов на серой лесной среднесуглинистой почве. Опыт расположен на плакорной части равнинного рельефа с небольшим уклоном северо-западной экспозиции (около одного градуса).

Были использованы 4 уровня интенсивности внесения удобрений:

- 1) интенсивный минеральный ( $N_{90}P_{90}K_{90}$ );
- 2) высокоинтенсивный минеральный ( $N_{120}P_{120}K_{120}$ );
- 3) интенсивный органоминеральный (60 т навоза +  $N_{90}P_{90}K_{90}$ );
- 4) высокоинтенсивный органоминеральный (80 т навоза +  $N_{120}P_{120}K_{120}$ ).

С каждой экспериментальной площадки площадью 35 м<sup>2</sup> в третьей декаде июня были рандомно отобраны 20–25 экземпляров растений, с каждого растения с пяти – семи стеблей были отобраны наиболее крупные флаговые листовые пластины. Отбраковывались наиболее мелкие пластины, так как по принятым нормам флуктуирующая асимметрия тестируется у полностью сформированных вегетативных органов. Количество образцов пластин с каждой площадки было от 100 до 150. Использовался



один билатерально-симметричный признак: наибольшая ширина листовой пластины. В левой и правой половине этот признак может располагаться не на одной линии, поэтому находился радиус наибольшей кривизны левого и правого края листовой пластины (рис. 1).

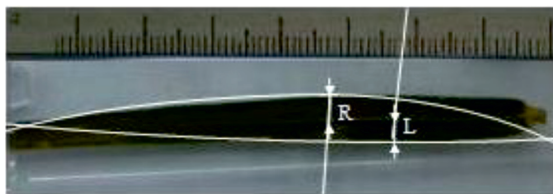


Рис. 1. Левый (L) и правый (R) признаки на листовой пластине

Использовался метод построения четырех – шести радиусов к воображаемой окружности. Находилась точка их пересечения, она соединялась с точкой на средней жилке по нормали, т.е. перпендикулярно к средней жилке. Использовались листовые пластины с выраженной средней жилкой. Для удобства фиксации под стеклом и фотографирования листовые пластины разрезались на фрагменты 5–6 см длиной и замачивались в растворе бытового детергента (например, Fairy) для придания эластичности. Измерения проводились с помощью электронного дигитайзера Dig2 ver2.31(J. Rholf, 2017).

Статистические методы включали:

- проверку нормальности распределения выборок ( $L - R$ ), тестом Колмогорова – Смирнова, где  $L$  и  $R$  – значения левого и правого мерного признака;
- $t$ -тест для проверки наличия направленной асимметрии в выборке ( $L - R$ );
- определение величины эксцесса в выборках ( $L - R$ ) для тестирования присутствия антисимметрии;
- корреляционный анализ (коэффициент Пирсона) – для тестирования связи между длиной листовой пластины и величиной ФА (ФА определялась по формуле  $(L - R)/(L + R)$  в абсолютном значении);
- однофакторный дисперсионный анализ для нахождения различия в длине листовой пластины, величине измеряемого признака и во флуктуирующей асимметрии;
- тестирование отсутствия различия между величинами признака  $(L + R)/2$  среди изучаемых выборок. Этот тест мы считаем наиболее важным, так как именно он позволяет отбраковать нежелательное проявление пластической изменчивости мер-

ного признака и установить статистически значимое различие в величине ФА.

Обработка данных проводилась в среде Excel, большинство анализов выполнялось в среде STATISTICA10 на уровне статистической значимости  $\alpha = 95\%$ .

### Результаты исследования и их обсуждение

Выборки ( $L - R$ ) не показали отклонения от нормального распределения (везде  $p > 0,2$ , тест Колмогорова – Смирнова). После этого была проведена проверка выборок ( $L - R$ ) на присутствие направленной асимметрии. Был поставлен  $t$ -тест с нулевой гипотезой  $H_0: (L - R) = 0$ . Все выборки показали уровень вероятности  $p > 0,05$  и  $t$ -критерий менее 1,65, т.е. нулевая гипотеза была подтверждена. Таким образом, статистически значимого преимущества в величине одной из сторон получено не было, что подтверждало отсутствию направленной асимметрии. Величина эксцесса не была ниже  $-2$ , что говорило об отсутствии сильно выраженной антисимметрии (когда частоты распределения величин правостороннего и левостороннего признака равны). Средние значения ( $L - R$ ) в выборках 1–4 были:  $0,026 \pm 0,01$ ;  $0,012 \pm 0,01$ ;  $0,013 \pm 0,01$  и  $0,032 \pm 0,02$ .

Величина признака и значения ФА не обладали корреляционной связью (Пирсона  $r < 0,5$ ;  $p > 0,05$ ). Следовательно, стабильность развития не зависела от ширины листовой пластины. Значение признака не варьировало среди четырех выборок, т.е. не было получено различия в пластической изменчивости.

Значения ФА, как и величина измеряемого признака, статистически не различались в четырех выборках. Парное сравнение показало статистически значимое различие в величине ФА между выборками № 2 и № 3 ( $p = 0,027$ ; рис. 2).

Таким образом, получено статистически значимое различие между выборками, полученными в площадках с высокоинтенсивной дозой удобрения (ФА  $= 0,104 \pm 0,01$ ) и с интенсивной дозой органоминеральных удобрений (ФА  $= 0,066 \pm 0,01$ ). Длина листовой пластины (в см) также различалась в этих выборках:  $11,94 \pm 0,32$  и  $13,34 \pm 0,37$  (везде  $p < 0,05$ ), следовательно, повышенная ФА соответствовала листовым пластинам с пониженными линейными размерами. Самое высокое значение ФА соответствовало наибольшей продуктивности при использовании высокоинтенсивного минерального удобрения.

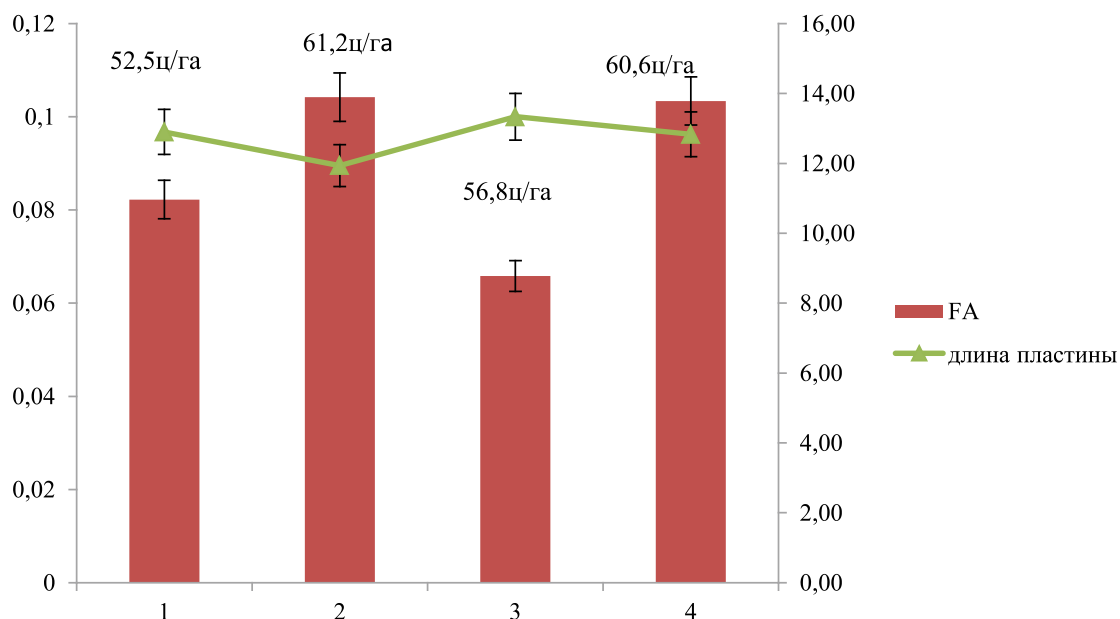


Рис. 2. Величины ФА и длина листовой пластины в ряду доз удобрения. Использованы планки погрешностей с относительными ошибками. Значения в поле диаграммы – продуктивность (ц/га). По оси OX – уровни внесения удобрений: 1 – интенсивный (минеральный  $N_{90}P_{90}K_{90}$ ), 2 – высокоинтенсивный (минеральный  $N_{120}P_{120}K_{120}$ ), 3 – интенсивный (органоминеральный; 60 т навоза +  $N_{90}P_{90}K_{90}$ ), 4 – высокоинтенсивный (органоминеральный; 80 т навоза +  $N_{120}P_{120}K_{120}$ )

Полученные результаты позволяют предполагать симбатные изменения величин ФА и продуктивности в ряду повышения дозы удобрения. Высокий градиент дозы удобрения – серьезный фактор, теоретически влияющий на уровень гомеостаза популяции пшеницы.

Увеличение продуктивности за счет использования больших доз удобрений не может рассматриваться как признак устойчивого развития популяции и, возможно, всей агроэкосистемы, так как при этом меняются многие существенные биологические, физические и химические характеристики почвы и развиваются фитопатологии сельскохозяйственных растений. Так, установлено, что внесение минеральных удобрений в дозе  $N_{70}P_{70}K_{70}$  и навоза в дозе 20 т/га под ячмень вызывало не только увеличение продуктивности, но и распространение болезней растений, таких как ринхоспориоз, темно-бурая пятнистость, корневая гниль и гельминтоспориоз [6].

Увеличение ФА и снижение стабильности развития рассматривается нами как реакция на стресс после внесения высокой дозы минерального удобрения (№ 2 и № 4). В этом контексте представляют интерес полученные данные по величине длины листо-

вой пластины, которая меняется антибатно величине ФА. Связь высокая длина – низкая ФА – повышенная стабильность развития представляется обоснованной в контексте повышенного гомеостаза, соответствующего высокой биомассе вегетативной части растения. Напротив высокая урожайность (61 ц/га, удобрение № 2) соответствовало повышенной ФА, т.е. пониженной стабильности развития. Объяснением служит стрессовое действие дозы высокоинтенсивного удобрения, высокая ФА, пониженная биомасса вегетативной части (длина пластины) и повышенная продуктивность генеративной части растения. Повышение ФА и снижение длины флаговой листовой пластины нами воспринимается как реакция на стресс, своеобразный сигнал адаптации растения к высоким дозам азота, фосфора и калия.

Отметим, что длина флаговой листовой пластины и пониженная ФА преобладала в растениях, выращенных с высокоинтенсивной органоминеральной дозой удобрения. Комплекс минеральное + органическое удобрение повышал стабильность развития, продуктивность показала средние значения (56,8 ц/га).

Таким образом, высокое содержание минеральных веществ в почве вызывало

стрессовое воздействие с нарушением гомеостаза онтогенетического развития пшеницы. Полученная зависимость заслуживает дальнейшего изучения. Известно, что органоминеральные системы удобрений экологически предпочтительны по сравнению с соответствующими минеральными системами удобрений. Поэтому интенсивный режим органоминерального удобрения ( $N_{90}P_{90}K_{90}$ ), который показал оптимальный уровень стабильности развития, представляет интерес при разработке агротехнологии пшеницы.

### Выводы

1. Получена прямая связь (симбатные изменения) величины флуктуирующей асимметрии листовой пластины и величины продуктивности пшеницы. Наибольшее значение величины ФА вызывалось высокоинтенсивной дозой минерального удобрения  $N_{120}P_{120}K_{120}$ . Результаты подтверждаются исследованиями, проведенными ранее на клевере луговом, когда повышенная доза минерального удобрения также способствовала повышению значения ФА [7].

2. Увеличение длины листовой пластины, объясняемое активной вегетативной фазой растения, сопровождалось низким значением ФА, которое сигнализировало о высокой стабильности развития.

3. Высокие дозы удобрения оказывали стрессовое воздействие на молекулярном уровне регуляции морфологических процессов. Это не означает нежелательность внесения таких доз удобрения, поскольку основная задача управления агроэкосистемами – высокий урожай. Вместе с тем ФА показала снижение стабильности развития, что может быть закономерным процессом в виде снижения гомеостаза организма в ответ на высокие дозы удобрения и чрезмерное усиление генеративной фазы развития растения.

4. Использование органоминерального удобрения подтвердило важность для разработки агротехнологии озимой пшеницы. Будущие исследования предпочтительно

проводить с использованием метода геометрической морфометрии для более полного обследования формы листовой пластины и определения ФА по набору показателей. Интерес также представляет изучение стабильности развития популяции пшеницы параллельно с изучением свойств почвы при различных дозах удобрения.

### Список литературы / References

1. Graham J.H., Raz S., Hel-Or H., Nevo E. Fluctuating Asymmetry: Methods, Theory, and Applications. *Symmetry*. 2010. 2. P. 466–540. DOI: 10.3390/sym2020466.
2. Lens L.U., Van Dongen S., Kark S., Matthysen E. Fluctuating asymmetry as an indicator of fitness: can we bridge the gap between studies? *Biological reviews*. 2002. № 77 (1). P. 27–38. DOI: 10.1017/S1464793101005796.
3. Устюжанина О.А., Соколова Л.А. Коэффициент флуктуирующей асимметрии для пшениц озимой и яровой в севооборотах с насыщенностью элементами питания в разной форме // Проблемы региональной экологии. 2014. № 6. С. 59–62.
4. Ustyuzhanina O.A., Sokolova L.A. The ratio of fluctuating asymmetry for winter and spring wheats in crop rotation with different forms of saturation with nutrients // *Problemy regionalnoy ekologii*. 2014. № 6. P. 59–62 (in Russian).
5. Устюжанина О.А., Соколова Л.А., Голофеева А.С., Бурлуцкий В.А. Влияние разных минеральных фонов на урожайность и коэффициент флуктуирующей асимметрии для озимой и яровой пшениц // Проблемы региональной экологии. 2017. № 3. С. 99–102.
6. Ustyuzhanina O.A., Sokolova L.A., Golofteeva A.S., Burlutsky V.A. Influence of different mineral backgrounds on productivity and coefficient of fluctuating asymmetry for winter and spring wheat // *Problemy regionalnoy ekologii*. 2017. № 3. P. 99–102 (in Russian).
7. Тиходеев О.Н. Классификация изменчивости по факторам, определяющим фенотип: традиционные взгляды и их современная ревизия // Экологическая генетика. 2013. Т. 11. Вып. 3. С. 79–92.
8. Tikhodeev O.N. Classification of variability forms based on phenotype determining factors: Traditional views and their revision // *Ekologicheskaya genetika*. 2013. V. 11. № 3. P. 79–92 (in Russian).
9. Винокуров И.Ю. Стабильность и устойчивость агроэкосистем. Системный и системно-структурный подходы. Владимир: Калейдоскоп, 2014. 144 с.
10. Vinokurov I.Yu. Stability and stability of agroecosystems. System and system-structural approaches. Vladimir: Kaleidoscope, 2014. 144 p. (in Russian).
11. Бибики Т.С., Щукин И.М., Баранов С.Г. Влияние дозы комплексного удобрения на стабильность развития клевера лугового (*Trifolium pratense*) // Успехи современного естествознания. 2017. № 3. С. 51–55.
12. Bibik T.S., Schukin I.M., Baranov S.G. Effect of mineral fertilizers on red clover developmental stability // *Advances in current natural sciences*. 2017. № 3. P. 51–55 (in Russian).

УДК 632.9:632.7:631.51.01:633.11«324»

## ВЛИЯНИЕ СПОСОБОВ ОБРАБОТКИ ПОЧВЫ НА ЧИСЛЕННОСТЬ ВРЕДИТЕЛЕЙ ПШЕНИЦЫ И ИХ ЭНТОМОФАГОВ

Глазунова Н.Н., Безгина Ю.А., Пашкова Е.В., Волосова Е.В., Шипуля А.Н.

Ставропольский государственный аграрный университет, Ставрополь, e-mail: khzr@yandex.ru

Современные технологии возделывания включают комплекс приемов, направленных на сохранение плодородия почвы и повышения урожайности сельскохозяйственных культур. Системы защиты растений от вредных организмов всё чаще опираются на экологически безопасные технологии, основу которых составляет агротехнический метод. Агротехника с точки зрения защиты растений носит профилактический характер, так как включает приемы возделывания каждой сельскохозяйственной культуры. Одним из агротехнических приёмов является обработка почвы, которая существенно влияет на фитосанитарную обстановку агроценоза. Минимализация нагрузки на почву является важным условием биологизации земледелия. Приведены результаты трех летних исследований по влиянию способа обработки почвы на численность основных вредителей и их энтомофагов в агроценозе озимой пшеницы в различные фазы онтогенеза. Отвальный вид обработки почвы снижает численность следующих фитофагов: злаковых тлей в фазы трубкования – цветения в среднем на 30%; пшеничного трипса в фазу трубкования на 30–35%, в фазы колошения и цветения на 35–40%, в фазы молочной и восковой спелости на 24–26%; хлебного пилильщика в фазы трубкования – цветения на 30–34%, в фазу молочной спелости до 40% по сравнению с комбинированным и поверхностным видами обработки почвы. Численность паразитов из семейств *Scelionidae*, *Encyrtidae* и *Tachinidae* в начальные фазы развития озимой пшеницы от трубкования до цветения ниже на 13–20%, из семейства *Aphidiidae* в эти фазы ниже на 7–20%, численность хищников из семейства *Coccinellidae* в фазы трубкования и колошения ниже на 17–30%.

**Ключевые слова:** озимая пшеница, фитофаги, энтомофаги, обработка почвы, способ обработки, эффективность

## EFFECT OF SOIL PROCESSING METHODS ON THE NUMBER OF WHEAT PESTS AND THEIR ENTOMOPHAGES

Glazunova N.N., Bezgina Yu.A., Pashkova E.V., Volosova E.V., Shipulya A.N.

Stavropol State Agrarian University, e-mail: khzr@yandex.ru

Modern cultivation technologies include a set of techniques aimed to preserve soil fertility and increase crop yields. Plant protection systems against pests increasingly rely on environmentally friendly technologies that are based on the agrotechnical method. Agrotechnology in the context of plant protection has a preventive nature, as it includes methods of cultivation of each crop. One of the agrotechnical methods is tillage, which significantly affects the phytosanitary situation of agroecosystem. Minimizing the soil load is an important condition for the biologization of agriculture. Three summer results of studies on the effect of the soil treatment method on the number of major pests and their entomophages in the agroecosystem of winter wheat in different phases of ontogenesis are presented. The dump cultivation of the soil reduces the number of the following phytophages: gramineous aphids in the tubing phase – flowering on average by 30%; wheat thrips in the tubing phase by 30–35%, in the phases of earing and flowering by 35–40%, in the phases of dairy and wax ripeness by 24–26%; grain sawfly in the tubing phase – flowering by 30–34%, in the phase of dairy ripeness – up to 40% compared to combined and surface tillage. The number of parasites from the families *Scelionidae*, *Encyrtidae* and *Tachinidae* in the initial phases of development of winter wheat from tubing to flowering is lower by 13–20%, of the *Aphidiidae* family in these phases is lower by 7–20%, the number of predators from the *Coccinellidae* family in the tubing and earing phase is lower by 17–30%.

**Keywords:** winter wheat, phytophages, entomophages, tillage, method of processing, efficiency

Озимая пшеница занимает основу сельскохозяйственного производства юга России. Интенсификация технологии возделывания культуры направлена на повышение урожая [1]. В системе защиты озимой пшеницы от сорной растительности, вредителей и болезней все больше внимания уделяется изучению эффективности нехимических приемов [2]. Снижение уровня агротехники, повсеместное распространение монокультуры оказывают существенное влияние на фитосанитарное состояние почвы и посевов озимой пшеницы [3]. Численность фитофагов в посевах озимой пшеницы зависит от различ-

ных факторов, одним из которых является устойчивость сортов к различным вредителям [4]. В современных технологиях возделывания сельскохозяйственных культур с последнее время особое внимание уделяют агротехническому методу защиты растений, как наиболее оптимальному и профилактическому [5]. Вид обработки почвы существенно влияет на фитосанитарную обстановку в агроценозе, однако как самостоятельный агротехнический метод борьбы в настоящее время используется крайне редко. Минимализация обработки почвы рассматривается как одно из важнейших условий экологизации земледелия [6].

Целью наших исследований было установление зависимости численности фитофагов и их хищников и паразитов от агротехнических приемов возделывания озимой пшеницы.

#### Материалы и методы исследования

Исследования проводили в течение трех лет в посевах озимой пшеницы на базе экспериментального севооборота многолетнего стационарного опыта в учебно-опытном хозяйстве Ставропольского ГАУ. Предшественник – озимая пшеница, система удобрений – рекомендованная. Обработка почвы в опыте проводилась: комбинированная на глубину 20–22 см, отвальная на глубину 20–22 см и поверхностная обработка на глубину 10–12 см. Систематические наблюдения

проводились на различных стадиях развития озимой пшеницы. Учеты численности фитофагов культуры и их энтомофагов, а также на зараженность вредителей паразитами и соотношение хищник – жертва, проводили в соответствии с методиками ВИЗР. Проведена статистическая обработка результатов.

#### Результаты исследования и их обсуждение

При проведении обследований на разных стадиях вегетации озимой пшеницы выявлены основные вредители озимой пшеницы: клоп вредная черепашка, злаковые тли и пилильщики. Кроме того по каждому фитофагу изучали наличие энтомофагов. Проведем анализ полученных результатов.

Таблица 1

Численность вредной черепашки и ее энтомофагов в разные фазы онтогенеза озимой пшеницы в зависимости от обработки почвы, экз/м<sup>2</sup> (средняя за 2013–2015 гг.)

| Фаза онтогенеза                        | Вид обработки                |                        |                                      |
|----------------------------------------|------------------------------|------------------------|--------------------------------------|
|                                        | комбинированный,<br>20–22 см | отвальный,<br>20–22 см | поверхностная обработка,<br>10–12 см |
| <i>Erygaster integriceps</i>           |                              |                        |                                      |
| Трубкование                            | 0,6                          | 0,6                    | 0,6                                  |
| Колошение                              | 1,1                          | 1,1                    | 1,1                                  |
| Цветение                               | 1,5                          | 1,5                    | 1,4                                  |
| Молочная спелость                      | 5,7                          | 5,8                    | 5,8                                  |
| Восковая спелость                      | 6,8                          | 6,7                    | 6,7                                  |
| Полная спелость                        | 6,9                          | 6,9                    | 6,8                                  |
| НСР                                    | 0,2                          |                        |                                      |
| НСР                                    | 0,4                          |                        |                                      |
| <i>Scelionidae</i> и <i>Encyrtidae</i> |                              |                        |                                      |
| Трубкование                            | 1,5                          | 1,4                    | 1,6                                  |
| Колошение                              | 1,9                          | 2,0                    | 2,0                                  |
| Цветение                               | 5,2                          | 5,3                    | 5,3                                  |
| Молочная спелость                      | 12,3                         | 12,6                   | 12,5                                 |
| Восковая спелость                      | 0,8                          | 0,4                    | 0,5                                  |
| Полная спелость                        | 0,0                          | 0,0                    | 0,0                                  |
| НСР                                    | 0,2                          |                        |                                      |
| НСР                                    | 0,6                          |                        |                                      |
| <i>Tachinidae</i>                      |                              |                        |                                      |
| Трубкование                            | 0,3                          | 0,3                    | 0,4                                  |
| Колошение                              | 0,4                          | 0,3                    | 0,3                                  |
| Цветение                               | 0,5                          | 0,6                    | 0,6                                  |
| Молочная спелость                      | 1,3                          | 1,3                    | 1,3                                  |
| Восковая спелость                      | 2,1                          | 2,2                    | 2,1                                  |
| Полная спелость                        | 2,2                          | 2,3                    | 2,2                                  |
| НСР                                    | 0,15                         |                        |                                      |
| НСР                                    | 0,4                          |                        |                                      |



В табл. 1 представлены результаты учетов численности вредной черепашки. Установлено, что в процессе онтогенеза пшеницы численность вредителя меняется, а по вариантам исследования остается на одном уровне. Это позволяет нам сделать вывод, что на численность клопа вредной черепашки способ обработки почвы влияния не оказывает ни в одну из фаз развития культуры. Что подтверждает статистическая обработка результатов учетов.

При наблюдении за численностью яйцепаразитов вредной черепашки теленомин установлено, что за три года наблюдений на варианте с отвальным видом обработки почвы она меньше на 13–20% в начале вегетации. К фазе молочной спелости зерна озимой пшеницы влияние вспашки на численность паразитов нивелируется. Сходные результаты нами получены и по влиянию вида обработки почвы на численность паразитов вредной черепашки фазий в посевах озимой пшеницы. В начале весенней вегетации от фазы трубкования до фазы цветения уста-

новлено снижение численности при комбинированной и отвальной обработке почвы.

При дальнейшем онтогенезе озимой пшеницы способ обработки почвы не оказывает существенного влияния на численность паразитов вредной черепашки фазий в посевах озимой пшеницы. В начале весенней вегетации культуры отвальный способ обработки почвы снижает численность теленом и фазий в сравнении с поверхностной обработкой. В дальнейшем влияние вспашки на численность паразитов нивелируется.

В посевах озимой пшеницы установлено наличие злаковых тлей, численность которых изменялась в вариантах по видам обработки (табл. 2).

В среднем за три года отвальный способ обработки почвы снижает численность фитофага в агроценозе озимой пшеницы во все фазы развития культуры на 10–24% в сравнении с комбинированным видом обработки, и на 20–40% в сравнении с поверхностной обработкой.

**Таблица 2**

Численность злаковых тлей в разные фазы онтогенеза озимой пшеницы в зависимости от обработки почвы, экз/колос (средняя за 2013–2015 гг.)

| Фаза онтогенеза                   | Вид обработки                |                        |                                      |
|-----------------------------------|------------------------------|------------------------|--------------------------------------|
|                                   | комбинированный,<br>20–22 см | отвальный,<br>20–22 см | поверхностная обработка,<br>10–12 см |
| Трубкование                       | 1,00                         | 0,77                   | 1,17                                 |
| Колошение                         | 1,25                         | 0,98                   | 1,44                                 |
| Цветение                          | 2,15                         | 1,91                   | 2,34                                 |
| Молочная спелость                 | 12,17                        | 9,93                   | 12,70                                |
| Восковая спелость                 | 0,38                         | 0,27                   | 0,41                                 |
| Полная спелость                   | 0,00                         | 0,00                   | 0,00                                 |
| НСР                               | 0,12                         |                        |                                      |
| НСР <sub>05</sub> обработка       | 0,34                         |                        |                                      |
| НСР <sub>05</sub> фаза онтогенеза |                              |                        |                                      |

**Таблица 3**

Численность паразитов злаковых тлей в разные фазы онтогенеза озимой пшеницы в зависимости от обработки почвы, экз/м<sup>2</sup> (средняя за 2013–2015 гг.)

| Фаза онтогенеза                   | Вид обработки                |                        |                                      |
|-----------------------------------|------------------------------|------------------------|--------------------------------------|
|                                   | комбинированный,<br>20–22 см | отвальный,<br>20–22 см | поверхностная обработка,<br>10–12 см |
| Трубкование                       | 0,56                         | 0,52                   | 0,52                                 |
| Колошение                         | 1,02                         | 0,94*                  | 1,15                                 |
| Цветение                          | 1,00                         | 0,90*                  | 1,10                                 |
| Молочная спелость                 | 2,77                         | 2,65                   | 2,73                                 |
| Восковая спелость                 | 5,71                         | 5,84                   | 5,73                                 |
| Полная спелость                   | 0,00                         | 0,00                   | 0,00                                 |
| НСР                               | 0,09                         |                        |                                      |
| НСР <sub>05</sub> обработка       | 0,63                         |                        |                                      |
| НСР <sub>05</sub> фаза онтогенеза |                              |                        |                                      |

Таблица 4

Численность трипсов в разные фазы онтогенеза озимой пшеницы  
в зависимости от обработки почвы, экз/колос (средняя за 2013–2015 гг.)

| Фаза онтогенеза                                                  | Вид обработки                |                        |                                      |
|------------------------------------------------------------------|------------------------------|------------------------|--------------------------------------|
|                                                                  | комбинированный,<br>20–22 см | отвальный,<br>20–22 см | поверхностная обработка,<br>10–12 см |
| <i>Haplothrips tritici</i>                                       |                              |                        |                                      |
| Трубкование                                                      | 17,4                         | 12,6                   | 18,2                                 |
| Колошение                                                        | 20,6                         | 14,0                   | 21,6                                 |
| Цветение                                                         | 21,4                         | 14,8                   | 22,8                                 |
| Молочная спелость                                                | 47,5                         | 36,4                   | 47,8                                 |
| Восковая спелость                                                | 7,6                          | 5,9                    | 7,6                                  |
| Полная спелость                                                  | 0,0                          | 0,0                    | 0,0                                  |
| НСР <sub>05</sub> обработка<br>НСР <sub>05</sub> фаза онтогенеза | 1,2<br>3,2                   |                        |                                      |
| <i>Aelothrips fasciatus</i>                                      |                              |                        |                                      |
| Трубкование                                                      | 0,57                         | 0,56                   | 0,58                                 |
| Колошение                                                        | 0,56                         | 0,54                   | 0,57                                 |
| Цветение                                                         | 0,56                         | 0,54                   | 0,57                                 |
| Молочная спелость                                                | 0,79                         | 0,67                   | 0,80                                 |
| Восковая спелость                                                | 0,23                         | 0,21                   | 0,24                                 |
| Полная спелость                                                  | 0,00                         | 0,00                   | 0,00                                 |
| НСР <sub>05</sub> обработка<br>НСР <sub>05</sub> фаза онтогенеза | 0,08<br>0,12                 |                        |                                      |

Таблица 5

Численность хлебного пилильщика и коллирии в разные фазы онтогенеза озимой  
пшеницы в зависимости от обработки почвы, экз/м<sup>2</sup> (средняя за 2013–2015 гг.)

| Фаза онтогенеза                                                         | Вид обработки                |                        |                                      |
|-------------------------------------------------------------------------|------------------------------|------------------------|--------------------------------------|
|                                                                         | комбинированный,<br>20–22 см | отвальный,<br>20–22 см | поверхностная обработка,<br>10–12 см |
| <i>Cephus pygmaeus</i>                                                  |                              |                        |                                      |
| Трубкование                                                             | 4,4                          | 3,2                    | 4,5                                  |
| Колошение                                                               | 7,0                          | 5,0                    | 7,0                                  |
| Цветение                                                                | 7,4                          | 5,3                    | 7,6                                  |
| Молочная спелость                                                       | 2,5                          | 1,6                    | 2,5                                  |
| Восковая спелость                                                       | 0,0                          | 0,0                    | 0,0                                  |
| Полная спелость                                                         | 0,0                          | 0,0                    | 0,0                                  |
| НСР<br>НСР <sub>05</sub> обработка<br>НСР <sub>05</sub> фаза онтогенеза | 0,08<br>0,12                 |                        |                                      |
| <i>Collyria coxator</i>                                                 |                              |                        |                                      |
| Трубкование                                                             | 2,1                          | 1,9                    | 2,1                                  |
| Колошение                                                               | 3,4                          | 3,2                    | 3,3                                  |
| Цветение                                                                | 4,3                          | 4,1                    | 4,2                                  |
| Молочная спелость                                                       | 1,5                          | 1,3                    | 1,6                                  |
| Восковая спелость                                                       | 0,0                          | 0,0                    | 0,0                                  |
| Полная спелость                                                         | 0,0                          | 0,0                    | 0,0                                  |
| НСР<br>НСР <sub>05</sub> обработка<br>НСР <sub>05</sub> фаза онтогенеза | 0,08<br>0,12                 |                        |                                      |

При обследовании выявлены энтомофаги злаковых тлей, на которых вид обработки почвы в наших исследованиях оказал неоднозначное влияние. Выявлено влияние вида обработки почвы на хищников из семейства *Coccinellidae* в фазу трубкавания и фазу колошения. Их численность больше при поверхностной обработке почвы на 17–30 % по сравнению с комбинированной и отвальной обработкой. В последующем разница между вариантами становится несущественной, то есть влияние данного фактора на численность хищников из семейства *Coccinellidae* сходно с его влиянием на паразитов вредной черепашки.

За годы исследований в агроценозе озимой пшеницы вид обработки почвы не оказывал существенного влияния на численность хищников тлей из семейства *Syrphidae* и семейства *Chrysopidae*, что подтверждает математическая обработка результатов.

При анализе результатов исследования по влиянию вида обработки почвы на численность паразитов злаковых тлей из семейства *Aphidiidae*, мы отмечаем, что их численность в фазы колошения и цветения ниже на 7–20 % при комбинированной и отвальной обработке (табл. 3).

В дальнейшем разница между вариантами становится несущественной, что имеет общие тенденции с влиянием данного фактора на численность хищников из семейства *Coccinellidae* и паразитов клопа вредной черепашки из семейств *Scelionidae*, *Encyrtidae* и *Tachinidae*.

При анализе результатов влияния вида обработки почвы на численность популяции пшеничного трипса было выявлено, что отвальный способ обработки почвы снижает его во все фазы развития озимой пшеницы в весенне-летний период вегетации культуры (табл. 4).

В фазу трубкавания в среднем за три года исследований снижение численности фитофага составило 30–35 %, в фазы колошения и цветения 35–40 %, в фазы молочной и восковой спелости 24–26 % по сравнению с комбинированным и поверхностным видами обработки почвы.

На численность полосатого трипса (*Aelothrips fasciatus*) вид обработки почвы за годы исследований существенного влияния не оказал в период весенне-летней вегетации, что подтверждает математическая обработка данных.

Анализируя результаты влияния вида обработки почвы на популяцию хлебного

пилильщика, мы видим (табл. 5), что отвальный способ обработки почвы снижает его численность во все фазы развития озимой пшеницы в весенне-летний период вегетации культуры. В среднем за три года в варианте с отвальным видом обработки почвы мы наблюдали с фазы трубкавания по фазу цветения снижение численности на 30–34 %, а в фазу молочной спелости сокращение численности достигало 40 % по сравнению с комбинированным и поверхностным видами обработки почвы.

На численность коллирии (*Collyria coxator*) вид обработки почвы оказал такое же влияние, как и на хлебного пилильщика, но снижение численности популяции паразита было намного ниже. С фазы трубкавания по фазу цветения в варианте с отвальным видом обработки почвы мы наблюдали снижение численности на 3–10 %, а в фазу молочной спелости снижение численности достигало 13–20 % по сравнению с комбинированным и поверхностным видами обработки почвы.

### Заключение

В результате проведенных исследований установлено, что отвальный вид обработки почвы снижает численность фитофагов по фазам онтогенеза: злаковых тлей в фазы трубкавания – цветения в среднем на 30 %; пшеничного трипса в фазу трубкавания на 30–35 %, в фазы колошения и цветения на 35–40 %, в фазы молочной и восковой спелости на 24–26 %; хлебного пилильщика в фазы трубкавания – цветения на 30–34 %, в фазу молочной спелости до 40 % по сравнению с комбинированным и поверхностным видами обработки почвы.

Анализ результатов исследований показал, что развитие энтомофагов зависит от стадии онтогенеза культуры, а вид обработки почвы не оказывает существенного влияния на численность энтомофагов, особенно хищников. В начальные фазы развития пшеницы численность паразитов снижается в пределах от 7 % до 30 %, а в дальнейшем разница между вариантами становится несущественной.

Таким образом, при всех видах обработки почвы помощь энтомофагов наблюдается только во второй половине вегетации культуры. Отвальная обработка почвы на глубину 20–22 см на озимой пшенице способна снижать численность фитофагов по разным стадиям вегетации и является наиболее эффективной против вредителей культуры, особенно после предшественника озимая пшеница.

## Список литературы / References

1. Годунова Е.И., Желнакова Л.И., Удовыдченко В.И. Состояние и пути оптимизации зерновой отрасли Ставрополя // Земледелие. 2011. № 3. С. 8–12.
2. Godunova E.I., Zhelnakova L.I., Udovydchenko V.I. State and ways to optimize the grain industry in Stavropol // Zemlede-  
lie. 2011. № 3. P. 8–12 (in Russian).
3. Дорошко Г.Р., Целовальников В.К., Шутко А.П. Система интегрированной защиты сельскохозяйственных культур от сорной растительности, вредителей и болезней // Вестник АПК Ставрополя. 2015. № S2. С. 67–72.
4. Dorozhko G.R., Tselovalnikov V.K., Shurko A.P. The system of integrated crop protection from weeds, pests and diseases // Bulletin of the APK of Stavropol. 2015. № S2. P. 67–72 (in Russian).
5. Мухина О.В., Шабалдас О.Г., Солодилина А.Ю. Влияние морфофизиологических особенностей сортов озимой пшеницы на устойчивость к важнейшим вредителям // Применение современных ресурсосберегающих инновационных технологий в АПК: материалы Международной научно-практической конференции (г. Ставрополь, 08–14 февраля 2013 г.). Ставрополь: изд-во Параграф, 2013. С. 148–152.
6. Mukhina O.V., Shabaldas O.G., Solodilina A.Yu. The influence of morphophysiological features of winter wheat varieties on resistance to the most important pests // Application of modern resource-saving innovative technologies in the agricultural sector: materials of the international scientific-practical conference (Stavropol, February 08–14, 2013). Stavropol: Paragraph publishing house, 2013. P. 148–152 (in Russian).
7. Дрепа Е.Б., Войсковой А.И., Матвеев А.Г., Хитров Е.В., Перевертайло А.С. Фитосанитарное состояние почвы и посевов озимой пшеницы // Современные ресурсосберегающие инновационные технологии возделывания сельскохозяйственных культур в Северо-Кавказском федеральном округе: материалы 77-й научно-практической конференции (г. Ставрополь, 23–25 апреля 2013 г.). Ставрополь: изд-во Параграф, 2013. С. 31–33.
8. Drepa E.B., Voyskovoy A.I., Matveev A.G., Khitrov E.V., Perevertaylo A.S. Phytosanitary condition of the soil and winter wheat crops // Modern resource-saving innovative technologies of cultivation of agricultural crops in the North Caucasus Federal District: materials of the 77th scientific and practical conference (Stavropol, April 23–25, 2013). Stavropol: Paragraph publishing house, 2013. P. 31–33 (in Russian).
9. Защепкин Е.Е., Шутко А.П., Есаулко А.Н. Фитосанитарное состояние посевов озимой пшеницы при технологии прямого посева на черноземе выщелоченном // Достижения науки и техники АПК. 2015. Т. 29. № 9. С. 25–28.
10. Zashchepkin E.E., Shutko A.P., Esaulko A.N. Phytosanitary condition of winter wheat sowing with technology of direct sowing on leached chernozem // Achievements of science and technology of the agro-industrial complex. 2015. T. 29. № 9. P. 25–28 (in Russian).
11. Передериева В.М., Власова О.И. Севооборот как биологическое средство интенсификационных процессов в современном земледелии // Вестник АПК Ставрополя. 2015. № S2. С. 35–44.
12. Perederieva V.M., Vlasova O.I. Crop rotation as a biological means of intensification processes in modern agriculture // Bulletin of the APK of Stavropol. 2015. № S2. P. 35–44 (in Russian).

УДК 633.174:631.527(470.4)

## КОМБИНАЦИОННАЯ СПОСОБНОСТЬ СОРТООБРАЗЦОВ СУДАНСКОЙ ТРАВЫ В НИЖНЕМ ПОВОЛЖЬЕ

Куколева С.С., Жужукин В.И., Кибальник О.П., Семин Д.С., Старчак В.И.

ФГБНУ Российский научно-исследовательский и проектно-технологический институт сорго  
и кукурузы «Россорго», Саратов, e-mail: rossorgo@yandex.ru

В статье представлены результаты изучения комбинационной способности сортообразцов суданской травы по высоте растений, длине наибольшего листа, урожайности биомассы и сухого вещества первого укоса. Морфологические и хозяйственно ценные признаки сильно изменяются в зависимости от условий выращивания культуры. Сортообразцы суданской травы (всего 18) и сорго-суданковые гибриды F<sub>1</sub> (всего 54), полученные в тестерных скрещиваниях с ЦМС-линиями (А<sub>2</sub>О-1237, А<sub>2</sub>КВВ114, А<sub>2</sub>Ефремовское 2), высевали на опытном поле ФГБНУ РосНИИСК «Россорго» в 2016–2017 гг. По урожайности сырой биомассы положительный эффект ОКС наблюдался у сортообразцов Анастасия, Александрина, Аллегория, а отрицательный – Чишминская ранняя, Зональская 6. Высокая дисперсия СКС по урожайности биомассы отмечалась у следующих сортообразцов суданской травы: Александрина, Якташ, Аллегория, Юбилейная 20. Низкой дисперсией СКС характеризовались сортообразцы – Черноградская, Землячка, Л-143, Фаина. Интервал варьирования эффектов ОКС составил от –4,08 до 7,75, а дисперсии СКС – от 0,81 до 87,07. Установленный диапазон варьирования эффектов ОКС по урожайности сухого вещества составил –1,75–4,87, и дисперсий СКС – 0,01–3,68. Оценка комбинационной способности сортов и линий суданской травы в тестерных скрещиваниях с ЦМС-линиями зернового сорго позволила дифференцировать их не только по фактическим эмпирическим показателям, но также определить их селекционную ценность в соответствии с рассчитанными статистическими показателями ОКС и СКС. Наибольшую практическую ценность в селекции высокоурожайных синтетических популяций (сортов) травянистого сорго представляют сорта Аллегория, Александрина, Анастасия, Землячка, Л-106. Для создания сорго-суданковых гибридов F<sub>1</sub> рекомендуются в качестве компонентов сорта Якташ, Юбилейная 20, Александрина, Аллегория, Фаина, Элегия.

**Ключевые слова:** комбинационная способность, урожайность, высота, гибрид, суданская трава, тестер, лист, биомасса, сухое вещество

## COMBINATION ABILITY OF SUDAN GRASS SPECIES IN THE LOWER VOLGA REGION

Kukoleva S.S., Zhuzhukin V.I., Kibalnik O.P., Semin D.S., Starchak V.I.

Russian Research and Design Institute of Sorghum and Maize «Rossorgo», Saratov,  
e-mail: rossorgo@yandex.ru

The article presents the results of a study of combination ability of Sudan grass samples by plant height, length of largest leaf, yield of biomass and dry matter first mowing. Morphological and economically valuable signs vary greatly depending on the conditions of cultivation. Cultivars of Sudan grass (only 18) and Sorghum×Sudan grass F<sub>1</sub> hybrids (in total 54) received in test crosses with CMS-lines (A<sub>2</sub> O-1237, A<sub>2</sub> KVV114, A<sub>2</sub> Efremovskoe 2), were sown in the experimental field center «Rossorgo» in 2016–2017 years. According to the yield of raw biomass, the positive effect of GCA was observed in genotypes Anastasiya, Alexandrina, Allegoriya and negative effect was observed in Chishminkayarannaya, Zonalskaya 6. High variance of the SCA for yield of biomass was observed in the following genotypes of Sudan grass: Alexandrina, Yaktash, Allegoriya, Jubileynaya 20. Low dispersion SCA was characterized by a variety of Zernogradskaya, Zemlyachka, L-143, Faina. The range of variation in the effects of GCA was –4.08 to 7.75, and the variance of SCA from 0.81 to 87.07. The range of variation of the effects of GCA on the yield of dry matter was as follows: –1.75–4.87, and dispersions SCA: 0.01 to 3.68. Assessment of combination ability of varieties and lines of Sudan grass in test crosses with CMS-lines of grain sorghum allowed to differentiate them not only by the actual empirical indicators, but also to determine their breeding value in accordance with the calculated statistical indicators of GCA and SCA. The most practical value in breeding of high-yielding synthetic populations (varieties) herbaceous sorghum is represented in Allegory, Alexandrina, Anastasiya, Zemlychka, L-106. To create a Sorghum×Sudan grass F<sub>1</sub> hybrids, Yaktash, Jubileynaya 20, Alexandrina, Allegory, Faina, Elegiya are recommended as components of varieties.

**Keywords:** combination ability, yield, height, hybrid, Sudanese grass, tester, sample, leaf, biomass, dry matter

Суданская трава и сорго-суданковые гибриды являются важнейшими кормовыми культурами. В засушливом Поволжье они способны при дефиците влаги интенсивно формировать вегетативную массу, используемую для скормливания сельскохозяйственным животным. Основной задачей региональной селекции является создание раннеспелых сортов и гибридов, характеризующихся высокой кустистостью, хорошей облиственностью

(27–30%), быстро отрастающих после скашивания, с тонкими стеблями, с высокой урожайностью и качеством зеленой массы [1]. Необходимым качеством травянистого сорго при использовании в зеленом конвейере является высокая отавность и продуктивность [2, 3]. Урожайность биомассы первого укоса сортообразцов суданской травы в условиях Нижневолжского региона варьирует от 8,9–17,8 т/га, а второго укоса 7,2–10,8 т/га; в сумме за



2 укоса составляет 17,6–27,8 т/га [4]. Сорго-суданковые гибриды (ССГ) на 20–30 % значительно превышают сорта по урожайности зеленой массы и качеству корма [5].

Цель исследования: изучение общей и специфической комбинационной способности сортообразцов суданской травы по высоте растений, длине наибольшего листа, урожайности биомассы и сухого вещества первого укоса.

#### Материалы и методы исследования

Сортообразцы суданской травы (всего 18) и сорго-суданковые гибриды F1 (всего 54), полученные в тестерных скрещиваниях с ЦМС-линиями (A<sub>2</sub>O-1237, A<sub>2</sub>KBB114, A<sub>1</sub>Ефремовское 2), высевали на опытном поле ФГБНУ РосНИИСК «Рос-сорго» в 2016–2017 гг. сеялкой СКС-6-10. В ранее проведенных исследованиях отмечено, что в комбинациях с образцами сахарного сорго ЦМС-линии зернового сорго A<sub>2</sub>O-1237 и A<sub>2</sub>KBB 114 характеризовались высокой КС по основным хозяйственно-ценным признакам [6]. Поэтому данные стерильные линии включены в программу

скрещиваний с сортообразцами суданской травы. Площадь делянки составляла 7,7 м<sup>2</sup>. Повторность – трехкратная. Расположение делянок рендомизированное [7]. В фазу всходов густоту стояния растений формировали вручную (11 раст/м<sup>2</sup>).

Агротехника выращивания – зональная: разработанная научными учреждениями Нижнего Поволжья. Наблюдения проводились согласно современным методическим указаниям [8]. Общую и специфическую (ОКС и СКС) комбинационную способность (КС) родительских форм определяли по методу топкросса [9]. Статистическая обработка результатов исследований выполнена с помощью программы «Agros 2.09».

#### Результаты исследования и их обсуждение

Важным показателем результативности соблюдения технологичности выращивания семеннохозяйственных культур является урожайность сырой и сухой биомассы, отражающей способность генотипов в сравнимых условиях продуцировать определенный объем органического вещества.

**Таблица 1**  
Урожайность биомассы первого укоса сорго-суданковых гибридов (среднее 2016–2017 гг.)

| Сортообразец        | Урожайность сырой биомассы, т/га |                        |                                   | Урожайность сухого вещества биомассы, т/га |                        |                                   |
|---------------------|----------------------------------|------------------------|-----------------------------------|--------------------------------------------|------------------------|-----------------------------------|
|                     | Тестер                           |                        |                                   |                                            |                        |                                   |
|                     | A <sub>2</sub> O-1237            | A <sub>2</sub> KBB 114 | A <sub>1</sub> Ефремов-<br>ское 2 | A <sub>2</sub> O-1237                      | A <sub>2</sub> KBB 114 | A <sub>1</sub> Ефремов-<br>ское 2 |
| Зональская 6        | 9,72                             | 11,19                  | 18,01                             | 2,03                                       | 2,51                   | 3,74                              |
| Чишминская ранняя   | 10,84                            | 11,04                  | 12,74                             | 2,30                                       | 2,23                   | 3,71                              |
| Краснодарская 75    | 14,53                            | 16,22                  | 16,92                             | 3,16                                       | 3,24                   | 4,03                              |
| Кинельская 100      | 17,71                            | 11,73                  | 16,53                             | 3,50                                       | 2,39                   | 3,52                              |
| Зерноградская       | 14,59                            | 15,84                  | 17,34                             | 3,48                                       | 3,91                   | 4,83                              |
| Л-106               | 18,24                            | 22,41                  | 22,12                             | 2,63                                       | 5,92                   | 5,19                              |
| Л-143               | 15,22                            | 15,39                  | 16,88                             | 3,43                                       | 3,24                   | 3,51                              |
| МЕВ-728             | 12,81                            | 16,12                  | 20,63                             | 2,85                                       | 3,31                   | 5,14                              |
| Якташ               | 8,84                             | 24,04                  | 16,04                             | 1,78                                       | 5,59                   | 3,33                              |
| Юбилейная 20        | 13,89                            | 21,09                  | 25,91                             | 3,05                                       | 4,22                   | 6,62                              |
| Саратовская 1183    | 18,74                            | 12,91                  | 14,93                             | 4,16                                       | 2,71                   | 4,49                              |
| Аллегория           | 19,69                            | 22,93                  | 29,49                             | 4,63                                       | 6,13                   | 5,53                              |
| Славянка            | 17,28                            | 21,52                  | 19,51                             | 4,36                                       | 4,21                   | 4,29                              |
| Александрина        | 30,31                            | 20,64                  | 16,82                             | 5,85                                       | 4,30                   | 4,14                              |
| Землячка            | 18,23                            | 19,55                  | 20,98                             | 4,57                                       | 5,47                   | 5,22                              |
| Элегия              | 19,80                            | 23,00                  | 22,50                             | 5,61                                       | 3,96                   | 7,16                              |
| Фаина               | 22,83                            | 18,17                  | 27,95                             | 5,15                                       | 3,32                   | 8,05                              |
| Анастасия           | 28,30                            | 23,70                  | 34,30                             | 8,78                                       | 6,91                   | 10,6                              |
| F <sub>факт</sub>   | 13,35*                           |                        |                                   | 7,18*                                      |                        |                                   |
| НСР <sub>0,05</sub> | 5,63                             |                        |                                   | 0,53                                       |                        |                                   |

Таблица 2

Высота растений и параметры наибольшего листа сорго-суданковых гибридов первого укоса (среднее 2016–2017 гг.)

| Сортообразец       | Высота растений, см   |                        |                              | Длина наибольшего листа, см |                        |                              | Ширина наибольшего листа, см |                        |                              |
|--------------------|-----------------------|------------------------|------------------------------|-----------------------------|------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------|------------------------------|
|                    | Тестер                |                        |                              |                             |                        |                              |                              |                        |                              |
|                    | A <sub>2</sub> O-1237 | A <sub>2</sub> KBB 114 | A <sub>1</sub> Ефремовское 2 | A <sub>2</sub> O-1237       | A <sub>2</sub> KBB 114 | A <sub>1</sub> Ефремовское 2 | A <sub>2</sub> O-1237        | A <sub>2</sub> KBB 114 | A <sub>1</sub> Ефремовское 2 |
| Зональская 6       | 155,7                 | 126,0                  | 139,3                        | 49,0                        | 53,3                   | 68,0                         | 4,7                          | 4,5                    | 5,9                          |
|                    | 147,7                 | 147,0                  | 148,7                        | 47,7                        | 57,7                   | 64,3                         | 4,3                          | 5,0                    | 6,1                          |
| Чишминская ранняя  | 139,2                 | 136,3                  | 150,2                        | 48,8                        | 56,9                   | 53,9                         | 4,8                          | 5,6                    | 5,2                          |
| Краснодарская 75   | 160,0                 | 93,7                   | 143,7                        | 50,3                        | 46,5                   | 62,3                         | 3,7                          | 5,1                    | 5,3                          |
| Кинельская 100     | 158,7                 | 125,0                  | 168,8                        | 63,7                        | 55,1                   | 65,0                         | 4,3                          | 5,2                    | 5,4                          |
| Зерноградская      | 159,1                 | 171,1                  | 162,1                        | 54,8                        | 65,5                   | 68,2                         | 4,5                          | 4,2                    | 4,7                          |
| Л1-106             | 143,1                 | 119,2                  | 151,1                        | 62,3                        | 65,7                   | 66,0                         | 4,5                          | 5,7                    | 5,5                          |
| Л1-143             | 140,6                 | 126,2                  | 149,9                        | 63,4                        | 64,1                   | 58,4                         | 4,7                          | 5,9                    | 5,6                          |
| МВВ-728            | 138,3                 | 140,0                  | 141,0                        | 50,7                        | 62,0                   | 59,0                         | 5,0                          | 5,5                    | 3,5                          |
| Якташ              | 122,4                 | 128,8                  | 178,8                        | 57,3                        | 58,9                   | 66,4                         | 4,8                          | 4,7                    | 4,9                          |
| Юбилейная 20       | 135,9                 | 131,2                  | 174,5                        | 62,4                        | 52,4                   | 57,6                         | 4,9                          | 4,2                    | 4,3                          |
| Саратовская 1183   | 173,3                 | 169,6                  | 173,7                        | 65,3                        | 67,2                   | 68,5                         | 4,9                          | 5,1                    | 4,9                          |
| Аллегория          | 156,0                 | 142,7                  | 159,0                        | 60,7                        | 61,7                   | 74,0                         | 5,5                          | 5,3                    | 5,4                          |
| Славянка           | 195,3                 | 134,0                  | 187,2                        | 61,0                        | 73,0                   | 59,5                         | 5,8                          | 6,0                    | 5,6                          |
| Александрина       | 163,7                 | 174,2                  | 178,5                        | 68,4                        | 66,2                   | 66,5                         | 5,2                          | 4,0                    | 3,7                          |
| Землячка           | 145,0                 | 137,2                  | 151,1                        | 58,0                        | 56,0                   | 56,1                         | 5,2                          | 5,7                    | 4,4                          |
| Элегия             | 140,7                 | 128,9                  | 147,2                        | 60,0                        | 51,9                   | 51,5                         | 5,2                          | 4,3                    | 3,0                          |
| Фаина              | 156,8                 | 159,0                  | 162,2                        |                             | 57,4                   | 55,2                         | 5,5                          | 4,9                    | 3,7                          |
| Анастасия          |                       |                        |                              |                             |                        |                              |                              |                        |                              |
| F <sub>факт.</sub> | 13,99*                |                        |                              | 7,36*                       |                        |                              | 5,84*                        |                        |                              |
| НСР <sub>005</sub> | 24,73                 |                        |                              | 10,58                       |                        |                              | 0,91                         |                        |                              |

Урожайность биомассы изменялась в интервале 8,84–34,30 т/га. Следует отметить, что средняя урожайность сырой биомассы составила по опыту 18,67 т/га; по тестерам  $A_2O-1237$  (17,30 т/га),  $A_2KBB$  114 (18,19 т/га),  $A_1Eфремовское$  2 (20,53 т/га). Таким образом, отношение урожайности сырой биомассы в среднем по опыту и по каждому тестеру составило:  $A_2O-1237$  (92,77%),  $A_2KBB$  114 (97,43%),  $A_1Eфремовское$  2 (109,96%). На основании полученных данных следует предположить, что использование в практической селекции на урожайность биомассы вероятность получения высокогетерозисных гибридов выше при скрещивании со стерильной линией  $A_1Eфремовское$  2. Высокой урожайностью отличались комбинации:  $A_2O-1237/Александрина$ ,  $A_2KBB$  114/Якташ,  $A_1Eфремовское$  2/Анастасия (табл. 1).

По опыту средняя урожайность сухой биомассы составила 4,23 т/га, в том числе по тестерам:  $A_2O-1237$  (3,96 т/га),  $A_2KBB$  114 (4,09 т/га),  $A_1Eфремовское$  2 (4,64 т/га). Относительно средней урожайности сухой биомассы по опыту по тестерам их рейтинг составил:  $A_2O-1237$  (93,61%),  $A_2KBB$  114 (96,69%),  $A_1Eфремовское$  2 (109,69%). Сравнение рангов тестеров по урожайности сырой и сухой биомассы указывает на их значительное совпадение. Доля сухого вещества в урожае сорго-суданковых гибридов составила по тестерам  $A_2O-1237$  (22,89%),  $A_2KBB$  114 (22,48%),  $A_1Eфремовское$  2 (22,63%). Данные результаты указывают, что пробы отбирали в одинаковом состоянии растений. Урожайность сухого вещества ССГ варьировала в интервале 1,78–10,6 т/га. Наибольшей урожайностью сухого вещества выделились гибриды, полученные в результате скрещивания сорта Анастасия с ЦМС-линиями зернового сорго  $A_2O-1237$ ,  $A_2KBB$  114,  $A_1Eфремовское$  2, а также комбинации скрещиваний- $A_2O-1237/Элегия$ ,  $A_2KBB$  114/Аллегория,  $A_1Eфремовское$  2/Юбилейная 20. Низкой урожайностью сухого вещества отличались следующие ССГ:  $A_2O-1237/Якташ$ ,  $A_2KBB$  114/Чишминская ранняя,  $A_1Eфремовское$  2/Якташ (табл. 1).

В фазу начала выметывания проводили измерение высоты растений перед укосом. Высота растений суданской травы – пластичный признак, который сильно изменяется в зависимости от условий выращивания культуры. Таким образом, интервал варьирования высоты растений у ССГ составил от 93,7 до 195,3 см. По результатам изучения

наибольшей высотой отличились комбинации:  $A_2O-1237/Александрина$ ,  $A_2KBB$  114/Землячка,  $A_1Eфремовское$  2/Александрина,  $A_2O-1237/Аллегория$ ,  $A_2KBB$  114/Л-106,  $A_1Eфремовское$  2/Юбилейная 20,  $A_1Eфремовское$  2/Аллегория,  $A_1Eфремовское$  2/Землячка, а низкорослостью –  $A_2O-1237/Юбилейная$  20,  $A_2KBB$  114/Кинельская 100,  $A_1Eфремовское$  2/Зональская 6 (табл. 2).

Наличие большой доли листьев для травянистого сорго имеет важное значение в формировании растений и оценке качества биомассы корма зеленого конвейера. Проведенные измерения длины наибольшего листа (как правило, 4-й сверху) перед укосом позволили установить интервал варьирования от 46,5 до 74,0 см, а также выделить комбинации с высоким значением признака:  $A_2O-1237/Землячка$ ,  $A_2KBB$  114/Александрина,  $A_1Eфремовское$  2/Славянка. Относительно короткие листья выявлены у ССГ –  $A_2O-1237/Чишминская$  ранняя,  $A_2KBB$  114/Кинельская 100,  $A_1Eфремовское$  2/Фаина (табл. 2).

Интервал варьирования ширины листа у ССГ составил 3,0–6,1 см. Эмпирически выявлены комбинации с широкими листьями:  $A_2O-1237/Александрина$ ,  $A_2KBB$  114/Александрина,  $A_1Eфремовское$  2/Чишминская ранняя, а также с относительно узкими листьями:  $A_2O-1237/Кинельская$  100,  $A_2KBB$  114/Землячка,  $A_1Eфремовское$  2/Фаина.

Определение ОКС по высоте растений первого укоса позволило распределить родительские формы на следующие классы (табл. 3): высокая (Землячка, Аллегория, Александрина); средняя (Зональская 6, Зерноградская, Л-106, Л-143, Юбилейная 20, Саратовская 1183, Славянка, Анастасия); низкая (Кинельская 100, Якташ).

Отрицательная ОКС выявлена у следующих сортообразцов суданской травы: Чишминская ранняя, Краснодарская 75, МЕВ-728, Элегия, Фаина. Высокая дисперсия СКС установлена у сортообразцов Кинельская 100, Юбилейная 20, Александрина; низкая – Славянка, Фаина, Зерноградская. Интервал варьирования эффектов ОКС составил: –19,01–24,45, а дисперсии СКС от 4,07 до 736,3.

Эффекты СКС по высоте растений в фазу выметывания в годы исследований значительно варьировали: в 2016 г. – от –35,34 до 30,45; в 2017 г. – от –16,40 до 18,30. Причем эффекты СКС по тестерам также значительно варьировали: по тестеру  $A_2O-1237$  интервал варьирования в 2016 г. составил –35,34...25,78; по тестеру  $A_2KBB$

114 – –28,31...18,13; по тестеру А<sub>1</sub>Ефремовское 2 – –13,02...30,45. В 2017г. колебания эффекта СКС по тестерам составил: А<sub>2</sub>О-1237 – –7,18...10,96, А<sub>2</sub>КВВ 114 – –15,23...19,07, А<sub>1</sub>Ефремовское 2 – –16,40...18,30. В опыте не выявлено комбинаций скрещиваний по тестерам, в которых бы отмечался только положительный или отрицательный эффект СКС. Наибольшие различия по эффекту СКС выявлены в скрещивании

тестеров со следующими сортообразцами суданской травы: Кинельская 100 (–28,31...25,78), Юбилейная 20 (–35,34...30,45), Саратовская 1183 (–23,89...17,87), Аллегория (–12,83...10,84). Наибольший эффект СКС обнаружен в следующих комбинациях скрещиваний: А<sub>1</sub>Ефремовское 2/Юбилейная 20, А<sub>2</sub>О-1237/Кинельская 100, А<sub>1</sub>Ефремовское 2/Саратовская 1183, А<sub>2</sub>КВВ 114/Краснодарская 75, А<sub>2</sub>О-1237/Кинельская 100.

**Таблица 3**

Комбинационная способность сортообразцов суданской травы (среднее 2016–2017 гг.)

| Сортообразец                  | Комбинационная способность | Высота растений | Длина листа | Ширина листа | Урожайность сырой биомассы | Урожайность сухого вещества биомассы |
|-------------------------------|----------------------------|-----------------|-------------|--------------|----------------------------|--------------------------------------|
| Зональская 6                  | ОКС                        | 11,13           | –3,58       | –0,07        | –3,43                      | –1,73                                |
|                               | СКС                        | 146,4           | 37,24       | 0,42         | 5,79                       | 0,07                                 |
| Чишминская ранняя             | ОКС                        | –3,68           | –3,80       | 0,06         | –4,08                      | –1,75                                |
|                               | СКС                        | 79,0            | 15,88       | 0,36         | 1,57                       | 0,11                                 |
| Краснодарская 75              | ОКС                        | –7,65           | –7,20       | 0,31         | –2,91                      | –1,02                                |
|                               | СКС                        | 155,6           | 27,57       | 0,19         | 7,59                       | 0,03                                 |
| Кинельская 100                | ОКС                        | –19,01          | –7,31       | –0,38        | –1,10                      | –1,36                                |
|                               | СКС                        | 736,3           | 38,95       | 0,26         | 19,29                      | 0,63                                 |
| Зерноградская                 | ОКС                        | 1,26            | 1,05        | 0,07         | –2,83                      | –0,45                                |
|                               | СКС                        | 28,4            | 49,31       | 0,38         | 0,81                       | 0,003                                |
| Л-106                         | ОКС                        | 14,51           | 2,61        | –0,40        | 2,26                       | 0,10                                 |
|                               | СКС                        | 279,2           | 46,54       | 0,29         | 4,42                       | 2,18                                 |
| Л-143                         | ОКС                        | 11,57           | 3,05        | 0,35         | –2,92                      | –1,11                                |
|                               | СКС                        | 90,2            | 2,19        | 0,57         | 1,51                       | 0,31                                 |
| МЕВ-728                       | ОКС                        | –10,79          | 1,73        | 0,20         | –2,33                      | –0,75                                |
|                               | СКС                        | 103,3           | 48,84       | 0,26         | 7,07                       | 0,37                                 |
| Якташ                         | ОКС                        | –11,68          | –3,14       | –0,42        | –0,21                      | –0,92                                |
|                               | СКС                        | 90,1            | 14,36       | 1,54         | 38,59                      | 3,68                                 |
| Юбилейная 20                  | ОКС                        | 6,23            | 0,66        | –0,08        | 1,49                       | 0,13                                 |
|                               | СКС                        | 677,6           | 10,93       | 0,08         | 24,42                      | 1,47                                 |
| Саратовская 1183              | ОКС                        | 2,35            | –2,72       | –0,38        | –2,98                      | –0,72                                |
|                               | СКС                        | 342,3           | 48,46       | 0,31         | 20,67                      | 0,86                                 |
| Аллегория                     | ОКС                        | 22,63           | 6,78        | 0,10         | 5,47                       | 0,93                                 |
|                               | СКС                        | 93,2            | 5,98        | 0,01         | 24,77                      | 0,56                                 |
| Славянка                      | ОКС                        | 1,10            | 5,09        | 0,28         | 3,05                       | –0,20                                |
|                               | СКС                        | 4,07            | 18,31       | 0,23         | 4,63                       | 0,40                                 |
| Александрина                  | ОКС                        | 20,71           | 4,14        | 0,73         | 6,20                       | 0,22                                 |
|                               | СКС                        | 632,4           | 75,53       | 0,22         | 87,07                      | 2,22                                 |
| Землячка                      | ОКС                        | 24,45           | 6,96        | –0,39        | –1,43                      | 0,30                                 |
|                               | СКС                        | 156,4           | 0,85        | 0,27         | 1,03                       | 0,07                                 |
| Элегия                        | ОКС                        | –3,25           | –3,37       | 0,39         | 0,75                       | 1,66                                 |
|                               | СКС                        | 37,9            | 1,08        | 0,23         | 4,43                       | 0,11                                 |
| Фаина                         | ОКС                        | –8,76           | –5,52       | –0,53        | 1,97                       | 1,85                                 |
|                               | СКС                        | 20,5            | 12,26       | 0,57         | 1,68                       | 0,79                                 |
| Анастасия                     | ОКС                        | 11,65           | –1,41       | 0,01         | 7,75                       | 4,87                                 |
|                               | СКС                        | 129,9           | 10,12       | 0,31         | 14,49                      | 0,23                                 |
| F <sub>факт.</sub> (линий)    | ОКС                        | 11,48*          | 7,43*       | 4,82*        | 21,92*                     | 694,18*                              |
| F <sub>факт.</sub> (тестеров) |                            | 26,16*          | 8,89*       | 14,99*       | 35,77*                     | 598,61*                              |
| F <sub>факт.</sub>            | СКС                        | 2,75*           | 1,71*       | 2,88*        | 9,67*                      | 75,36*                               |

По длине наибольшего листа положительный эффект ОКС наблюдался у сортообразцов суданской травы: Землячка, Александрина, Аллегория, Славянка, средний – зерноградская, Л-106, Л-143, МЕВ-728, Юбилейная 20, а отрицательный – Кинельская 100, Краснодарская 75, Фаина. Высокая дисперсия СКС по длине листа отмечалась у сортообразцов Александрина, зерноградская, МЕВ-728, Саратовская 1183. Низкая дисперсия СКС отмечена у сортов Землячка, Элегия и линии Л-143. Интервал варьирования эффектов ОКС составил: –7,31–6,96, а дисперсии СКС: 0,85–75,53.

Интервал варьирования эффектов СКС по длине наибольшего листа составил: в 2016 г. от –11,41 до 8,73; в 2017 г. от –8,03 до 5,55. В эксперименте выявлены высокие положительные эффекты СКС в следующих комбинациях скрещиваний: А<sub>2</sub>О-1237/Зерноградская, А<sub>2</sub>О-1237/Саратовская 1183, А<sub>2</sub>КВВ 114/Краснодарская 75, А<sub>1</sub>Ефремовское 2/Зональская 6, А<sub>2</sub>КВВ 114/Аллегория, А<sub>2</sub>КВВ 114/МЕВ-728, А<sub>1</sub>Ефремовское 2/Кинельская 100, А<sub>2</sub>КВВ 114/Л-106, А<sub>1</sub>Ефремовское 2/Юбилейная 20.

По ширине наибольшего листа высокий положительный эффект ОКС наблюдался у сортообразцов суданской травы: Александрина, Элегия, Л-143, Краснодарская 75; средний эффект ОКС установлен у сортообразцов Чижминская ранняя, зерноградская, МЕВ 728, Аллегория, Славянка, Анастасия, а отрицательный эффект ОКС – Фаина, Якташ, Л-106. Высокая дисперсия СКС по ширине листа отмечалась у сортообразцов Фаина, Л-143, Зональская 6. Низкая дисперсия СКС была отмечена у сортов Аллегория, Юбилейная 20. Интервал варьирования эффектов ОКС дифференцировал: –0,53–0,73, а дисперсии СКС: 0,01–0,57.

Сорта суданской травы Анастасия, Александрина, Аллегория, Фаина, Элегия, Славянка, Юбилейная 20, Л-106 характеризовались положительным эффектом ОКС по урожайности сырой биомассы, а отрицательным – Чижминская ранняя, Зональская 6, Краснодарская 75, Кинельская 100, зерноградская, Л-143, МЕВ-728, Якташ, Саратовская 1183, Землячка. Высокая дисперсия СКС по урожайности биомассы отмечалась у сортообразцов суданской травы Александрина, Якташ, Аллегория, Юбилейная 20; низкая – у зерноградская, Землячка, Л-143, Фаина. Интервал варьирования эффектов ОКС составил: –4,08–7,75, а дисперсии СКС: 0,81–87,07.

Диапазон варьирования урожайности сухого вещества эффектов ОКС составил: –1,75–4,87, а дисперсии СКС: 0,003–3,68. Наибольшие положительные эффекты ОКС наблюдались у сортообразцов суданской травы – Анастасия, Фаина, Элегия, отрицательные – Чижминская ранняя, Зональская 6. Выделены сорта и линии с наибольшей дисперсией СКС – Якташ, Александрина, Л-106, Юбилейная 20, а с меньшей – зерноградская, Краснодарская 75, Зональская 6, Землячка.

По комплексу хозяйственно-ценных признаков выявлены лучшие ССГ: А<sub>2</sub>О-1237/Александрина, А<sub>2</sub>КВВ 114/Якташ, А<sub>2</sub>КВВ 114/Аллегория, А<sub>2</sub>КВВ 114/Элегия, А<sub>1</sub>Ефремовское 2/Юбилейная 20, А<sub>1</sub>Ефремовское 2/Фаина.

### Выводы

Оценка комбинационной способности сортов и линий суданской травы в тестерных скрещиваниях с ЦМС-линиями зернового сорго позволила дифференцировать их не только по фактическим эмпирическим показателям, но и определить их селекционную ценность в соответствии с рассчитанными статистическими показателями ОКС и СКС. Выявлены сорта с высокой комбинационной способностью по всем изученным селекционным признакам – Аллегория, Александрина. Наибольшую практическую ценность в селекции синтетических популяций травянистого сорго представляют сорта Аллегория, Александрина, Анастасия, Землячка, Л-106. Для создания высокоурожайных сорго-суданковых гибридов (F<sub>1</sub>) необходимо использовать – Якташ, Юбилейная 20, Александрина, Аллегория, Фаина, Элегия.

### Список литературы / References

1. Ковтунова Н.А., Ермолина Г.М., Шишова Е.А. Сорта травянистого сорго для Ростовской области // Кормопроизводство. 2012. № 10. С. 27–28.
2. Koptunova N.A., Ermolina G.M., Shishova E.A. Sorghum grass varieties for the Rostov region // Kormoproizvodstvo. 2012. № 10. P. 27–28 (in Russian).
3. Морозов Е.В., Вертикова Е.А. Изучение исходного материала для селекции сорговых культур в условиях Нижнего Поволжья // Вестник Саратовского госагроуниверситета им. Н.И. Вавилова. 2013. № 8. С. 15–19.
4. Morozov E.V., Vertikova E.A. The Study of the Initial Material for Sorghum Crops Breeding in the Conditions of Nizhnee Povolzh'ye // Vestnik Saratovskogo gosagrouniversiteta im. N.I. Vavilova. 2013. № 8. P. 15–19 (in Russian).
5. Кибальник О.П., Эльконин Л.А., Кожемякин В.В. Хозяйственная ценность сорго-суданковых и суданко-сорговых гибридов F<sub>1</sub> // Кормопроизводство. 2011. № 3. С. 27–28.
6. Kibalnik O.P., Elkonin L.A., Kozhemyakin V.V. Economic value of sorghum-sudan grass and sudan grass-sorghum F<sub>1</sub> hybrids // Kormoproizvodstvo. 2011. № 3. P. 27–28 (in Russian).



4. Лящева С.В., Куколева С.С. Селекция суданской травы на высокую урожайность и питательность в условиях Юго-Востока РФ // Вавиловские чтения – 2014: сборник статей Международной научно-практической конф., посвященной 127-летию со дня рождения академика Н.И. Вавилова. СГАУ им. Н.И. Вавилова. Саратов, 2014. С. 123–124.

Lyashcheva S.V., Kukoleva S.S. Selection of a Sudanese grass on high productivity and nutritiousness in the conditions of the Southeast of the Russian Federation // Vavilovsky readings – 2014: The collection of articles international scientific and practical conf., devoted to the 127 anniversary since the birth of the academician N.I. Vavilov. SGAU of N.I. Vavilov. Saratov, 2014. P. 123–124 (in Russian).

5. Ковтунова Н.А., Шишова Е.А. Сорго-суданковые гибриды селекции ВНИИЗК // Зерновое хозяйство России. 2013. № 3. С. 38–41.

Kovtunova N.A., Shishova E.A. Sorghum-sudankovye hybrids of ARSRIGC selection // Zernovoe hozyajstvo Rossii. 2013. № 3. P. 38–41 (in Russian).

6. Гаршин А.Ю., Жужукин В.И., Семин Д.С. Определение комбинационной способности соргообразцов сахарного сорго по качеству зерна в тестерных скрещиваниях // Кукуруза и сорго. 2014. № 1. С. 20–23.

Garshin A.Yu., Zhuzhukin V.I., Semin D.S. Determination of Combining Ability of Sweet Sorghum Accessions Quality Grain Testernyh Crossbreeding // Kukuruza i sorgo. 2014. № 1. P. 20–23 (in Russian).

7. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). М.: Колос, 2011. 352 с.

Dospekhov B.A. Technique of field experiment (with bases of statistical processing of results of researches). M.: Kolos, 2011. 352 p. (in Russian).

8. Методические указания по проведению полевых работ с кормовыми культурами / Сост.: Ю.К. Новоселов, В.Н. Киев, Г.П. Кутузов и др. М.: РАСХН, 1997. 155 с.

Methodical instructions on carrying out field works with forage crops / Sost. Yu.K. Novoselov, V.N. Kieev, G.P. Kutuzov i dr. M.: RASHN, 1997. 155 p. (in Russian).

9. Савченко В.К. Метод оценки комбинационной способности генетически разнокачественных наборов родительских форм // Методики генетико-селекционного и генетического экспериментов. Минск: Наука и техника, 1973. С. 48–77.

Savchenko V.K. Method of assessment of combinational ability of genetically affine sets of parental forms // Techniques of genetiko-selection and genetic experiments. Minsk: Nauka i tekhnika, 1973. P. 48–77 (in Russian).

УДК 630\*165.3:582.736:630\*422.1(470.4)

**ОСНОВНЫЕ ИТОГИ СЕЛЕКЦИИ РОБИНИИ ЛЖЕАКАЦИИ  
В НИЖНЕМ ПОВОЛЖЬЕ**<sup>1,2</sup>Морозова Е.В., <sup>1</sup>Иозус А.П., <sup>3</sup>Крючков С.Н.<sup>1</sup>Камышинский технологический институт (филиал) ГОУ «Волгоградский государственный технический университет», Камышин, e-mail: end@kti.ru;<sup>2</sup>Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина), Санкт-Петербург;<sup>3</sup>ФГБНУ «Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения» Российской академии наук, Волгоград

Робиния лжеакация (*Robinia pseudoacacia* L.) широко распространена в защитных лесных насаждениях южных районов страны. В Волгоградской и Ростовской областях доля акации во вновь создаваемых насаждениях в 2017 г. составила более 30%. Однако насаждения зачастую создаются из неотселектированного посадочного материала и не отличаются достаточной устойчивостью, долговечностью и производительностью. В связи с чем был проведен комплекс селекционных мероприятий, включающих как синтетическую, так и аналитическую селекцию. Полученные в результате синтетической селекции в середине прошлого века межвидовые и внутривидовые гибриды робинии лжеакации, описанные в статье, не получили широкого распространения, хотя и были широко испытаны в Казахстане, Сибири и Поволжье. Лучшие результаты были получены при проведении аналитической селекции. В результате комплексной оценки работы естественного отбора материал был введен в коллекционные участки и архивы ВНИАЛМИ для дальнейшей проверки. Изучалась морозоустойчивость робинии лжеакации. Моделирование воздействия низких температур путем прямого промораживания потомства в климатической камере позволило определить критические температуры для обмерзающей, мачтовой и пирамидальной форм. Организацию лесосеменной базы робинии лжеакации в сухой степи Нижнего Поволжья необходимо вести на основе аналитической и синтетической селекции на объектах, прошедших длительные испытания в суровых природных условиях, их тщательной оценки по прямому признаку морозоустойчивости. Лесосеменные плантации следует создавать только из вегетативных потомств отселектированных особей, сочетающих признаки высокой морозоустойчивости, декоративности, со стабильным и качественным урожаем семян.

**Ключевые слова:** робиния лжеакация, аналитическая селекция, синтетическая селекция, Нижнее Поволжье**MAIN RESULTS OF ROBINIA PSEUDOACACIA BREEDING  
IN THE LOWER VOLGA REGION**<sup>1,2</sup>Morozova E.V., <sup>1</sup>Iozus A.P., <sup>3</sup>Kryuchkov S.N.<sup>1</sup>Kamyshin Technological Institute (branch) of Volgograd State Technical University, Kamyshin, e-mail: end@kti.ru;<sup>2</sup>Saint Petersburg Electrotechnical University «LETI», St. Petersburg;<sup>3</sup>ALL-Russian Research Institute of Agroforest Melioration, Volgograd

*Robinia Pseudoacacia* (*Robinia pseudoacacia* L.) is widely distributed in the protective forest plantations of the southern parts of the country. In the Volgograd and Rostov regions, the share of acacia in the newly created plantations in 2017 was more than 30%. However, plantings are often created from unselected planting material and are not distinguished by sufficient stability, durability and productivity. In this connection, a complex of selection measures was carried out, including both synthetic and analytical selection. The interspecific and intraspecific hybrids of *Robinia Pseudoacacia*, obtained as a result of synthetic breeding, described in the article, were not widely used, although they were widely tested in Kazakhstan, Siberia and the Volga region. The best results were obtained during the analytical breeding. As a result of comprehensive assessment of the natural breeding work, the material was introduced into collection plots and archives of the All-Russian Scientific Research Institute of Agroforestry for further verification. The frost resistance of *Robinia Pseudoacacia* was studied. Modeling the effects of low temperatures by direct freezing of the offspring in the climate chamber allowed us to determine the critical temperatures for the frosting form, the mast form and pyramidal form. The organization of the forest seed base camp of *Robinia* in the dry steppe of the Lower Volga region should be carried out on the basis of analytical and synthetic breeding of objects that have undergone lengthy tests under severe environmental conditions. They should be carefully evaluated by the direct sign of frost resistance. Forest seed plantations should be created only from vegetative offsprings of selected plants, combining such characteristics as high frost resistance, decorativeness and stable and high-quality seed yield.

**Keywords:** *Robinia Pseudoacacia*, analytical breeding, synthetic breeding, the Lower Volga region

Робиния лжеакация (*Robinia pseudoacacia* L.) широко распространена в защитных лесных насаждениях южных районов страны.

Робиния лжеакация – светолюбивая, засухоустойчивая и солевыносливая порода

с ажурной кроной, по архитектонике наиболее благоприятна для создания ажурных и ажурно-продуваемых полезащитных лесных полос. Засухоустойчивость, малая требовательность к плодородию почв, сравни-

тельная легкость размножения семенным путем сделали белую акацию очень популярной древесной породой в защитном лесоразведении.

В соответствии с Приказом Рослесхоза [1] была изменена схема смешения древесных пород при создании насаждений. В результате доля робинии лжеакалии во вновь создаваемых насаждениях в 2017 г. составила в Волгоградской области свыше 30 %, а в Ростовской до 50 %.

Однако насаждения создаются посадочным материалом, выращенным из неотсементированного семенного материала, поэтому обладают невысокой засухо- и морозоустойчивостью. В экстремальные годы, когда летняя засуха сочетается с относительно суровой зимой, наблюдается массовое обмерзание и отпад (до 30 %) деревьев.

Основной недостаток *Robinia pseudoacacia* L. – малая морозостойкость. Так, в суровые зимы 1968/69 г., 2002/2003 г. в Волгоградской области, на северо-востоке Ростовской, Астраханской областей и республики Калмыкия насаждения из белой акации почти полностью погибли или сильно обмерзли [2, 3].

Из других видов робиний, испытанных в Волгоградском и Камышинском дендрариях, большую морозоустойчивость проявили робиния пышная (*R. luxurians* (Dieck.) C.K. Schneid.) и новомексиканская (*R. neomexicana* Gray.). Однако эти виды больше пригодны для озеленения, поскольку по высоте они значительно уступают робинии лжеакалии. Эти виды привлекались селекционерами в синтетической селекции робиний на морозоустойчивость.

Робинию лжеакацию сейчас можно встретить и в Ленинградской области, но в основном южнее: Гомель – Курск – Воронеж – Саратов [4]. Для интродукции и повышения морозоустойчивости этой породы там, в условиях короткого светового дня, был применен метод воспитания акации, применяемый в южных широтах. Опыт увенчался успехом, белая акация здесь стала меньше подмерзать, успешно расти и плодоносить.

Для агролесомелиорации наибольшее значение имеет выделение морозостойких биотипов в районах Поволжья, северных частях Ставропольского края и Ростовской области [5]. Такая работа проведена ВНИАЛМИ после суровых зим 1968/69 и 1971/72 гг. и жесточайшей засухи лета 1972 г [2, 6].

В настоящее время на планете идут процессы глобального потепления. В Нижнем Поволжье наблюдаются процессы аридизации климата, при которых зимы становятся более холодными, а летне-осенние периоды более теплыми. Поэтому в настоящее время актуальным является развитие селекционных работ по повышению устойчивости робинии псевдоакалии к изменяющимся климатическим условиям аридного региона, созданию постоянной лесосеменной базы из отсементированных видов, форм и сортообразцов с повышенной устойчивостью, долговечностью и производительностью.

Цели исследования: определение перспективных направлений селекционных работ и выделение перспективных сортообразцов *Robinia pseudoacacia* L. для организации в регионе постоянной лесосеменной базы этой породы с целью обеспечения потребностей защитного лесоразведения и озеленения Нижнего Поволжья в устойчивом и долговечном селекционно улучшенном материале, адаптированном для аридных условий юго-востока России.

#### Материалы и методы исследования

Селекция робинии включает два основных направления: синтетическая и аналитическая селекции, что определило отбор объектов исследования.

Отобранные в результате аналитической селекции особи морозоустойчивой, мачтовой и пирамидальной форм были вегетативно размножены и посажены в архив клонов. На их основе в период с 1977 по 2015 г. были проведены работы по сортоиспытанию на участках, заложенных в ОПХ ВНИАЛМИ (уручище Горная Поляна) на площади 3,0 га из 20 потомств плюсовых деревьев и в Волгоградском лесничестве на площади 3,5 га из 22 потомств. Почвенные условия этих объектов типичны для сухой степи – светло-каштановые среднесолонцеватые почвы (II категория лесопригодности). Схема закладки растений 5×5 м; потомства каждого клона представлены отдельным рядом; повторность 3-кратная. Для каждой группы деревьев, отобранных из одной экологической ниши, вводили контроль [2].

При проведении исследований по синтетической селекции использовались общепринятые методики по подбору и скрещиванию видов и форм робинии [3]. Оценка морозостойкости проводилась по визуально-глазомерной шкале Пятницкого [3].

Изучали условия местообитания и состояния древостоя. При отсутствии пря-

мых показателей морозоустойчивости или при слабой их выраженности учитывали косвенные фенологические и морфологические особенности робинии лжеакакии, которые должны быть решающими при равенстве нескольких признаков.

Морозостойкость деревьев в насаждениях оценивали до полного облиствления побегов.

При обработке полученных данных использовали моделирование в MS Excel общеизвестные методики. Для оценки роста состояния жизнестойкости селекционного материала использовали методики ВНИАЛМИ [7]. Все показатели опытных образцов сравнивали с контролем.

*История вопроса.* Первые селекционные работы с акациями во ВНИАЛМИ были начаты в 1940–1941 гг. З.К. Шумиловой [6].

В 1948 г. на лесостепной опытной станции (Липецкая область) проведены опыты по половой гибридизации робинии лжеакакии и новомексиканской акации [3]. На робинии лжеакакии было получено 27,1 % плодов от числа опыленных цветков и семян в бобе – 3,7 %, на новомексиканской акации – соответственно 14,3 % и 5 %. При гибридизации робиний нет необходимости в предварительной кастрации цветков, хотя они и обоеполые.

Полученные гибриды были высажены на постоянное место с размещением 2×2 м. За ростом и развитием их до 1956 г. вели наблюдения (табл. 1). В 1955 г. некоторые из этих гибридов начали плодоносить, и собранные семена были посланы для испытания в Казахстан, Сибирь и Поволжье. Потомство оказалось недостаточно жизнестойким и дало большой отпад; гетерозис проявился весьма слабо. К 1956 г. гибридов от скрещивания робинии лжеакакии с новомексиканской не сохранилось.

Полученные в результате работ по синтетической селекции в середине прошлого века межвидовые и внутривидовые гибриды робинии псевдоакакии, описанные выше, не получили широкого распространения, хотя и были широко испытаны в Казахстане, Сибири и Поволжье. Здесь они показали себя недостаточно жизнестойкими, имел место большой отпад, и гетерозис проявился слабо [6].

### Результаты исследования и их обсуждение

Поэтому на основе анализа приведенного выше материала нами была составлена новая перспективная схема прямых и реципрокных скрещиваний робинии с использованием в качестве исходного материала устойчивых видов и форм сохранившиеся в результате 30–50-летнего естественного отбора в защитных лесных насаждениях и культурах Нижнего Поволжья. В результате комплексной оценки выделенный материал был введен в коллекционные участки и архивы ВНИАЛМИ, составивший базу для современной синтетической селекции.

Научными исследованиями во ВНИАЛМИ в 1969–2015 гг. была установлена связь морозоустойчивости белой акации с ее фенологическими и другими биологическими свойствами [2, 6].

Неомерзающие (зимостойкие) экземпляры отличались коротким периодом роста, приуроченным к маю – июню. У растений с продолжительным периодом роста (в течение всей вегетации) ежегодно подмерзало до 60 % от годовичного побега. Деревья средней группы страдали только после суровых зим, неомерзающие биотипы имели лучшие показатели роста, количественные и качественные показатели плодоношения.

**Таблица 1**

Рост в высоту гибридов робиний, полученных от прямых и обратных скрещиваний белой и новомексиканской акаций (по А.В. Альбенскому, 1959 г.) [3]

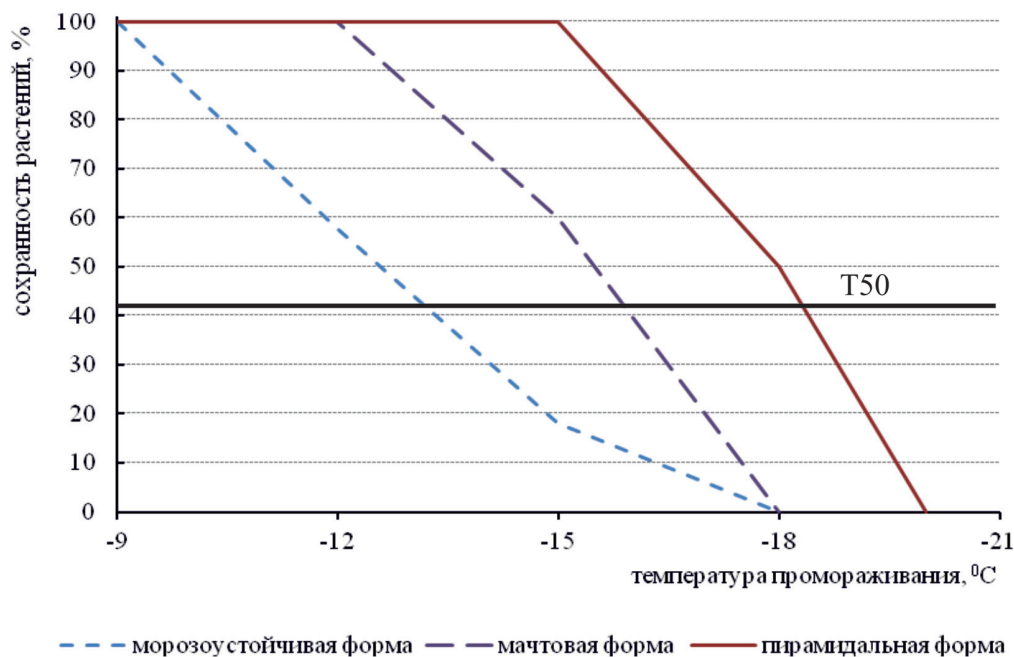
| Подопытные растения                  | 1949     |     | 1950     |     | 1951     |       | 1952     |     | 1956     |     |
|--------------------------------------|----------|-----|----------|-----|----------|-------|----------|-----|----------|-----|
|                                      | сред-ний | max | сред-ний | max | сред-ний | max   | сред-ний | max | сред-ний | max |
| Робиния лжеакация х новомексиканская | 3,7      | 11  | 19,4     | 40  | 39,6     | 84,0  | 106,0    | 144 | –        | –   |
| Новомексиканская х робиния лжеакация | 14,9     | 50  | 46,3     | 120 | 69,5     | 160,0 | 136,0    | 245 | 226      | 320 |
| Робиния лжеакация                    | 5,6      | 13  | 19,8     | 43  | 32,6     | 55,5  | 91,4     | 125 | 173      | 220 |
| Новомексиканская                     | 9,4      | 24  | 25,8     | 51  | 64,2     | 114,0 | 111,8    | 177 | 183      | 320 |

Наряду с полевыми фенологическими исследованиями морозоустойчивости робинии проводили моделирование воздействия низких температур путем прямого промораживания потомства в климокамере (рисунок).

Цветение белой акации соответствует динамике роста побегов: бурное, но непродолжительное у морозостойких и растянутое по времени у сильно обмерзающих

экземпляров (из-за очередности цветения различных участков крон). Морозостойкие растения характеризуются также сравнительно слабым завязыванием и медленным ростом бобов. Обмерзающие деревья отличаются большой завязываемостью плодов и мощным их ростом.

Была проведена оценка репродуктивной способности различных форм робинии по методике ВНИАЛМИ (табл. 2).



T50 – температура, при которой гибнет 50% растений.

*Сохранность робинии при искусственном промораживании*

**Таблица 2**

Репродуктивная способность различных форм робинии в 10-летнем возрасте, испытательные культуры ОПХ ВНИАЛМИ, 2011–2012 гг.

| Показатель                        |        | Форма      |                  |            |
|-----------------------------------|--------|------------|------------------|------------|
|                                   |        | мачтовая   | морозоустойчивая | контроль   |
| Плодоношение, балл                |        | 3,2        | 4,5              | 4,0        |
| Масса 1000 шт. семян, г           |        | 16,0 ± 0,4 | 19,1 ± 0,5       | 22,1 ± 0,5 |
| Полнозернистость, %               |        | 83,0 ± 1,1 | 69,9 ± 0,9       | 58,0 ± 1,0 |
| Количество недоразвитых бобов, %  |        | 6,5 ± 0,3  | 10,5 ± 0,5       | 6,6 ± 0,4  |
| Количество пораженных огневкой, % | бобы   | 20,5 ± 0,5 | 40,0 ± 0,7       | 85,0 ± 0,8 |
|                                   | семена | 5,2 ± 0,5  | 15,5 ± 0,6       | 35,7 ± 0,5 |
| Выход семян, %                    |        | 42,0       | 45,9             | 24,0       |
| Размеры плода, мм                 | длина  | 63 ± 1,5   | 60 ± 1,7         | 84 ± 1,9   |
|                                   | ширина | 9-10       | 8-11             | 11-15      |
| Количество семян в плоде, шт.     |        | 7          | 6                | 8          |
| Грунтовая всхожесть, %            |        | 10         | 90               | 85         |



Таблица 3

Характеристика перспективных биотипов и форм робинии, выделенных для селекционной работы (в знаменателе показатели контрольных растений), 1986–2010 гг.

| Характеристика                |                                | Объекты отбора                                         |                                                           |                                                                      |
|-------------------------------|--------------------------------|--------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|
|                               |                                | Волгоградское лесничество (защитные лесные насаждения) | Тормосиновское лесничество (культуры), Волгоградская обл. | Волгоградское лесничество (Коллекционный сортоиспытательный участок) |
| Селекционная категория        |                                | Сортообразец «Волжанка»                                | Сортообразец «Чирская»                                    | Сорт «Комета»                                                        |
| Форма                         |                                | типичная                                               | мачтовая                                                  | пирамидальная                                                        |
| Количество деревьев, шт.      |                                | $\frac{22}{30}$                                        | $\frac{25}{30}$                                           | $\frac{18}{30}$                                                      |
| Возраст, лет                  |                                | $\frac{40}{40}$                                        | $\frac{70}{70}$                                           | $\frac{22}{22}$                                                      |
| Высота, м                     |                                | $\frac{12,5}{11,0}$                                    | $\frac{22,0}{19,0}$                                       | $\frac{13,0}{11,5}$                                                  |
| Диаметр, см                   |                                | $\frac{28,0}{23,0}$                                    | $\frac{32,0}{28,0}$                                       | $\frac{16,0}{12,0}$                                                  |
| Плодоношение по Капперу, балл |                                | $\frac{4,0}{4,0}$                                      | $\frac{2,5}{2,5}$                                         | $\frac{0}{0}$                                                        |
| Морозоустойчивость            | Обмерзание по Пятницкому, балл | $\frac{0,5}{1,0}$                                      | $\frac{1,5}{1,5}$                                         | $\frac{2,5}{3,0}$                                                    |
|                               | T50*                           | $\frac{-19}{-16}$                                      | $\frac{-16}{-16}$                                         | $\frac{-11}{-9}$                                                     |

Примечание. \*T50 – температура, при которой гибнет 50 % растений (вегетационный опыт).

Как видно из табл. 3, мачтовая форма акации, несмотря на самую высокую полнотернистость, устойчивость к огневке, имеет очень низкую грунтовую всхожесть. Морозоустойчивая форма и контроль, несмотря на наличие пораженных огневкой плодов и семян, более низкую полнотернистость, имели грунтовую всхожесть выше. Нами был разработан агротехнический прием, позволяющий значительно повысить грунтовую всхожесть разных форм акаций, в том числе семян, хранившихся в подстилке 3–5 лет. Семена помещаются в бак, заливаются кипятком, закрываются крышкой и настаиваются в течение суток. После чего набухшие семена выбираются и высеваются, оставшиеся снова заливаются кипятком на сутки. Процесс повторяется 3–4 раза.

По результатам сортоиспытаний были выделены перспективные сортообразцы (табл. 3).

Робинии пирамидальной формы по основным отличительным признакам (быстрота роста, компактность кроны, высокая засухо- и жароустойчивость) присвоен статус сорта «Комета».

#### Заключение

Робиния, отличаясь большим полиморфизмом, имеет ряд ценных морфологических

форм. Наибольший интерес для агролесомелиорации представляют мачтовая форма, характеризующаяся полнодревесным, хорошо очищенным от сучьев стволом, и пирамидальная – с компактной узкой кроной.

Необходимо на новом уровне вернуться к показавшей свою эффективность мировой практике синтетической селекции и составить схему скрещиваний с использованием в качестве исходных отобранных при аналитической селекции видов и форм, произрастающих на коллекционных участках, архивах Нижнего Поволжья.

Проведенные работы по сортовыведению позволили получить сорт «Комета» и перспективные сортообразцы «Чирская» и «Волжанка».

Основные успехи продвижения белой акации в районы защитного лесоразведения были достигнуты путем простого отбора, селекции устойчивых растений при интродукции этой породы. Однако широкому внедрению робинии по всему региону Нижнего Поволжья препятствует ее уязвимость в суровые бесснежные зимы.

#### Список литературы / References

1. Приказ Рослесхоза от 25.04.2017 № 179 «Об утверждении Методических указаний по осуществлению ле-

созащитного районирования» [Электронный ресурс]. URL: <http://rulaws.ru/acts/Prikaz-Rosleshoza-ot-25.04.2017-N-179/> (дата обращения: 10.08.2018).

The order of the Rosleskhoz of 25.04.2017 № 179 «On approval of guidelines for the implementation of forest protection zoning» [Electronic resource]. URL: <http://rulaws.ru/acts/Prikaz-Rosleshoza-ot-25.04.2017-N-179/> (date of access: 10.08.2018).

2. Жукова О.И. Биологические особенности *Robinia pseudoacacia* L. для создания лесосеменных плантаций. // Проблемы природоохранной организации ландшафтов: материалы Межд. науч.-практ. конф., посв. 100-летию выпуска первого мелиоратора в России (24–25 апреля 2013 г.). Часть 1. Ред. С.С. Таран. НГМА. Новочеркасск, 2013. С. 175–178.

Zhukova O.I. Biological characteristics of *Robinia pseudoacacia* L. for creation of seed orchards. // Problemy prirodoohrannoj organizacii landshaftov: materialy mezhd. nauch.-prakt.konf., posv. 100-letiyu vypuska pervogo melioratora v Rossii (24–25 aprelya 2013). Chast' 1. Red. S.S. Taran. NGMA. Novocherkassk, 2013. P. 175–178 (in Russian).

3. Альбенский А.В. Селекция древесных пород и семеноводство. М.: Гослесбумиздат, 1959. 306 с.

Albensky A.V. Tree breeding and seed production. M.: Goslesbumizdat, 1959. 306 p. (in Russian).

4. Акатов В.В., Акатова Т.В., Шадже А.Е. *Robinia Pseudoacacia* L. на Западном Кавказе // Российский журнал биологических инвазий. 2016. № 1. С. 2–23.

Akatov V.V., Akatova T.V., Shadzhe A.E. *Robinia Pseudoacacia* L. in the Western Caucasus // Russian Journal of Biological Invasions. 2016. № 1. P. 2–23 (in Russian).

5. Седых С.А., Бабошко О.И. Использование робинии лжеакалии в защитном лесоразведении Ростовской области. // Международный студенческий научный вестник. 2015. № 2–3 [Электронный ресурс]. URL: <https://eduherald.ru/ru/article/view?id=12321> (дата обращения: 10.08.2018).

Sedyh S.A., Baboshko O.I. The use of *Robinia plohakatsii* in protective afforestation of the Rostov region // Mezhdunarodnyy studencheskiy nauchnyy vestnik. 2015. № 2–3 [Electronic resource]. URL: <https://eduherald.ru/ru/article/view?id=12321> (date of access: 10.08.2018) (in Russian).

6. Иозус А.П., Крючков С.Н., Морозова Е.В. Селекция и репродукция древесных пород для защитного лесоразведения: монография. Волгоград: ВолгГТУ, 2016. 184 с.

Iozus A.P., Krjuchkov S.N., Morozova E.V. Selection and reproduction of tree species for protective afforestation: monograph. Volgograd: VolgGTU, 2016. 184 p. (in Russian).

7. Научно-методические указания по сортоводству деревьев и кустарников для защитного лесоразведения в аридных регионах. Волгоград: ВНИАЛМИ, 2013. 51 с.

Scientific and methodological guidelines for tree and shrub varieties for protective afforestation in arid regions. Volgograd: VNIALMI, 2013. 51 p. (in Russian).

УДК 630\*182.21:633.877(571.56)

**РОСТ И РАЗВИТИЕ ПОДРОСТА КЕДРА (PINUS SIBIRICA DU TOUR)  
ПОД ПОЛОГОМ ЛЕСА И НА ВЫРУБКАХ ЮГО-ЗАПАДНОЙ ЯКУТИИ****Никитина Н.В., Михайлова Л.М.***ФГБОУ ВО «Якутская государственная сельскохозяйственная академия», Якутск,  
e-mail: nadezhda\_nikitin@mail.ru*

Закономерности роста и развития подростка кедра сибирского (*Pinus sibirica* Du Tour) на северо-восточной границе ареала (юго-западной части Якутии) в силу своей слабой изученности актуальны. Цель работы – изучение возобновления подростка кедра (*Pinus sibirica* Du Tour) в лесах Юго-Западной Якутии. Методами полевого изучения флоры исследуемых лесов являются полевые геоботанический и маршрутный методы. Для учета возобновления закладывали пробные площадки различных размеров в разных участках леса. Корреляционный анализ прироста подростка кедра с климатическими условиями принят за 15 лет и взят в типах леса, представленными различными условиями местопрорастаний и составом древесных пород и растительности под пологом древостоев. Наибольшее по числу подростка кедра отмечается под пологом древостоев, где участие зрелых деревьев кедра составляет от 3 единиц и более. Для этих типов леса характерна невысокая сомкнутость крон, подлесок обычно отсутствует. Наблюдается существенная зависимость прироста подростка кедра с суммой осадков в мае месяце и связь прироста подростка кедра и температуры воздуха в весенне-летние месяцы. Количество осадков в зимний период на открытом участке играет довольно существенную роль. Это время года связано с очень низкими отрицательными температурами и наличием мощного снегового покрова. Снеговой покров благоприятно влияет на сохранность и защиту корневой системы подростка. Скопившийся снег на кронах взрослых деревьев способен послужить причиной снеголома молодых ветвей подростка, на что указывает отрицательная корреляционная зависимость величины прироста с осадками в зимние месяцы. Тем не менее в целом взаимосвязь прироста подростка кедра с осадками под пологом леса является незначительной.

**Ключевые слова:** корреляционная зависимость, коэффициент корреляции, возобновление, подрост, прирост, кедр сибирский, кедровые леса, лиственничники, всходы

**GROWTH AND DEVELOPMENT OF THE CEDAR (PINUS SIBIRICA DU TOUR)  
ADOLESCENT UNDER THE FOREST PROTECTION  
AND ON THE CUT-OVER AREAS OF SOUTH-WESTERN YAKUTIA****Nikitina N.V., Mikhaylova L.M.***Yakutsk State Agricultural Academy, Yakutsk, e-mail: nadezhda\_nikitin@mail.ru*

The patterns of growth and development of Siberian cedar undergrowth (*Pinus sibirica* Du Tour) on the northeastern boundary of the range (southwestern part of Yakutia) are relevant due to their poor knowledge. The aim of the work is to study the renewal of cedar undergrowth (*Pinus sibirica* Du Tour) in the South-Western Yakutia forests. Field geobotanical and route methods were used in field study of the flora of the studied forests. Trial plots of various sizes were laid in different parts of the forest to account the renewal. Correlation analysis of the growth rate of cedar undergrowth with climatic conditions was taken for 15 years in forest types represented by different conditions of growth and the composition of tree species and vegetation under the canopy of the stands. The greatest number of undergrowth of cedar was noted under the canopy of stands, where the participation of mature cedar trees is from 3 units or more. These types of forests are characterized by a low crown density, the undergrowth is usually absent. There is a significant dependence of the growth of cedar regrowth with the amount of precipitation in May, and the relation between the growth of cedar regrowth and air temperature in the spring and summer months. The amount of precipitation in the winter in an open area is very much significant. This season is associated with very low negative temperatures and the presence of heavy snow cover. Snow cover favorably affects the safety and protection of the root system of the undergrowth. The accumulated snow on the crowns of adult trees can cause the snowbreak of young branches of the undergrowth, as indicated by the negative correlation dependence of the increment value with precipitation in the winter months. However, in general the relationship between the growth of cedar regrowth and rainfall under the forest canopy is insignificant.

**Keywords:** correlation dependence, correlation coefficient, renewal, undergrowth, growth, *Pinus sibirica*, *Pinus sibirica* forests, larch forests, seedlings

Кедровые и лиственничные леса с участием кедра сибирского распространены небольшими массивами в юго-западной части Якутии, где образуют северо-восточную границу ареала кедра. Они занимают вершины и верхние части склонов невысоких увалов и не имеют распространения на более низких уровнях. В настоящее время площади кедровых лесов и лесов с участи-

ем кедра значительно сокращаются в результате пожаров и антропогенных факторов. В связи с этим все более остро встает проблема создания путей для сохранения и дальнейшего их воспроизводства.

Кедровые леса на северо-восточной границе ареала до настоящего времени специально не изучались. Работы, проведенные ранее в рамках общего изучения лесов, сла-

бо отражают их структурные особенности. Поэтому результаты, изложенные в данной работе, могут послужить основой для использования в практических целях. Принимая во внимание природную специфику и своеобразные закономерности восстановления кедровых лесов, значительно отличающихся их от других лесов, весьма актуально изучение возобновительных процессов на северо-восточной границе ареала в условиях многолетней мерзлоты.

Цель исследования: изучение возобновления подроста кедра в лесах Юго-Западной Якутии.

### Материалы и методы исследования

Объектом исследований является кедр сибирский и леса с его участием в составе древостоя. Были применены полевые геоботанические и маршрутные методы исследований. Анализ флористического состава кедровых лесов выполнен на основании собственных таксационных описаний и фондовых материалов группы лесоведения ИБПК СО РАН. Описание лесной растительности, а также условий ее произрастания проведено по методике В.Н. Сукачева. Эколого-систематический анализ флоры произведен по А.Л. Бельгарду, Т.Н. Буториной и А.И. Толмачеву.

Динамика экоморфного состава флоры по стадиям от светлохвойных к темнохвойным прослежена с применением фитоценологического индекса, высчитываемого для каждого вида.

Для учета возобновления закладывались площадки различных размеров более чем в 100 разных участках леса.

При корреляционном анализе связи прироста подроста с климатическими данными использовали программу Excel. Для проведения корреляционного анализа прироста подроста кедра с климатическими данными применялись усредненные показатели прироста подроста за 15 лет.

Для изучения восстановления кедра сибирского проводился посев семян кедра сибирского в различных типах леса. При этом закладывались площадки по 5 м<sup>2</sup> в 5 вариантах в 10-кратной повторности по следующей схеме: контроль; посев в лунки глубиной 2–3 см в ненарушенный покров; посев под подстилку в лунки на глубину 2–3 см с удалением напочвенного покрова; посев в лунки глубиной 2–3 см с удалением напочвенного покрова; посев в узкие бороздки на глубину 2–3 см.

Рост подроста кедра сибирского и других сопутствующих пород, в том числе

численность и ход роста, изучали в типах леса, имеющих наибольшее распространение: лиственничных лесах бруснично-зеленомошных с участием кедра в подросте; лиственничных лесах с елью и кедром бруснично-зеленомошных; кедровых лесах с участием лиственницы бруснично-зеленомошных; кедровых лесах бруснично-зеленомошных; кедровых лесах с елью бруснично-зеленомошных. Для этих типов леса характерна средняя сомкнутость крон (0,6–0,7) [1].

Анализ корреляции прироста подроста кедра сибирского и климатических условий рассматривали на участке, лишенном взрослого древостоя, и под его пологом.

### Результаты исследования и их обсуждение

В ходе проведения исследований в кедровых лесах, лиственнично-кедровых типах леса нами выявлено, что естественное возобновление кедра сибирского хорошее. Отмечается, что лучшие лесорастительные условия данного района исследований в лесах со средней сомкнутостью полога, независимо от количества участия взрослых деревьев кедра сибирского и примеси других пород. Данный факт является характерным для лесов района исследований и является несколько отличным от произрастания подроста кедра под пологом древостоя в основном ареале распространения данных типов леса.

Ранее нами было исследовано, что количество подроста кедра варьирует от 0,9 до 5,9 тыс. экз/га. Как отмечалось, количество подроста кедра в разных типах леса от лиственничников с участием кедра в подросте до лиственничников без участия в древостое приблизительно равны (таблица). Но с увеличением взрослых деревьев кедра в составе древостоя наблюдается количественное увеличение подроста кедра.

Наибольшая численность подроста кедра отмечается под пологом древостоев, где участие зрелых деревьев кедра в составе древостоя составляет от 3 единиц и более. Для этих типов леса характерна невысокая сомкнутость крон и отсутствие подлеска. Хорошо развит напочвенный покров, способствующий сохранению влаги и создающий оптимальные условия для развития всходов [2].

Условия обсеменения являются основным моментом для успешного возобновления лесов. Под пологом материнских пород подрост кедра развивается наиболее успешнее и быстрее.

Изменение средней численности подроста разных пород в сукцессионном ряду кедровых лесов бруснично-зеленомошных групп, тыс. экз/ га

| Порода              | Лиственничный лес бруснично-зеленомошный с подростом кедра | Лиственничный лес с елью и кедром бруснично-зеленомошный и близкие к нему типы | Кедровник с лиственничной бруснично-зеленомошной и близкие к нему типы | Кедровник бруснично-зеленомошный и близкие к нему типы | Кедровник с елью бруснично-зеленомошный |
|---------------------|------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|-----------------------------------------|
| Кедр                | $1,5 \pm 0,3$                                              | $1,9 \pm 0,2$                                                                  | $2,5 \pm 0,3$                                                          | $5,9 \pm 0,9$                                          | $0,9 \pm 0,04$                          |
| Ель, редко пихта    | $1,25 \pm 0,2$                                             | $1,6 \pm 0,1$                                                                  | $1,7 \pm 0,2$                                                          | $1,8 \pm 0,2$                                          | $1,3 \pm 0,08$                          |
| Лиственница         | $1,0 \pm 0,05$                                             | $2,1 \pm 0,04$                                                                 | $1,8 \pm 0,2$                                                          | $1,5 \pm 0,1$                                          | $0,3 \pm 0,01$                          |
| Сосна               | $1,0 \pm 0,04$                                             | $0,4 \pm 0,02$                                                                 | 0                                                                      | $0,75 \pm 0,1$                                         | 0                                       |
| Береза <sup>1</sup> | $0,75 \pm 0,1$                                             | $0,9 \pm 0,04$                                                                 | $1 \pm 0,02$                                                           | $0,7 \pm 0,07$                                         | $0,65 \pm 0,02$                         |

В результате исследований выявлено, что подрост кедра в темнохвойных лесах с участием кедра развивается хуже, что связано с затенением подроста кедра. Вследствие чего совершается отпад подроста кедра и, наоборот, развитие подроста других темнохвойных пород. В лиственничных лесах с кедром зеленомошных для подроста свойственно сокращение темпов роста лиственницы, сосны и березы под пологом насаждений со средней и высокой сомкнутостью (рис. 1). Темпы роста ели и кедра происходят медленнее, несмотря на то, что они устойчивы к затенению.

Исследования взаимосвязи роста подроста кедра и погодных условий показали следующее. На открытых участках наблюдается незначительное увеличение температуры воздуха в мае и июне, что благоприятно влияет на прирост (показатель корреляции равен 0,25 и 0,26 соответственно). Взаимосвязь прироста и температурных условий в следующие месяцы летнего периода отрицательная (в июле  $r = -0,3$ , в августе  $r = -0,2$ ) (рис. 2, А).

Связь прироста подроста на открытых участках с суммой осадков в мае и июне отрицательна и равна  $-0,58$  и  $-0,38$  соответственно. В то же время связь со среднемесячными температурами положительная. Малое количество осадков и высокие положительные температуры положительно сказываются на ростовых процессах. В зимние месяцы с января по март осадки на открытых участках играют значительную роль ( $r$  от 0,38 до 0,6) (рис. 2, Б). Осадки являются определяющим фактором формирова-

ния подроста в районе исследований, так как обеспечивают почву влагой. Нельзя не учитывать и световой режим. Он обеспечивает лучшие ростовые показатели подроста, который зависит от степени сомкнутости крон древостоя и развития подлеска. Данное условие существенно определяет интенсивность активной обеспеченности корней деревьев минеральными веществами, что значительно влияет на конкурентоспособность древесных пород за обеспечение питательными веществами.

На участках под пологом древостоев наибольшее значение коэффициента корреляции прироста и среднемесячной температуры наблюдается с марта по май и равно 0,35–0,45. Связь с количеством осадков под пологом леса незначительна.

Главный «обсеменитель» кедра – кедровка. Она откладывает незначительные резервы семенных запасов на открытых участках, в особенности на вырубках, тем самым формируя условия для однородного прорастания подроста кедра.

Напочвенный покров играет большую роль в росте и развитии подроста. Так, следует заметить, что травяной покров может оказывать в большей степени негативное влияние на возобновление кедра. Заросшие травами участки избегает кедровка, и они плохо обсеменяются.

Среднеразвитый моховой покров оказывает благоприятные действия для появления сходов кедра и темнохвойных пород. Моховой покров дает значительное преимущество в возобновлении кедра и темнохвойных пород перед светлехвойными породами.



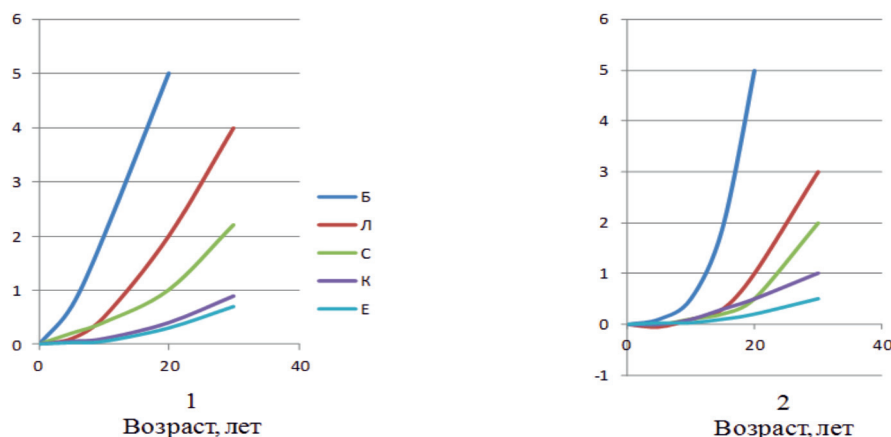


Рис. 1. Ход роста в высоту подроста лиственницы (Л), сосны (С), кедра (К), ели (Е) и березы (Б) под пологом среднесомкнутых – 0,5–0,6 (1) и высокосомкнутых – 0,8 (2) древостоев лиственничника с елью и кедром бруснично-зеленомошного

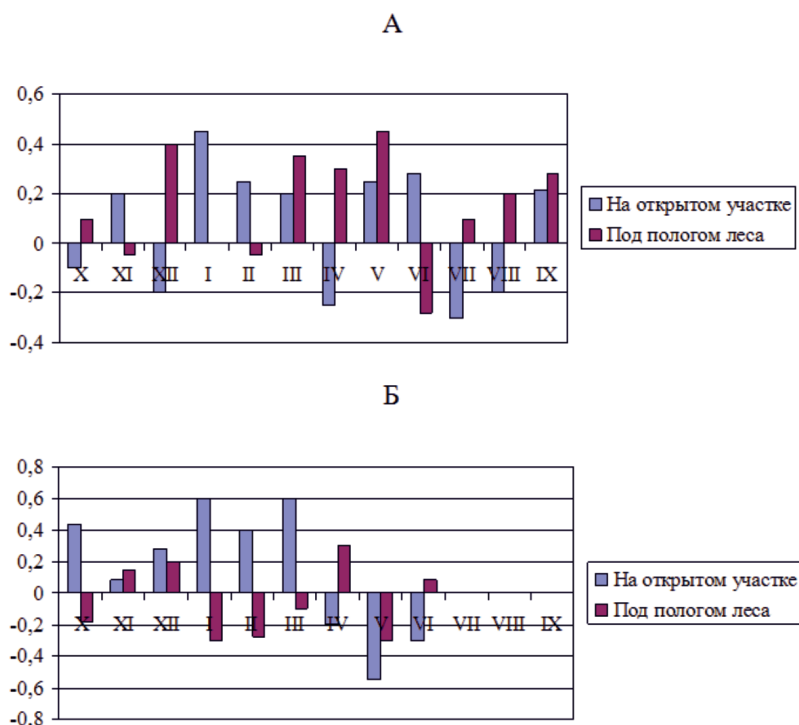


Рис. 2. Коэффициент корреляции прироста подроста кедра сибирского от среднемесячной температуры воздуха (А) и (Б) суммы осадков на открытом участке и под пологом леса

В районе исследований нами были проведены экспериментальные исследования по прорастанию всходов кедра. В ходе наблюдений выявлено, что наилучшие условия прорастания всходов отмечаются на молодом моховом покрове длиной более 4 см. Моховой покров удерживает в себе необходимую для прорастания влагу и одновременно необходимое тепло солнечного света.

Мощный моховой покров, в свою очередь, может играть и отрицательную роль для появления наибольшего количества молодых деревьев кедра.

В своем участии под пологом древесных пород подрост кедра сибирского может во многом иметь преимущества в своем развитии по сравнению с другими хвойными породами [3, 4]. В лесах с наиболее зна-

чительной сомкнутостью и относительно высокой степенью влажности развитие кедрового подроста несколько замедляется. Такого же рода формирование наблюдается у подроста ели, когда при возрастании сомкнутости и влажности возобновительная способность меняется. Тем не менее, количество подроста ели под темнохвойными породами остается высокой.

Особую значимость в восстановлении кедр способен играть подрост пихты сибирской (*Abies sibirica*). Устойчивое количество подроста пихты сибирской под пологом темнохвойных типов леса объясняется такими характеристиками, как большая теневыносливость и умение переносить подавление со стороны взрослого древостоя. В более хорошо освещенных местопроизрастаниях пихта способствует успешному развитию всходов кедр, формируя нужное притенение и защиту. Следует отметить, что в условиях, благоприятных для развития подроста ели и пихты, эти породы являются мощнейшими соперниками кедр сибирского.

Для подроста лиственницы наилучшие условия в лиственничных типах леса с участием ели и кедр, где условия влажности пригодны для прорастания семян и развития ее всходов. С увеличением сомкнутости крон и сформированном напочвенном покрове восстановительные способности лиственницы понижаются.

Следует выделить, что возобновление молодых деревьев разных пород на месте бывшей вырубке лиственного леса с елью и кедром бруснично-зеленомошном совершается сильнее, чем в лиственных лесах брусничного типа. Это доказывают исследования в разные годы в Юго-Западной Якутии, проведенные исследователями в разные годы [5–7].

Во всем ряду лиственничных типов леса брусничных, лиственничников с елью и кедром бруснично-зеленомошных имеется достаточно сформированный моховой покров, длительное время остающийся главным компонентом живого напочвенного покрова. Успешность обсеменения на таких участках зависит от количества откладываемых на запас семян кедровой, а также благоприятными условиями развития всходов на участках с развитым моховым покровом [8–10].

Почти абсолютно на всех бывших рубках лиственнично-кедровых и кедровых древостоев, вследствие собственной пластичности по отношению к освещенности,

подрост кедр сибирского произрастает успешно. Также этому способствует присутствие подлеска и подроста иных пород, которые формируют нужное притенение.

Замечено, что в первые годы развития подроста кедр, ему требуется достаточно большая освещенность.

Увеличение температуры воздуха в июне и июле способно послужить причиной перегрева верхнего слоя почвы, вследствие чего почва иссушается. Повышение числа осадков во время начала прироста побегов в период с апреля по июнь, на участке без древостоя уменьшает рост молодых деревьев. Особенно это заметно на участках с наименьшим обилием мохового покрова.

В мае месяце прослеживается переувлажнение почвы оттаявшими водами и повышением влажности из-за протайки вечной мерзлоты (отрицательное значение корреляции).

Зимний период года (январь – март) сопряжен с весьма невысокими отрицательными температурами. По этой причине, присутствие мощного слоя снегового покрова способствует сохранению и защите корневой системы подроста древесных пород. Тем не менее в целом взаимосвязь прироста подроста кедр с осадками под пологом леса является незначительной.

### Выводы

Стабильная высокая численность подрост кедр сибирского в разных типах леса на границе ареала свидетельствует об его высоком возобновительном потенциале в сравнении с другими хвойными породами при совместном их произрастании. Наибольшая численность подрост кедр отмечается под пологом древостоев, где участие зрелых деревьев кедр в составе древостоя составляет от трех единиц и более.

В темнохвойных лесах с участием кедр подрост кедр развивается хуже, что связано с его затенением. Вследствие совершается отпад подрост кедр.

Наилучшие условия прорастания всходов отмечаются на молодом моховом покрове длиной более 4 см. Моховой покров удерживает в себе необходимую для прорастания влагу и необходимое тепло солнечного света.

Почти абсолютно на всех бывших рубках лиственнично-кедровых и кедровых древостоев, вследствие собственной пластичности по отношению к освещенности, подрост кедр сибирского произрастает успешно.

На участке, где древостой отсутствует, незначительное увеличение температуры воздуха в мае и июне благоприятно влияет на прирост. Увеличение температуры воздуха в мае и июне может послужить причиной перегрева верхнего слоя почвы, в результате чего почва иссушается.

Увеличение осадков во время начала процессов прироста побегов в мае и по сентябрь, на безлесном участке уменьшает прирост молодых деревьев.

Осадки в июле и некоторое понижение среднемесячной температуры благоприятно сказываются на ростовых процессах.

Зимний период года (январь-март) сопряжен с минусовой температурой. Мощный снеговой покров достаточно сильно благоприятствует сохранности и защите корневой системы подроста древесных пород.

#### Список литературы / References

1. Исаев А.П. Устойчивость лесов криолитозоны к антропогенным факторам // Успехи современного естествознания. 2012. № 11–1. С. 41–43.
2. Исаев А.П. The stability of the forests of the cryolithozone to anthropogenic factors // Advances in current natural sciences. 2012. № 11–1. P. 41–43 (in Russian).
3. Николаева С.А., Панов А.Н. Сезонный рост и развитие побегов кедра сибирского под пологом сосновых и березовых насаждений. // Лесоведение. 2012. № 3. С. 59–68.
4. Nikolaev S.A., Panov A.N. Seasonal growth and development of Siberian cedar shoots under a canopy of pine and birch stands. // Forest science. 2012. № 3. P. 59–68 (in Russian).
5. Никитина Н.В., Исаев А.П. Состав и структура кедровых лесов Олекминского улуса // Флора и растительность Якутии: Сборник научных статей, 1999. С. 82–85.
6. Nikitina N.V., Isaev A.P. The composition and structure of cedar forests of the Olekminsky ulus // Flora and vegetation of Yakutia: Collection of scientific articles, 1999. P. 82–85 (in Russian).
7. Никитина Н.В. Формирование темнохвойно-кедровых лесов в Якутии // Проблемы изучения растительного покрова Якутии. Сахаполиграфиздат, 2004. С. 59–63.
8. Nikitina N.V. Formation of dark coniferous cedar forests in Yakutia // Problems of studying the vegetation cover of Yakutia. Sakhapoligraphizdat, 2004. P. 59–63 (in Russian).
9. Николаева С.А., Савчук Д.А. Динамика возобновления кедров сибирского на Кеть-Чулымском междуречье (Западно-Сибирская равнина) // Интерэкспо Гео-Сибирь. 2015. № 4. С. 64–68.
10. Nikolaeva S.A., Savchuk D.A. The Siberian Stone Pine Regeneration Dynamics in the Ket-Chulym Interfluvium (West Siberian Plain) // Intere'kspo Geo-Sibir'. 2015. № 4. P. 64–68 (in Russian).
11. Протопопова В.В., Габышева Л.П., Габышева Л.П. Возникновение лесных пожаров в Центральной Якутии в зависимости от условий погоды // Современные проблемы науки и образования. 2015. № 4 [Электронный ресурс]. URL: <http://www.science-education.ru/ru/article/view> (дата обращения: 24.10.18).
12. Protoporova V.V., Gabysheva L.P., Gabysheva L.P. The emergence of forest fires in Central Yakutia, depending on weather conditions // Modern problems of science and education. 2015. № 4 [Electronic resource]. URL: <http://www.science-education.ru/ru/article/view> (date of access: 24.10.18) (in Russian).
13. Исаев А.П. Естественная и антропогенная динамика лиственничных лесов криолитозоны (на примере Якутии): автореф. дис. ... докт. биол. наук. Якутск, 2011. 66 с.
14. Isaev A.P. Natural and anthropogenic dynamics of larch forests in the cryolithozone (on the example of Yakutia): avtoref. dis. ... dokt. biol. nauk. Yakutsk, 2011. 66 p. (in Russian).
15. Лыткина Л.П. Лесовосстановление на горях Ленно-Амгинского междуречья (Центральная Якутия). Новосибирск: Наука, 2010. 117 с.
16. Lytkina L.P. Reforestation on the burned areas of the Lena-Amginsky district (Central Yakutia). Novosibirsk: Science, 2010. 117 p. (in Russian).
17. Пак Л.Н., Бобринев В.П. Естественное возобновление кедров сибирского в шелкопрядах Восточного Забайкалья // Известия Алтайского государственного университета. 2009. № 3. С. 24–26.
18. Pak L.N., Bobrinev V.P. Natural Renewal of a Cedar Siberian in the Silkworm Plantations in the East Transbaikalia // Izvestiya Altajskogo gosudarstvennogo universiteta. 2009. № 3. P. 24–26 (in Russian).
19. Танцырев Н.В. Лесоводственно-экологический анализ естественного возобновления кедров сибирского на сплошных горях и вырубках в горных лесах Северного Урала: автореф. дис. ... канд. биол. наук. Екатеринбург, 2012. 21 с.
20. Tantsyrev N.V. The Lesovodstvenno-ekologicheskyy analiz of natural renewal of a cedar Siberian on continuous garyakh and cuttings in mountain forests of Northern Urals: avtoref. dis. ... kand. biol. nauk. Ekaterinburg, 2012. 21 p. (in Russian).

УДК 631.41:631.821.1(470.4)

## НЕКОТОРЫЕ ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИЗВЕСТКОВАНИЯ СЕРЫХ ЛЕСНЫХ ПОЧВ ВЕРХНЕВОЛЖЬЯ

**Окорков В.В., Окоркова Л.А.***ФГБНУ «Верхневолжский федеральный научный центр», п. Новый, Владимирская обл.,  
e-mail: okorkovvv@yandex.ru*

На серой лесной среднекислой среднесуглинистой почве в колонках изучен механизм взаимодействия доломитовой муки (ДМ), гипса, их сочетания с почвенным поглощающим комплексом (ППК). Мелиоранты были внесены в 2 верхних слоя мощностью по 10 см, в 2 нижних слоя мелиорант не вносился. Через колонки порциями по 50 мл пропускали по 300 и 510 мм воды (500 и 850 мл). В процессе опыта проведен анализ почвы и фильтратов. Установлено, что в колонках без мелиоранта и с применением ДМ концентрация двухвалентных катионов Са и Мг в 1-й порции фильтрата составила 12,7–19,8 мг-экв/л, а величина pH – 6,71–6,81. Эти параметры обусловлены наличием в почве нитратов Са и Мг и вытеснением из ППК части внутриагрегатных ионов водорода. В последующих порциях концентрация фильтрата быстро снижается до 2,45–4,59 мг-экв/л, а pH повышается до 6,98–7,27. Выявлено, что снижение гидролитической кислотности ( $H_+$ ) при внесении ДМ обусловлено связыванием ионов водорода, расположенных преимущественно на поверхности почвенных агрегатов, в малодиссоциированное соединение ( $H_2O$ ) ионами гидроксидов. Последние ионы образуются при гидролизе ионов  $CO_3^{2-}$  растворившегося мелиоранта. Коэффициент использования растворенной ДМ, внесенной в дозах 0,61, 1,0 и 2,0 гидролитической кислотности, в слое 0–20 см составил соответственно 0,75, 0,65 и 0,57. При внесении гипса и сочетании ДМ с гипсом концентрация Са и Мг в 1-й порции фильтрата варьировала от 23,6 до 26,4 мг-экв/л, а величина pH – от 6,44 до 6,58. Высокие концентрации Са и Мг увеличивали вытеснение внутриагрегатных ионов водорода. В последующих порциях фильтрата в колонках сочетания ДМ и гипса в дозах 1,0 и 0,4  $H_+$ , ДМ и гипса в дозах 2,0 и 0,8  $H_+$  при прохождении 500 мл воды концентрация Са и Мг постепенно снижалась до 12,6–23,2 мг-экв/л, величина pH варьировала от 6,45 до 6,82. При сочетании ДМ с гипсом в указанных дозах по сравнению с одной ДМ использование растворенной ДМ возрастало с 0,65 и 0,57 до 0,76 и 0,62–0,70 соответственно.

**Ключевые слова:** доломитовая мука, гипс, гидролитическая кислотность, щелочной гидролиз  $CO_3^{2-}$ , серая лесная среднекислая почва

## CERTAIN WAYS TO IMPROVE THE EFFICIENCY OF LIMING GRAY FOREST SOILS OF THE UPPER VOLGA

**Okorkov V.V., Okorkova L.A.***Upper Volga Federal Agricultural Scientific Center, Novyy, Vladimir region, e-mail: okorkovvv@yandex.ru*

The mechanism of interaction of dolomite powder (DP), gypsum, and their combination with the soil absorbing complex (SAC) have been studied in the columns on the gray forest medium-loamy soil. Ameliorants were introduced into 2 upper layers with a thickness of 10 cm, and ameliorant was not introduced into 2 lower layers. 300 and 510 mm of water (500 and 850 ml) were passed through the columns in portions of 50 ml. During the experiment, the analysis of soil and filtrates was performed. It was found that in columns without ameliorant and using DM the concentration of bivalent Ca and Mg cations in the 1st portion of the filtrate was 12.7–19.8 mg-Eq/l, and the pH – 6.71–6.81. These parameters are based on the presence of soil nitrates of Ca and Mg and displacement of SAC parts of intraaggregate hydrogen ions. The concentration quickly decreases to 2.45–4.59 mg-Eq/l and pH increased to 6.98–7.27 in the subsequent portions of the filtrate. It was found that the reduction of hydrolytic acidity ( $H_+$ ) when introducing DP is due to the binding of hydrogen ions located mainly on the surface of soil aggregates, into a low-dissociated compound ( $H_2O$ ) with hydroxyl ions. The latter ions are formed during the hydrolysis of  $CO_3^{2-}$ -dissolved ameliorant. The utilization coefficient of dissolved DP introduced in doses of 0.61, 1.0 and 2.0 hydrolytic acidity in a layer of 0–20 cm was 0.75, 0.65 and 0.57, respectively. When applying gypsum and combining DP with gypsum, the concentration of Ca and Mg in the 1st portion of the filtrate varied from 23.6 to 26.4 mg-Eq/l, and the pH value – from 6.44 to 6.58. High concentrations of Ca and Mg increased the displacement of intraaggregate hydrogen ions. In the subsequent filtrate portions in the columns of DP and gypsum combination in doses of 1.0 and 0.4  $H_+$ , DP and gypsum in doses of 2.0 and 0.8  $H_+$  with the passage of 500 ml of water, the concentration of Ca and Mg gradually decreased to 12.6–23.2 mg-Eq/l, the pH varied from 6.45 to 6.82. When combined with gypsum DM in these doses compared to single DP the use of dissolved DM increased from 0.65 and 0.57 to 0.76 and 0.62–0.70, respectively.

**Keywords:** dolomite powder, gypsum, hydrolytic acidity, alkaline hydrolysis of  $CO_3^{2-}$ , gray forest medium-acid soil

В России из 50–58 млн га избыточно кислых почв сильно- и среднекислые занимают 23–25 млн га [1–2]. Кислотность этих почв – генетическое свойство, связанное с климатом и условиями почвообразования на бескарбонатных почвообразующих породах, интенсивности сельскохозяйственного использования, состояния окружающей среды. Без оптимизации реакции среды в почве

нельзя создать высокопродуктивное земледелие и лугопастбищное хозяйство, решить продовольственную и экологическую проблемы, обеспечить эффективность факторов интенсификации земледелия [3–5].

Для устранения почвенной кислотности было предложено применять известковые удобрения [6–8]. Механизм их действия связывался с вытеснением ионов водорода ио-



нами кальция растворяющегося мелиоранта. Однако коэффициенты использования доз извести, рассчитанных по половинной и полной величинам гидролитической кислотности ( $H_T$ ), чаще всего варьировали от 0,4 до 0,6, снижаясь с увеличением их доз [9]. Это требовало научного объяснения.

В работах [9–11] изучалось взаимодействие известковых материалов (доломитовой муки, ДМ) и гипса с поглощающим комплексом кислых почв. Для сильнокислых слабо агрегированных дерново-подзолистых почв основной механизм взаимодействия известковых материалов с поглощающим комплексом заключался в гидролизе ионов  $CO_3^{2-}$  растворяющегося известкового мелиоранта по обеим ступеням с образованием гидроксил-ионов. Последние связывают поглощенные ионы водорода и алюминия соответственно в малодиссоциированное ( $H_2O$ ) и малорастворимое ( $Al(OH)_3$ ) соединения. В обменное состояние взамен указанных ионов входят ионы  $Ca$  и  $Mg$  [9–10]. Коэффициент использования растворенного мелиоранта при невысокой концентрации двухвалентных катионов в жидкой фазе достигает 75–95 %.

На менее кислых более агрегированных почвах [9, 11] взаимодействие ДМ с их ПК происходит преимущественно в результате гидролиза ионов  $CO_3^{2-}$  по 1-й ступени. Коэффициент использования растворенного мелиоранта снижается до 0,55–0,65. Он совпадает со степенью гидролиза карбонат-ионов растворенного мелиоранта. В то же время сочетание ДМ с невысокими дозами гипса повышает коэффициент использования растворенной ДМ до 0,7–0,8. Это обусловлено тем, что высокая концентрация двухвалентных ионов  $Ca$  от растворяющегося гипса вызывает переагрегацию ПК. В результате этого катионы  $Ca$  взаимодействуют с кислыми внутриагрегатными группами с выделением ионов водорода в жидкую фазу. Ее подкисление вызывает гидролиз бикарбонат-ионов и повышает коэффициент использования растворенного мелиоранта. Снижение гидролитической кислотности наблюдается и глубже слоя внесения мелиорантов.

Очевидно, более высокая концентрация двухвалентных катионов  $Ca$  и  $Mg$  в жидкой фазе может создаваться в паровых полях в результате процессов нитрификации с образованием нитратов кальция и магния. Это может повышать скорость и эффективность известкования.

Цель исследования: изучить механизм взаимодействия известковых материалов

и гипса с поглощающим комплексом парующейся среднекислой серой лесной почвы Верхневолжья.

### Материалы и методы исследования

Исследования проводили в колонках, в два верхних разделяемых слоя которых (по 10 см) массой по 175 г были внесены дозы ДМ, гипс и его сочетание с ДМ, в два последующих мелиорант не вносился. Через колонки порциями по 50 мл через два дня пропускали по 500 мл дистиллированной воды, что соответствовало выпадению половинной нормы (300 мм) годовых осадков. Через колонки 6 (двойная доза ДМ) и 7 (двойная доза ДМ + гипс) пропускали 850 мл воды (510 мм осадков). Фильтрат собирали по порциям количественно. В нем определяли состав анионов ( $HCO_3^-$ ,  $SO_4^{2-}$ ,  $Cl^-$ ,  $NO_3^-$ ) и катионов ( $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ) для контроля результатов анализа. По окончании опыта колонки разбирали по почвенным слоям, которые высушивали при 50 °С и растирали в фарфоровой ступке, анализировали по общепринятым методам агрохимического анализа. Величину pH каждого слоя в данном опыте определяли при соотношении почва:вода 1:1 (достижение состояния пластичности почвы). Использовали образцы серой лесной почвы (слой 0–30 см), отобранной в конце лета из разреза 6–18 (табл. 1). Разрез заложен в понижении, в котором весной более длительно застаивалась вода, удлиняя период «поспевания» почвы. В 10 м от него точнее располагался кустарник.

### Результаты исследования и их обсуждение

На среднекислых серых лесных почвах при прохождении через колонку № 1 (контроль) 500 мл воды произошло снижение гидролитической кислотности с 5,77–5,75 до 5,42–5,60 мг-экв/100 почвы (табл. 1–3). Это обусловлено тем, что в паровом поле накопилось 1,95 мг-экв/100 г почвы нитратов в форме кальциевой и магниевой селитры. Количество двухвалентных катионов их соответствовало 0,34  $H_T$ . Высокая концентрация двухвалентных катионов в жидкой фазе первых порций фильтрата (табл. 4) вызвала переагрегацию поглощающего комплекса с вытеснением в жидкую фазу внутриагрегатных ионов водорода [9]. Однако отсутствие агентов их связывания (ионов  $OH^-$ ) сдерживало этот процесс. В результате  $K_{исп}$  селитры на снижение  $H_T$  варьировал от 16,9 до 20,8 %. Уменьшение  $H_T$  варьировало от 0,15 до 0,33 мг-экв/100 г почвы.



Таблица 1

Физико-химическая характеристика сильнооподзоленной  
серой лесной почвы (разрез 6–18)

| Горизонт         | Глубина<br>слоя, см | pH <sub>KCl</sub> | H <sub>Г</sub>     | S    | H <sub>ОБМ</sub> | Al <sub>обм</sub> <sup>*</sup><br>мг/100 г почвы | Содержание частиц, % |          |
|------------------|---------------------|-------------------|--------------------|------|------------------|--------------------------------------------------|----------------------|----------|
|                  |                     |                   | мг-экв/100 г почвы |      |                  |                                                  | <0,001 мм            | <0,01 мм |
| A <sub>ПАХ</sub> | 0–30                | 4,82              | 5,77               | 20,8 | 0,10             | 0,18                                             | 7,08                 | 37,2     |
| A <sub>1</sub>   | 30–57               | 4,87              | 6,30               | 21,4 | 0,07             | 0,09                                             | 7,44                 | 34,4     |
| A <sub>2</sub> B | 57–67               | 4,67              | 4,72               | 13,8 | 0,05             | 0,09                                             | 7,80                 | 38,3     |
| B                | 67–100              | 4,32              | 3,32               | 14,0 | 0,12             | 0,54                                             | 18,3                 | 39,1     |
| BC               | 100–140             | 4,40              | 2,80               | 15,0 | 0,13             | 0,72                                             | 23,3                 | 42,9     |

Таблица 2

Влияние мелиорантов на физико-химические свойства серой лесной почвы

| № колонки                                            | Слой колонки, см | pH <sub>водн</sub> <sup>*</sup> 1:1 | H <sub>Г</sub>     | S     | H <sub>обм</sub> | A1 <sub>обм</sub> <sup>*</sup> мг/100 г почвы | Нерастворенная ДМ |       |
|------------------------------------------------------|------------------|-------------------------------------|--------------------|-------|------------------|-----------------------------------------------|-------------------|-------|
|                                                      |                  |                                     | мг-экв/100 г почвы |       |                  | мг-экв/100 почвы                              | % от внесенной    |       |
| 1. Контроль                                          | 0–10             | 5,77                                | 5,77               | 20,8  | 0,20             | 0,36                                          | –                 | –     |
|                                                      | 10–20            | 5,84                                | 5,42               | 20,8  | 0,13             | 0,09                                          | –                 | –     |
|                                                      | 20–30            | 5,86                                | 5,60               | 21,0  | 0,12             | 0,0                                           | –                 | –     |
|                                                      | 30–40            | 5,77                                | 5,42               | 21,2  | 0,11             | 0,09                                          | –                 | –     |
| 2. Гипс – 0,4 Н <sub>Г</sub>                         | 0–10             | 5,48                                | 5,25               | 21,0  | 0,11             | 0,09                                          | –                 | –     |
|                                                      | 10–20            | 5,53                                | 5,42               | 20,8  | 0,11             | 0,09                                          | –                 | –     |
|                                                      | 20–30            | 5,31                                | 5,60               | 20,7  | 0,12             | 0,18                                          | –                 | –     |
|                                                      | 30–40            | 5,55                                | 5,25               | 21,1  | 0,11             | 0,09                                          | –                 | –     |
| 3. ДМ – 1,0 Н <sub>Г</sub>                           | 0–10             | 6,70                                | 2,45               | 25,60 | 0,08             | 0,0                                           | 1,05              | 18,3  |
|                                                      | 10–20            | 6,65                                | 2,80               | 26,0  | 0,10             | 0,0                                           | 1,30              | 22,6  |
|                                                      | 20–30            | 5,82                                | 5,60               | 21,0  | 0,11             | 0,0                                           | –                 | –     |
|                                                      | 30–40            | 5,77                                | 5,60               | 21,0  | 0,12             | 0,0                                           | –                 | –     |
| 4. ДМ – 1,0 Н <sub>Г</sub> + гипс 0,4 Н <sub>Г</sub> | 0–10             | 6,32                                | 3,15               | 25,8  | 0,15             | 0,0                                           | 1,95              | 33,9  |
|                                                      | 10–20            | 6,25                                | 3,15               | 26,4  | 0,16             | 0,0                                           | 2,45              | 42,6  |
|                                                      | 20–30            | 5,51                                | 5,77               | 21,0  | 0,12             | 0,18                                          | –                 | –     |
|                                                      | 30–40            | 5,45                                | 5,77               | 21,6  | 0,10             | 0,0                                           | –                 | –     |
| 5. ДМ – 0,61 Н <sub>Г</sub>                          | 0–10             | 6,37                                | 3,67               | 24,4  | 0,10             | 0,0                                           | 1,07              | 30,5  |
|                                                      | 10–20            | 6,30                                | 3,67               | 24,0  | 0,15             | 0,0                                           | 0,47              | 13,4  |
|                                                      | 20–30            | 5,76                                | 6,12               | 21,8  | 0,12             | 0,0                                           | –                 | –     |
|                                                      | 30–40            | 5,75                                | 5,95               | 21,2  | 0,10             | 0,18                                          | –                 | –     |
| 6. ДМ – 2,0 Н <sub>Г</sub>                           | 0–10             | 7,15                                | 1,75               | 25,2  | 0,09             | 0,0                                           | 4,45*             | 38,7* |
|                                                      | 10–20            | 7,09                                | 1,75               | 25,3  | 0,09             | 0,0                                           |                   |       |
|                                                      | 20–30            | 5,90                                | 5,42               | 22,2  | 0,11             | 0,09                                          | –                 | –     |
|                                                      | 30–40            | 5,81                                | 5,25               | 22,0  | 0,13             | 0,09                                          | –                 | –     |
| 7. ДМ – 2,0 Н <sub>Г</sub> + гипс 0,8 Н <sub>Г</sub> | 0–10             | 6,75                                | 1,75               | 25,2  | 0,12             | 0,0                                           | 5,07*             | 44,1* |
|                                                      | 10–20            | 6,87                                | 1,75               | 25,3  | 0,09             | 0,0                                           |                   |       |
|                                                      | 20–30            | 5,70                                | 4,90               | 23,0  | 0,11             | 0,27                                          | –                 | –     |
|                                                      | 30–40            | 5,60                                | 5,60               | 21,4  | 0,12             | 0,18                                          | –                 | –     |

Примечание. \* – Размеры нерастворенной ДМ, рассчитанные с использованием данных по коэффициенту использования внесенной ДМ и степени гидролиза растворенного мелиоранта (по величине pH<sub>водн</sub> = 1:1).

В колонке № 2 с дозой гипса  $0,4 \text{ Н}_\Gamma$  суммарный эффект селитры и гипса возрастал. Снижение  $\text{Н}_\Gamma$  по слоям колонки по сравнению с её исходной величиной  $5,75 \text{ мг-экв/100 г}$  почвы варьировало от  $0,15$  до  $0,50 \text{ мг-экв/100 г}$  (табл. 2). Отводя весь эффект гипсу, получаем, что коэффициент использования дозы его  $0,4 \text{ Н}_\Gamma$  в слое  $0\text{--}20$  и  $0\text{--}40 \text{ см}$  составил соответственно  $0,36$  и  $0,32$  (табл. 3). Внесение гипса по сравнению с контрольной колонкой вело к снижению  $\text{pH}_{\text{водн}}$  почвы ( $1:1$ ) с  $5,77\text{--}5,86$  до  $5,31\text{--}5,55$ . Это объясняет дополнительное вытеснение из ППК внутриагрегатных ионов водорода.

Внесение ДМ в дозе по  $1,0 \text{ Н}_\Gamma$  привело к резкому уменьшению гидролитической кислотности преимущественно в слое внесения до  $2,45\text{--}2,80 \text{ мг-экв/100 г}$  почвы. При этом доля растворенного мелиоранта составила  $79,6\%$ . При сочетании ДМ ( $1,0 \text{ Н}_\Gamma$ ) с гипсом ( $0,4 \text{ Н}_\Gamma$ ) наблюдали снижение гидролитической кислотности в слоях  $0\text{--}10$  и  $10\text{--}20 \text{ см}$  на меньшую величину (до  $3,15 \text{ мг-экв/100 г}$  почвы), что связано с меньшими размерами растворившейся ДМ ( $61,8\%$ ).

Доломитовая мука в дозе  $0,61 \text{ Н}_\Gamma$  рассчитанная на уменьшение гидролитической кислотности сверх  $15\%$  емкости катионного обмена [9], в слое  $0\text{--}20 \text{ см}$  почвы снижала величину  $\text{Н}_\Gamma$  с  $5,75$  до  $3,67 \text{ мг-экв/100 г}$  почвы (до  $13,6\%$  от емкости поглощения), что совпадало с планируемой величиной. В слоях  $20\text{--}30$  и  $30\text{--}40 \text{ см}$  произошло некоторое повышение её (с  $5,75$  до  $5,95\text{--}6,12 \text{ мг-экв/100 г}$  почвы). Доля растворенной ДМ составила  $78\%$  от внесенной дозы её.

В колонках № 6 с двойной дозой ДМ и № 7 (двойная доза ДМ +  $0,8$  дозы гипса по  $\text{Н}_\Gamma$ ) в слоях внесения мелиорантов при прохождении  $510 \text{ мм}$  воды произошло дальнейшее снижение гидролитической кислотности (с  $5,75$  до  $1,75 \text{ мг-экв/100 г}$  почвы), а растворение ДМ составило соответственно  $61,3$  и  $55,9\%$  от внесенной дозы. Отсюда можно заключить, что максимальное количество растворившейся ДМ не превышало  $1,2 \text{ Н}_\Gamma$ . Очевидно, для повышения полноты растворения известковых материалов необходим контакт той же их дозы с большим объемом почвы. В полевых условиях это может выполняться их заделкой в более глубокий слой  $0\text{--}30 \text{ см}$  плугами ПЯ-3-35 или ПНЯ-4-40.

Размеры обменной кислотности и обменного алюминия были невысокими. Наиболее низкими они были при применении

ДМ, особенно в слое  $0\text{--}20 \text{ см}$  почвы. Они не должны оказывать токсичного влияния на развитие корневых систем возделываемых культур.

В табл. 3 представлены данные по коэффициентам использования внесенной ДМ, в том числе и в сочетании с гипсом.  $K_{\text{исп}}$  ДМ, внесенной в дозе по  $1,0 \text{ Н}_\Gamma$  составил  $54,4\%$ , а в дозе  $0,61 \text{ Н}_\Gamma$  –  $59,2\%$ . Сочетание ДМ с гипсом снизило  $K_{\text{исп}}$  её с  $54,4$  до  $45,2\%$ . Для двойной дозы ДМ при прохождении через колонки по  $510 \text{ мм}$  воды он равнялся  $34,8\%$ .

Таким образом,  $K_{\text{исп}}$  внесенной ДМ возрастал с уменьшением её доз, но снижался при сочетании с гипсом, изменяясь от  $34,8$  (для двойной по  $\text{Н}_\Gamma$  дозы ДМ) до  $54,4\text{--}59,2\%$  (для доз ДМ, варьирующих от  $1,0$  до  $0,61 \text{ Н}_\Gamma$ ).

В то же время для оценки эффективности доз ДМ и сочетания её с гипсом более корректно использовать данные по  $K_{\text{исп}}$  растворенного мелиоранта. Для этого по данным  $\text{pH}_{\text{водн}}$  почвы ( $1:1$ ) в слое  $0\text{--}20 \text{ см}$  после взаимодействия с мелиорантами находили степень гидролиза ионов  $\text{CO}_3^{2-}$  растворенного мелиоранта. Она была близка к  $K_{\text{исп}}$  растворенной ДМ на снижение  $\text{Н}_\Gamma$  в этом слое [9]. Так как  $\text{pH}_{\text{водн}}$  почвы после взаимодействия с мелиорантом был ниже  $8,3$ , то гидролиз  $\text{CO}_3^{2-}$ -ионов по 1-й ступени ( $\text{pK}_2 = 10,32$ ,  $\text{pK}_2$  – отрицательный десятичный логарифм константы диссоциации угольной кислоты по 2-й ступени) был полным –  $100\%$  ( $\text{CO}_3^{2-} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{HCO}_3^- + \text{OH}^-$ ). Гидролиз же по 2-й ступени ( $\text{HCO}_3^- + \text{H}_2\text{O} \leftrightarrow \text{H}_2\text{CO}_3 + \text{OH}^-$ ) рассчитывали, используя формулу

$$\alpha_1 = \frac{100}{1 + 10^{\text{PK1} - \text{pH}}},$$

где  $\alpha_1$  – степень диссоциации слабой угольной кислоты по 1-й ступени,  $\text{PK1}$  – отрицательный десятичный логарифм константы диссоциации угольной кислоты по 1-й ступени.

По разнице  $100 - \alpha_1$  находили степень гидролиза по 2-й ступени. Общую степень гидролиза карбонат-ионов в слоях  $0\text{--}10$  и  $10\text{--}20 \text{ см}$  рассчитывали по формуле

$$[100 + (100 - \alpha_1)] : 2 = 100 - \alpha_1 / 2.$$

Для слоя  $0\text{--}20 \text{ см}$  почвы  $K_{\text{исп}}$  растворенной ДМ при применении её полной дозы, составил  $65,2\%$ . Он повышался до  $75\%$  в колонке с дозой ДМ  $0,61 \text{ Н}_\Gamma$ , но снижался до  $56,8\%$  в колонке с двойной дозой ДМ. Сочетание ДМ ( $1,0 \text{ Н}_\Gamma$ ) с гипсом ( $0,4 \text{ Н}_\Gamma$ ) повышало  $K_{\text{исп}}$  растворенной ДМ с  $65,2$  до  $76,2\%$ .

Это обусловлено более низкими величинами  $pH_{водн}$  почвы при сочетании ДМ с гипсом, что повышало степень гидролиза карбонат-ионов по 2-й ступени. То же наблюдали и при применении двойной дозы ДМ (56,8%) и при сочетании её с гипсом (62,2%).

В слое 0–40 см почвы снижение  $H_T$  в слоях 20–30 и 30–40 см по сравнению с исходной её величиной 5,75 мг-экв/100 г почвы приводило к небольшому росту  $K_{исп}$  растворенного мелиоранта, а повышение – к снижению. Видно (табл. 3), что при сочетании ДМ с гипсом  $K_{исп}$  растворенного мелиоранта на снижение  $H_T$  был более высоким, чем при применении только ДМ. Это наблюдали как в слое 0–20 см, так и во всем 0–40 сантиметровом слое почвы в колонке.

В работе [9] получены более высокие значения  $K_{исп}$  растворенной ДМ при применении двойной дозы её. При прохождении через колонки 600 мм воды в случае использования только ДМ его величина составила 75,7%, а при сочетании её с гипсом – 100%. Различия обусловлены тем, что в этих опытах слои 20–30 и 30–40 см были представлены иллювиальным горизонтом дерново-подзолистого почвы. Величина  $pH_{водн}$  почвы (1:0,5) в контрольной колонке в слоях 20–30 и 30–40 см составляла 4,50–4,53, а в колонках с мелиорантами – 4,11–4,83. Более низкие значения  $pH_{водн}$  в указанных слоях обеспечивали более полный гидролиз бикарбонатов (2-я ступень).

В контрольной колонке в 1-й порции фильтрата наблюдали наиболее высокую концентрацию суммы катионов Са и Mg (14,4 мг-экв/л). Она вытесняла часть внутриагрегатных ионов водорода, о чем свидетельствует наиболее низкое значение его  $pH$  – 6,76 (табл. 4). В последующих порциях концентрация ионов Са и Mg заметно снижалась (до 4,59 мг-экв/л), а  $pH$  фильтратов стабилизировался на уровне 6,90–7,03.

В колонке с гипсом в две первые порции фильтрата из-за более высокой концентрации катионов Са и Mg в жидкой фазе (19,0–26,4 мг-экв/л) больше вытеснялось внутриагрегатных ионов водорода, что снизило величины  $pH$  их до 6,44–6,78. В последующих порциях их наблюдали нейтральную реакцию среды и снижение концентрации двухвалентных катионов до 12,6 мг-экв/л.

При применении ДМ (1,0  $H_T$ ) лишь в 1-й порции фильтрата наблюдали небольшое снижение  $pH$  (6,81), обусловленное вытеснением внутриагрегатных ионов водорода нитратами кальция и магния. В последующих порциях значения  $pH$  варьировали от 6,91 до 7,12. В них также наблюдали снижение кон-

центрации двухвалентных катионов Са и Mg до 3,66 мг-экв/л, а уменьшение  $H_T$  серой лесной почвы происходило преимущественно за счет связывания ионов водорода её ионами гидроксила, образующимися при гидролизе  $CO_3^{2-}$ -ионов по 1-й ступени.

При сочетании ДМ (1,0  $H_T$ ) с гипсом (0,4  $H_T$ ) во всех порциях фильтрата наблюдали высокую концентрацию двухвалентных ионов Са и Mg, которые вытесняли внутриагрегатные ионы водорода и снижали  $pH$ . Вытесненные ионы  $H^+$  связывались ионами гидроксила, образовавшимися при гидролизе  $CO_3^{2-}$ -ионов и по 2-й ступени (52,4%) в малодиссоциированное соединение ( $H_2O$ ). Очевидно, в этом варианте растворенный мелиорант в большей мере, чем в колонке 3, расходовался на нейтрализацию внутриагрегатных ионов водорода, что снижало набухаемость почвы и увеличивало её инфильтрационную способность. Суммарный объем фильтрата был на 19 мл выше, чем в колонке с одной доломитовой мукой (262 против 243 мл).

В 5-й колонке лишь в 1-й порции фильтрата наблюдали активный переход внутриагрегатных ионов  $H^+$  в жидкую фазу. В последующих порциях фильтрата концентрация катионов Са и Mg резко снижалась. И уменьшение гидролитической кислотности происходило преимущественно за счет нейтрализации ионов  $H^+$ , находящихся на поверхности почвенных агрегатов.

В колонке 6 процесс взаимодействия ДМ с ППК серой лесной почвы был таким же, как и в колонках 3 и 5. Это подтверждалось и близкими размерами суммарного объема фильтратов, вытекающих из них (240–248 мл). Отметим, что наименьшая инфильтрационная способность колонок наблюдалась в контроле (237 мл) и внесении в них только гипса (227 мл).

При сочетании ДМ (2  $H_T$ ) с гипсом (0,8  $H_T$ ) при высоких концентрациях двухвалентных катионов Са и Mg в жидкой фазе происходило активное вытеснение из ППК внутриагрегатных ионов  $H^+$ , что снижало  $pH$  фильтратов, уменьшало набухаемость почвы, повышало её инфильтрационную способность до 268 мл.

При меньшем количестве растворившейся ДМ в колонке 7, чем в 6-й колонке (табл. 2), в обоих случаях наблюдали близкий эффект мелиорантов по снижению  $H_T$ . Следовательно, связывание внутриагрегатных ионов водорода способствует значительному улучшению и коллоидно-химических свойств серых лесных почв.

Таблица 3

Использование мелиорантов при пропускании через колонку 300 (1–5 колонки) и 510 мм (6–7 колонки) воды в слоях 0–20 и 20–40 см

| Вариант опыта                                        | K <sub>исп</sub> мелиоранта, % |              | K <sub>исп</sub> растворенного мелиоранта, % |              | Степень гидролиза ДМ в слое 0–20 см почвы, % |                |       | рН <sub>водн</sub> 1:1 |
|------------------------------------------------------|--------------------------------|--------------|----------------------------------------------|--------------|----------------------------------------------|----------------|-------|------------------------|
|                                                      | слой 0–20 см                   | слой 0–40 см | слой 0–20 см                                 | слой 0–40 см | по 1-й ступени                               | по 2-й ступени | Общая |                        |
| 1. Контроль                                          | 16,9                           | 20,8         | 16,9                                         | 20,8         | –                                            | –              | –     | 5,80                   |
| 2. Гипс – 0,4 Н <sub>г</sub>                         | 36,1                           | 32,2         | 36,1                                         | 32,2         | –                                            | –              | –     | 5,50                   |
| 3. ДМ – 1 Н <sub>г</sub>                             | 54,4                           | 57,0         | 65,2                                         | 68,3         | 100                                          | 30,4           | 65,2  | 6,68                   |
| 4. ДМ – 1 Н <sub>г</sub> + гипс 0,4 Н <sub>г</sub>   | 45,2                           | 45,2         | 76,2                                         | 76,2         | 100                                          | 52,4           | 76,2  | 6,28                   |
| 5. ДМ – 0,61 Н <sub>г</sub>                          | 59,2                           | 51,1         | 75,0                                         | 64,8         | 100                                          | 49,9           | 75,0  | 6,34                   |
| 6. ДМ – 2,0 Н <sub>г</sub>                           | 34,8                           | 38,4         | 56,8                                         | 62,6         | 100                                          | 13,7           | 56,8  | 7,12                   |
| 7. ДМ – 2,0 Н <sub>г</sub> + гипс 0,8 Н <sub>г</sub> | 34,8                           | 39,1         | 62,2                                         | 70,0         | 100                                          | 24,4           | 62,2  | 6,81                   |

Примечания: 1 – в контроле рассчитан K<sub>исп</sub> на кальцевую селитру в дозе 1,95 мг-экв/100 г почвы (0,34 Н<sub>г</sub>); 2 – в вариантах 4 и 7 приведены данные по использованию ДМ.

Таблица 4

Некоторые параметры фильтратов, вытекающих из колонок, при прохождении через них 300 мм влаги

| № колонки | Параметр           | № порции фильтрата |      |      |      |      | Среднее значение параметра | Суммарный объем фильтрата, мл |
|-----------|--------------------|--------------------|------|------|------|------|----------------------------|-------------------------------|
|           |                    | 1-я                | 2-я  | 3-я  | 4-я  | 5-я  |                            |                               |
| 1         | рН                 | 6,76               | 6,98 | 6,90 | 7,03 | 6,98 | 6,93                       | 237                           |
|           | C <sub>Ca,Mg</sub> | 14,4               | 8,59 | 6,24 | 5,07 | 4,59 | 7,78                       |                               |
| 2         | рН                 | 6,44               | 6,78 | 7,04 | 7,09 | 7,08 | 6,89                       | 227                           |
|           | C <sub>Ca,Mg</sub> | 26,4               | 19,0 | 17,5 | 15,1 | 12,6 | 18,1                       |                               |
| 3         | рН                 | 6,81               | 7,02 | 6,91 | 7,11 | 7,12 | 6,99                       | 243                           |
|           | C <sub>Ca,Mg</sub> | 12,7               | 9,15 | 6,15 | 4,08 | 3,66 | 7,13                       |                               |
| 4         | рН                 | 6,57               | 6,66 | 6,82 | 6,69 | 6,45 | 6,64                       | 262                           |
|           | C <sub>Ca,Mg</sub> | 23,6               | 28,9 | 23,2 | 20,0 | 18,4 | 22,8                       |                               |
| 5         | рН                 | 6,71               | 6,96 | 7,05 | 7,07 | 7,01 | 6,96                       | 248                           |
|           | C <sub>Ca,Mg</sub> | 19,8               | 8,03 | 5,76 | 3,55 | 2,45 | 7,92                       |                               |
| 6         | рН                 | 6,72               | 7,08 | 7,19 | 7,26 | 7,27 | 7,10                       | 240                           |
|           | C <sub>Ca,Mg</sub> | 16,3               | 7,48 | 5,75 | 3,55 | 2,60 | 7,14                       |                               |
| 7         | рН                 | 6,58               | 6,67 | 6,75 | 6,72 | 6,63 | 6,67                       | 268                           |
|           | C <sub>Ca,Mg</sub> | 26,2               | 31,9 | 28,6 | 25,5 | 23,2 | 27,1                       |                               |

Примечание. C<sub>Ca,Mg</sub> – концентрация ионов кальция и магния в фильтратах, мг-экв/л.

При увеличении количества проходящей через колонки воды в колонке с двойной дозой ДМ величина рН фильтратов проходила через максимум в 6-й порции фильтрата (7,63), снижаясь до 7,26–7,29 в 9–12 порциях, а концентрация суммы двухвалентных катионов кальция и магния стабилизировалась на уровне 2,78–2,52 мг-экв/л. Степень гидролиза карбонат-ионов по 2-й ступени при этом повышалась с 4,6 до 9,7–10,7%.

При сочетании ДМ с гипсом в 7-й колонке концентрация двухвалентных катионов в фильтратах уменьшалась с 22,0 в 6-й порции до 18,2–19,5 мг-экв/л – в 10–12 порциях; величина рН постепенно снижалась с 6,89 до 6,50–6,32. Последние величины рН свидетельствовали о гидролизе карбонат-ионов ДМ по 2-й ступени примерно на 50%.

Суммарный объем фильтрата в 6-й колонке составил 576 мл, а в 7-й – 607 мл.

Разница в повышении поглощения воды и водоудерживающей способности серой лесной почвы в колонке с ДМ по сравнению с колонкой сочетания ДМ с гипсом при прохождении через колонки 510 мм (31 мл) и 300 мм (28 мл) сохранилась.

Заметное снижение скорости инфильтрации в колонке с гипсом было связано с образованием тиксотропной системы в слое 30–40 см, обладающей высокой водоудерживающей способностью, что требует своего объяснения.

В то же время на серой лесной среднекислой тяжелосуглинистой почве избыточного увлажнения (содержание ила 15,0%, а частиц <0,01 мм 45,0%) применение гипса в дозе  $1/3 H_r$  по сравнению с контролем заметно улучшало инфильтрационные свойства колонок из трех слоев со 152 до 193 мм (табл. 5) [9, 11]. Применение ДМ в дозе  $1 H_r$  увеличивало количество профильтровавшейся воды до 207 мл, а сочетания её с гипсом ( $1/3 H_r$ ) – до 218 мл.

19,0–26,4 мг-экв/л и более высокие размеры вытеснения внутриагрегатных ионов водорода и снижение pH до 6,44. В последующих порциях фильтрата наблюдали постепенное уменьшение их концентрации до 12,6 мг-экв/л и повышение pH до 7,04–7,09. Отнесенный к гипсу суммарный эффект его и нитратов Ca и Mg, оцениваемый понижением  $H_r$ , достигал 6,2% исходной гидролитической кислотности. В колонке с ДМ ( $1 H_r$ ) высокая концентрация ионов Ca и Mg (12,7 мг-экв/л), обусловленная наличием в почве нитратов, вытесняла внутриагрегатные ионы водорода, снижая pH до 6,81. Последующие порции фильтрата имели более низкие концентрации ионов Ca и Mg (3,66 мг-экв/л в 5-й порции), но более высокие величины pH (7,02–7,12). Снижение  $H_r$  происходило уже за счет связывания ионов водорода, находящихся на поверхности почвенных агрегатов, ионами гидроксила, образовавшимися при гидролизе карбонат-ионов растворившейся ДМ преимущественно

**Таблица 5**

Объем порций раствора, вытекающего из колонок после прохождения через них 500 мл воды [6, 9]

| Вариант и № колонки                   | Объем порций фильтрата, мл |      |      |      |      |       |
|---------------------------------------|----------------------------|------|------|------|------|-------|
|                                       | 1                          | 2    | 3    | 4    | 5    | Сумма |
| 1. Контроль                           | 20,9                       | 27,6 | 37,2 | 37,4 | 28,5 | 151,6 |
| 2. ДМ по $1 H_r$                      | 29,6                       | 43,2 | 39,9 | 41,9 | 52,7 | 207,3 |
| 3. ДМ по $1 H_r$ + гипс ( $1/3 H_r$ ) | 37,0                       | 49,6 | 37,7 | 43,4 | 50,7 | 218,4 |
| 7. Гипс по $1/3 H_r$                  | 32,2                       | 34,1 | 40,0 | 41,3 | 45,4 | 193,0 |

### Заключение

На серой лесной среднекислой средне-суглинистой почве периодически избыточного увлажнения в колонках изучено влияние доломитовой муки, гипса и их сочетания на изменение физико-химических свойств ППК и её инфильтрационную способность. Повышенное количество нитратов Ca и Mg, образовавшихся в чистом пару (1,95 мг-экв/100 г почвы) и эквивалентное  $0,34 H_r$ , обеспечивало достижение в 1-й порции фильтрата концентрации двухвалентных катионов до 14,4 мг-экв/л и способствовало вытеснению внутриагрегатных ионов водорода из ППК и снижению pH фильтрата до 6,76. В последующих порциях концентрация суммы Ca и Mg снижалась до 4,6–8,6 мг-экв/л. В колонке с внесением гипса ( $0,4 H_r$ ) происходили дальнейший рост концентрации катионов Ca и Mg до

по 1-й ступени (в 5-й порции фильтрата степень гидролиза  $CO_3^{2-}$  по 2-й ступени составила 13,6%). Такой же механизм взаимодействия с ППК наблюдали при применении и других доз ДМ.  $K_{исп}$  растворенной ДМ в слое 0–20 см при внесении её в дозах 1,0, 0,61 и 2,0  $H_r$  составлял соответственно 65,2; 75,0 и 56,8%. При сочетании ДМ с гипсом из-за более высоких концентраций Ca и Mg в жидкой фазе наблюдали более интенсивное вытеснение из ППК внутриагрегатных ионов  $H^+$  и рост степени гидролиза карбонат-ионов по 2-й ступени. При сочетании ДМ ( $1,0 H_r$ ) с гипсом ( $0,4 H_r$ )  $K_{исп}$  растворенной ДМ достигал 76,2%.

По сравнению с контролем при применении различных доз ДМ увеличивалась инфильтрационная способность серой лесной почвы с 237 до 240–248 мл, а при сочетании с гипсом – до 262–268 мл. Это обусловлено снижением степени набухания



почвенных коллоидов из-за вытеснения внутриагрегатных ионов  $H^+$ . Из-за образования тиксотропной системы в слое 30–40 см при применении гипса инфильтрационная способность почвы снизилась до 227 мл. На серых лесных среднекислых почвах тяжелосуглинистого состава также была установлена наиболее высокая инфильтрационная способность почвы при сочетании ДМ с гипсом, несколько снизилась она при применении ДМ. Но она была существенно более высокой по сравнению с контролем при внесении гипса. На средне- и сильно-кислых серых лесных почвах, находящихся вблизи источников гипса и предприятий по производству фосфорных удобрений, рекомендуется применять побочный продукт их производства – фосфогипс-дигидрат, особенно нейтрализованный, с известняковой или доломитовой мукой. Известковые материалы вносятся в дозе, которая эквивалентна полной гидролитической кислотности, а фосфогипс – в дозе, соответствующей 0,4 гидролитической кислотности почвы. Применение фосфогипса улучшит питание культур серой. Наибольший мелиоративный эффект извести обеспечивается при внесении её в паровое поле.

#### Список литературы / References

1. Агрохимическая характеристика почв сельскохозяйственных угодий Российской Федерации. Реестр плодородия почв. М.: ВНИИА, 2013. 208 с.  
Agrochemical characteristics of soils of agricultural lands of the Russian Federation. Register of soil fertility. Moscow: VNIIA, 2013. 208 p. (in Russian).
2. Аканова Н.И., Шильников И.А., Ефремова С.Ю., Аваков М.С. Значение химической мелиорации в земледелии и потери кальция и магния из почвы // Проблемы агрохимии и экологии. 2017. № 1. С. 28–35.  
Akanova N.I., Shilnikov I.A., Efremova S.Yu., Avakov M.S. The Significance of Chemical Melioration in Agriculture and the Loss of Calcium and Magnesium From the Soil // Problems of Agrochemistry and ecology. 2017. № 1. P. 28–35 (in Russian).
3. Небольсин А.Н., Небольсина З.П. Теоретические основы известкования почв. СПб., 2005. 252 с.  
Nebolsin A.N., Nebolsina Z.P. Theoretical principles of the liming of soils. St. Petersburg, 2005. 252 p. (in Russian).
4. Осипов А.И. Свой путь в химической мелиорации // Сельскохозяйственные вести. 2016. № 2. С. 38–41.  
Osipov A.I. Own way in chemical amelioration // Agricultural news. 2016. № 2. P. 38–41 (in Russian).
5. Шильников И.А., Сычёв В.Г., Аканова Н.И. Состояние и эффективность химической мелиорации почв в земледелии Российской Федерации // Плодородие. 2013. № 1 (70). С. 9–13.  
Shilnikov I.A., Sychev V.G., Akanova N.I. The condition and effectiveness of chemical amelioration of soils in agriculture of the Russian Federation // Plodorodie. 2013. № 1 (70). P. 9–13 (in Russian).
6. Гедройц К.К. Учение о поглотительной способности почв. М.: Сельхозгиз, 1932. 216 с.  
Gedroits K.K. The Doctrine of the absorptive capacity of the soil. M.: Selkhozgiz, 1932. 216 p. (in Russian).
7. Осипов А.И. Современные подходы к известкованию кислых почв // V Лужские научные чтения. Современное научное знание: теория и практика: материалы Международной научной конференции (Санкт-Петербург, 22 мая 2017 г.). Санкт-Петербург: ЛГУ им. А.С. Пушкина, 2017. С. 17–22.  
Osipov A.I. Modern approaches to acidic soil liming // V Luzhsky scientific readings. Modern scientific knowledge: theory and practice: proceedings of the international scientific conference (St. Petersburg, may 22, 2017). St. Petersburg: LGU A.S. Pushkina, 2017. P. 17–22 (in Russian).
8. Осипов А.И. Экологически безопасное использование известьесодержащих отходов // Экологические проблемы развития агроландшафтов и способы повышения их эффективности (Краснодар, 27–29 марта 2018 г.). Краснодар: Кубанский ГАУ им. И.Т. Трубилина, 2018. С. 170–173.  
Osipov A.I. Environmentally safe use of lime-containing waste // Ecological problems of development of agricultural landscapes and ways to improve their efficiency (Krasnodar, March 27–29, 2018). Krasnodar: Kubanskij GAU im. I.T. Trubilina, 2018. P. 170–173 (in Russian).
9. Окорков В.В. Теоретические основы химической мелиорации кислых почв. Владимир: Владимирский НИИСХ, 2016. 331 с.  
Okorkov V.V. Theoretical foundations of chemical amelioration of acid soils Vladimir: Vladimirskij NIISKH, 2016. 332 p. (in Russian).
10. Окорков В.В., Окоркова Л.А. Механизмы взаимодействия извести и гипса с поглощающим комплексом кислых почв // Доклады РАСХН. 2013. № 5. С. 39–43.  
Okorkov V.V., Okorkova L.A. Mechanisms of interaction of lime and gypsum with sorption complex of acidic soils // Doklady RASKHN. 2013. № 5. P. 39–43 (in Russian).
11. Окорков В.В. Химические приемы улучшения инфильтрационных свойств переувлажненных кислых почв // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2015. № 4. С. 5–13.  
Okorkov V.V. Chemical methods of improvement of the infiltration properties of waterlogged acid soils // Siberian Bulletin of agricultural science. 2015. № 4. P. 5–13 (in Russian).

УДК 633.15: 581.13:631.5

**ВЛИЯНИЕ РАЗЛИЧНЫХ УСЛОВИЙ ВЫРАЩИВАНИЯ  
НА ФОРМИРОВАНИЕ АССИМИЛЯЦИОННОЙ ПОВЕРХНОСТИ КУКУРУЗЫ****Сидельникова Н.А., Смирнова В.В.***ФГБОУ «Белгородский государственный аграрный университет им. В.Я. Горина», п. Майский,  
Белгородская область, e-mail: 8861676@gmail.com*

Целью наших исследований являлось изучение влияния различных условий выращивания на формирование ассимиляционной поверхности растений кукурузы в условиях Белгородской области. Различные условия в опыте достигались: проведением посева в два срока (27.04 и 22.05); с нормой высева (60–80 тыс. растений на гектаре посева среднераннего гибрида и 50–70 тыс. растений на гектаре посева среднеспелого гибрида); на фоне с внесением удобрений и без удобрений. Задачи: определение скорости образования листьев у гибридов кукурузы различной скороспелости в зависимости от сроков посева; определение биометрических показателей гибридов кукурузы различной скороспелости в зависимости от сроков посева и густоты растений; определение биометрических показателей гибридов кукурузы различной скороспелости в зависимости от сроков посева и удобрений; изучение влияния погодных условий на формирование высоты растений, площади листьев на одном растении и на гектаре посева, фотосинтетического потенциала. Результаты наших исследований показали, что к завершению листообразования высота стебля среднеспелого гибрида ДКС 4178 была значительно больше, чем у среднераннего гибрида Дельфин. В среднем за 2017–2018 гг. растения среднераннего гибрида формировали очередной лист при оптимальном сроке посева за 3,3 и втором – за 2,2 дня. Площадь листьев на одном растении у среднераннего и среднеспелого гибридов составляла 0,39–0,63 м<sup>2</sup>. Максимальной величины она достигает в фазу цветения. Внесение удобрений способствовало увеличению площади листьев одного растения на 37,0–39,1 % у гибрида Дельфин и на 22,1–23,7 % – у гибрида ДКС 4178. Аналогичная закономерность сохранялась и на гектаре посева.

**Ключевые слова:** кукуруза, высота растений, ассимиляционная поверхность, фотосинтетический потенциал

**FORMATION OF BIOMETRIC INDICATORS OF MAIZE HYBRIDS  
IN DIFFERENT GROWING CONDITIONS****Sidelnikova N.A., Smirnova V.V.***Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Belgorod State Agricultural  
University named after V. Gorin», Maiskiy, Belgorod region, e-mail: 8861676@gmail.com*

The purpose of our research was to study the influence of various growing conditions on the formation of an assimilatory surface of corn plants in conditions of the Belgorod region. Various conditions in experience were achieved: by sowing in two terms (27.04 and 22.05); with a seeding rate (60–80 thousand plants per hectare of sowing of the middle-early hybrid and 50–70 thousand plants per hectare of sowing of the mid-season hybrid); with fertilizers and without them. Tasks – determining the rate of leaves formation in corn hybrids of various precocity depending on sowing time; – definition of biometric indicators of corn hybrids of various precocity depending on sowing time and plant density; – definition of biometric indicators of corn hybrids of various precocity depending on sowing time and fertilizers; – studying influence of weather conditions on formation of plant height, leaf area on one plant and per hectare of sowing, photosynthetic potential. Results of our researches showed that by the completion of leaf formation the height of the stem of the mid-season hybrid DKS 4178 was significantly greater than that of the medium-early hybrid Dolphin. On average for 2017–2018 the plants of the middle-early hybrid formed another leaf with an optimal sowing time of 3.3 and the second for 2.2 days. The leaf area on a single plant in the mid-early and mid-season hybrids was 0.39–0.63 m<sup>2</sup>. Its maximum value reaches the flowering phase. Fertilization contributed to an increase in the leaf area of a single plant by 37.0 – 39.1 % in the Dolphin hybrid and by 22.1–23.7 % in the DKS 4178 hybrid. A similar pattern was maintained on a hectare of planting.

**Keywords:** corn, plant height, assimilation surface, photosynthetic potential

Современные инновационные технологии способствуют дальнейшему повышению продуктивности растений кукурузы. Правильное их использование способствует уменьшению напряженности полевых работ, увеличению экономии трудовых ресурсов, повышению производительности труда, а также получению стабильных высококачественных урожаев зерна.

Производство зерна кукурузы, осуществляемое по инновационным технологиям, обеспечивает получение стабильно высоких урожаев зерна кукурузы высокого качества.

Посевные площади кукурузы на зерно в Российской Федерации в 2018 г. составили 2494,4 тыс. га, что на 532,35 тыс. га меньше, чем в предыдущем 2017 г. Урожайность зерна кукурузы Российской Федерации в 2017 г. достигла 49,0 ц/га, такой же уровень урожайности наблюдается и в Белгородской области. Доля кукурузы на зерно в Белгородской области достигает 21,4 %, что соответствует второму месту среди субъектов Российской Федерации, уступая Владимирской области (38,4 %). В Центральном федеральном округе доля кукурузы

зы на зерно составила 14,0%, в Российской Федерации этот показатель составил 9,8%.

Кукуруза является высокоурожайной культурой, использование которой весьма разнообразно. Зерно кукурузы широко применяется для кормления основных видов сельскохозяйственных животных и птицы [1]. Кукуруза является также ценным кормовым растением. Растения кукурузы очень хорошо силосуются. Силос из кукурузы является хорошим зеленым кормом, который насыщен легкоусвояемыми углеводами.

Примерно 20,0–25,0% зерна кукурузы в мировом сельском хозяйстве используется на продовольственные цели, 55,0–65,0% – на кормовые цели, 15,0–20,0% на технические нужды. По посевным площадям кукуруза занимает 2 место в мире, уступая только пшенице. По урожайности же она превосходит пшеницу, и поэтому валовой сбор зерна кукурузы в отдельные годы либо превышает, либо находится на уровне валового сбора зерна пшеницы. По количеству производимого зерна она занимает третье, после пшеницы и риса, место в мире [2, 3].

Площадь ассимиляционной поверхности и продолжительность ее работы определяется уровнем агротехники. Затенение растений кукурузы, повреждение молодых листьев, засуха (при поздних сроках посева) и др. отрицательно влияют на формирование общей ассимиляционной поверхности, которая имеет важное практическое значение, так как с ней связана урожайность. Изучением особенностей фотосинтеза занимались многие ученые. Известно, что скорость формирования листьев растений кукурузы, общая площадь поверхности листьев, а также ее фотосинтетическая деятельность существенно влияли на продуктивность растений урожайность зерна и биомассы кукурузы. Основная доля сухой массы растения (до 95,0%) образуется из различных органических веществ, первоначально накапливающихся в листьях кукурузы.

Целью наших исследований являлось изучение влияния различных условий выращивания на формирование ассимиляционной поверхности растений кукурузы в условиях Белгородской области. Различные условия в опыте достигались: возделыванием гибридов различных групп спелости; проведением посева в два срока (27.04 и 22.05); с нормой высева (60–80 тыс. растений на гектаре посева среднераннего гибрида и 50–70 тыс. растений на гектаре посева среднеспелого гибрида); на фоне с внесением удобрений и без удобрений.

Для осуществления данной цели были определены следующие задачи – определение скорости образования листьев у гибридов кукурузы различного срока созревания в зависимости от сроков посева; определение биометрических показателей гибридов кукурузы различной скороспелости в зависимости от сроков посева и густоты растений; определение биометрических показателей гибридов кукурузы различного срока созревания в зависимости от сроков посева и удобрений; изучение влияния погодных условий на формирование высоты растений, площади листьев на одном растении и на гектаре посева, фотосинтетического потенциала.

### Материалы и методы исследования

Для проведения наших исследований мы использовали полевой опыт и фенологические наблюдения за вегетирующими растениями. В фазы формирования очередных листьев: 3–4, 5–6, 7–8, 11–12, 15–16 на контрольных растениях измеряли высоту растений и площадь листьев. Площадь листьев определяли путем измерения мерной линейкой длины и ширины листа, умножая на коэффициент 0,75.

### Результаты исследования и их обсуждение

При образовании надземных органов растений кукурузы наблюдается два цикла: первый цикл заключается в образовании вегетативных органов растения, а второй – в образовании репродуктивных органов. Высота стебля кукурузы может достигать от 0,6 до 6 м, имеет отличную облиственность, очень хорошо ветвится с образованием множества побегов-пасынков.

Особое влияние на особенности роста и развития растений кукурузы, который указывает на особенности роста и развития данной культуры, в зависимости от конкретных условий окружающей среды.

В определенной степени (по количеству междоузлий) высота растений является также и генетическим признаком [4]. Результаты наших исследований, в которых изучалось влияние различных факторов на высоту растений кукурузы, показали, что к завершению листообразования высота стебля среднеспелого гибрида ДКС 4178 была значительно больше, чем у среднераннего гибрида Дельфин. В начальный период жизни, до образования 12 листьев, различия в высоте стебля у различных по спелости гибридов были незначительными. Но в фазу

образования 15–16 листьев высота растения у среднеспелого гибрида ДКС 4178 была на 7 см, а в фазу цветения метелки – на 49 см больше, чем у среднераннего гибрида Дельфин. У среднеспелого гибрида в среднем за годы исследований высота растений составила 244 см, у среднераннего – 190 см [5].

Наряду с биологическими особенностями гибридов и условиями погоды на высоту растения большое влияние оказывали сроки посева. При запаздывании со сроком посева на 20 дней позднее оптимального срока для данной культуры, наблюдалось снижение такого показателя, как высота стебля. У гибрида среднераннего срока посева высота стебля уменьшилась на 30–33 см, а у гибрида среднеспелого срока посева – на 30–36 см. В меньшей степени сказались на этом показателе густота растений и минеральные удобрения. В среднем за годы исследований при загущении посева до 80 тысяч растений на га высота стебля у среднераннего гибрида уменьшалась на 14 см на неудобренном фоне и на 11 см – на фоне  $N_{120}P_{80}K_{60}$ . У среднеспелого гибрида эта разница составляла соответственно 10 и 17 см.

Содержание питательных веществ в листьях кукурузы намного больше, чем в стебле. При использовании ее на силос и зеленый корм желательна более высокая облиственность растений [6]. Появление первых трех листьев происходит интенсивно. Листья появляются быстро друг за другом через один-два дня. Появление следующих листьев с четвертого по восьмой происходит несколько медленнее, интервал их появления составляет от 3 до 5 дней. Такая разница в появлении листьев обусловлена тем, что к моменту появления четвертого листа запас питательных веществ семени заканчивается. Растение кукурузы на данном этапе перестраивается на автотрофное питание. Этому способствует и малая пло-

щадь ассимиляционной поверхности, а также неполное развитие корневой системы кукурузы. Тем не менее листья кукурузы на этом этапе образуются достаточно крупные. Появление последующих листьев кукурузы наблюдается несколько быстрее, с интервалом в один-два дня. Корневая система растения на данном этапе достаточно развита, а поверхность листьев на растении уже значительная. После этого образование следующих листьев происходит медленнее, так появляются листья с десятого по двенадцатый и с шестнадцатого по восемнадцатый. Основанием для этого служит усиленный рост листьев, потребление ими большого количества питательных веществ, в результате чего происходит ухудшение снабжения новых формируемых растением листьев питательными веществами.

На формирование такого размера листьев расходуется значительное количество пластического материала. При одновременном стремительном росте и развитии большого количества листьев большого размера создается напряженность между пищевым и водным балансом растения. На образование корней, их рост и развитие расходуется также большое количество пластических веществ.

Количество формируемых растением листьев зависит от срока спелости сорта или гибрида. Основным сортовым признаком, достаточно стабильным, не зависящим от агротехники возделывания, является число листьев на главном побеге [7].

При запаздывании со сроком посева на 20 дней, количество образуемых растением листьев уменьшалось (табл. 1). Также в зависимости от срока посева существенно изменялась скорость формирования листьев растением кукурузы. В среднем за 2017–2018 гг. растения среднераннего гибрида формировали очередной лист при оптимальном сроке посева за 3,0 и вторым – за 2,0 дня.

**Таблица 1**

Скорость образования листьев у гибридов кукурузы различной скороспелости в зависимости от сроков посева (2017–2018 гг.)

| Дата посева | Количество листьев на 1 растение | Сумма за период листообразования |      | На образование одного листа |      |
|-------------|----------------------------------|----------------------------------|------|-----------------------------|------|
|             |                                  | Эффективных температур, °С       | Дней | Эффективных температур, °С  | Дней |
| Дельфин     |                                  |                                  |      |                             |      |
| 27.04       | 16,9                             | 445                              | 51   | 26,3                        | 3,0  |
| 22.05       | 16,5                             | 450                              | 36   | 27,3                        | 2,0  |
| ДКС 4178    |                                  |                                  |      |                             |      |
| 27.04       | 19,0                             | 642                              | 63   | 33,8                        | 3,0  |
| 22.05       | 18,3                             | 644                              | 49   | 35,2                        | 2,0  |



Данный процесс заканчивался у средне-спелого гибрида за 3,0 и 2,0 дней соответственно. При этом процесс образования листьев сокращался при более позднем сроке посева у гибрида Дельфин на 15 дней, у гибрида ДКС 4178 – на 14 дней. Необходимо заметить, что у гибридов Дельфин и ДКС 4178 формирование листьев при оптимальном и позднем сроках посева завершалось при близкой сумме эффективных температур. При этом у среднеспелого гибрида ДКС 4178 она была больше, чем у среднераннего гибрида Дельфин соответственно на 197 и 194 °С.

Изучение влияния густоты растений и минеральных удобрений на количество образуемых листьев показало, что эти факторы практически не оказывали влияния на этот показатель. Максимальной величины она достигала в фазу цветения и на некоторое время стабилизировалась. Этот период характеризуется наибольшей суммарной интенсивностью фотосинтеза и максимальным накоплением сухого вещества в единицу времени. Затем пло-

щадь листьев начинала быстро уменьшаться за счет отмирания листьев нижних ярусов. На этот процесс сильно влияет срок посева. При опоздании с посевом сокращалась площадь листьев на растениях и, как следствие этого, происходило снижение урожайности. Число образованных растениями листьев, а также скорость их формирования существенно сказались на величине формируемой растениями площади листовой поверхности и фотосинтетического потенциала (ФП) (табл. 2).

Площадь листьев на одном растении у среднераннего и среднеспелого гибридов составляла 0,39–0,63 м<sup>2</sup>. С увеличением густоты посева площадь листьев одного растения уменьшалась независимо от скороспелости гибридов, однако на гектаре посева, напротив, возрастала на 24,6–28,8%. Внесение удобрений способствовало увеличению площади листьев одного растения на 37,0–39,1% у гибрида Дельфин и на 22,1–23,7% – у гибрида ДКС 4178. Аналогичная закономерность сохранялась и на гектаре посева (табл. 3).

**Таблица 2**

Биометрические показатели гибридов кукурузы различной скороспелости в зависимости от сроков посева и густоты растений (2017–2018 гг.)

| Дата посева     | Растений на 1 га, тыс. | Высота стебля, см | Площадь листьев, м <sup>2</sup> тыс. /га | Площадь листьев, м <sup>2</sup> на 1 растение | ФП посева м <sup>2</sup> тыс./га дней |
|-----------------|------------------------|-------------------|------------------------------------------|-----------------------------------------------|---------------------------------------|
| <b>Дельфин</b>  |                        |                   |                                          |                                               |                                       |
| 27.04           | 60                     | 209               | 26,7                                     | 0,47                                          | 1,5                                   |
|                 | 80                     | 203               | 34,3                                     | 0,45                                          | 1,9                                   |
| 22.05           | 60                     | 179               | 23,0                                     | 0,42                                          | 1,1                                   |
|                 | 80                     | 170               | 29,3                                     | 0,39                                          | 1,5                                   |
| <b>ДКС 4178</b> |                        |                   |                                          |                                               |                                       |
| 27.04           | 50                     | 263               | 29,4                                     | 0,63                                          | 1,8                                   |
|                 | 70                     | 257               | 26,0                                     | 0,60                                          | 2,5                                   |
| 22.05           | 50                     | 233               | 26,0                                     | 0,57                                          | 1,5                                   |
|                 | 70                     | 221               | 35,3                                     | 0,55                                          | 2,1                                   |

**Таблица 3**

Биометрические показатели гибридов кукурузы различной скороспелости в зависимости от сроков посева и удобрений (2017–2018 гг.)

| Дата посева | Фон                                                              | Высота стебля,<br>см | Площадь листьев  |             | ФП посева,<br>тыс. м²/га дней |
|-------------|------------------------------------------------------------------|----------------------|------------------|-------------|-------------------------------|
|             |                                                                  |                      | м² на 1 растение | тыс. м²/ га |                               |
| Дельфин     |                                                                  |                      |                  |             |                               |
| 27.04       | Неудобренный<br>N <sub>120</sub> P <sub>80</sub> K <sub>60</sub> | 193                  | 0,46             | 26,4        | 1,4                           |
|             |                                                                  | 213                  | 0,63             | 36,6        | 1,9                           |
| 22.05       | Неудобренный<br>N <sub>120</sub> P <sub>80</sub> K <sub>60</sub> | 160                  | 0,41             | 22,5        | 1,1                           |
|             |                                                                  | 175                  | 0,50             | 27,5        | 1,5                           |
| ДКС 4178    |                                                                  |                      |                  |             |                               |
| 27.04       | Неудобренный<br>N <sub>120</sub> P <sub>80</sub> K <sub>60</sub> | 242                  | 0,60             | 28,5        | 1,7                           |
|             |                                                                  | 258                  | 0,73             | 34,8        | 2,1                           |
| 22.05       | Неудобренный<br>N <sub>120</sub> P <sub>80</sub> K <sub>60</sub> | 207                  | 0,54             | 24,1        | 1,5                           |
|             |                                                                  | 215                  | 0,61             | 27,5        | 1,6                           |



При обеспечении густоты в 60 тыс. растений на 1 га на удобренном и 80 тыс. растений на 1 га на неудобренном фонах наблюдались оптимальные параметры площади листьев растений кукурузы, которые составляли от 30 до 35 тыс. м<sup>2</sup>/га. При этом у гибрида средней спелости оптимальная площадь поверхности листьев была обеспечена при густоте стояния растений 50 тыс/га и не зависела от фона удобренности.

От величины площади листьев на гектаре посева и продолжительности их жизни зависел ФП посева (табл. 2). У среднеспелого гибрида при всех сроках посева и интервалах густот он был на 0,3–0,6 млн м<sup>2</sup>/га дней больше, чем у среднераннего гибрида. Запаздывание с посевом уменьшало величину ФП посева обоих гибридов на 0,3–0,4 млн м<sup>2</sup>/га дней.

Внесение минеральных удобрений положительно влияло на формирование ФП посева. Оптимальная величина ФП посева (2 млн м<sup>2</sup>/га дней на 100 дней вегетации) обеспечивалась при оптимальной густоте растений каждого гибрида (50 и 60 тыс/га) на удобренном фоне и загущенных вариантах (70 и 80 тыс/га) – на фоне без удобрений.

### Заключение

Основные закономерности образования вегетативных и репродуктивных органов растений кукурузы и их параметры оказывают существенное влияние на формирование высококачественных урожаев зерна кукурузы, а также зеленой массы.

К завершению листообразования высота стебля среднеспелого гибрида ДКС 4178 была значительно больше, чем у среднераннего гибрида Дельфин. У среднеспелого гибрида в среднем за годы исследований высота растений составила 244 см, у среднераннего – 190 см.

Наряду с биологическими особенностями гибридов и условиями погоды на высоту растения большое влияние оказывали сроки посева. При запаздывании со сроком посева на 20 дней позднее оптимального срока для данной культуры наблюдалось снижение такого показателя, как высота стебля. У гибрида среднераннего срока посева высота стебля уменьшилась на 30–33 см, а у гибрида среднеспелого срока посева – на 30–36 см. При запаздывании со сроком посева на 20 дней, количество образуемых растением листьев уменьшалось. Процесс образования листьев сокращался при более позднем сроке посева у гибрида Дельфин на 15 дней, у гибрида ДКС 4178 – на 14 дней.

Площадь листьев на одном растении у среднераннего и среднеспелого гибридов

составляла 0,39–0,63 м<sup>2</sup>. Внесение удобрений способствовало увеличению площади листьев одного растения на 37,0–39,1 % у гибрида Дельфин и на 22,1–23,7 % – у гибрида ДКС 4178. От величины площади листьев на гектаре посева и продолжительности их жизни зависел ФП посева, который у среднеспелого гибрида при всех сроках посева и интервалах густот он был на 0,3–0,6 млн м<sup>2</sup>/га дней больше, чем у среднераннего гибрида. Запаздывание с посевом уменьшало величину ФП посева обоих гибридов на 0,3–0,4 млн м<sup>2</sup>/га дней.

### Список литературы / References

1. Никитин В.В., Соловichenko В.Д., Карабутов А.П., Мельников В.И. Влияние некоторых элементов системы земледелия на продуктивность и качество силосной кукурузы // Белгородский агромир. 2015. № 4 (92). С. 25–27.
2. Nikitin V.V., Solovichenko V.D., Karabutov V.P., Melnikov V.I. Influence of some elements of agriculture on the productivity and quality of silage corn // Belgorod Agromir. 2015. № 4 (92). P. 25–27 (in Russian).
3. Сильванчук Е.Л., Крюков А.Н., Наумкина Л.А., Хлопьяников А.М. Возделывание кукурузы на зерно в новых технологиях растениеводства // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. 2018. № 3. С. 56–61.
4. Silvanchuk E.L., Kryukov A.N., Naumkina L.A., Khlopyanikov A.M. Corning of Corn on Grain In New Technologies Crop Production // Vestnik Kurskoj gosudarstvennoj sel'skoxozyajstvennoj akademii. 2018. № 3. P. 56–61 (in Russian).
5. Хармс К.Г. Борьба с дефицитом // Новое сельское хозяйство. 2014. № 2. С. 62–65.
6. Kharms K.G. Deal with the deficit. // New agriculture. 2014. № 2. P. 62–65 (in Russian).
7. Сидельникова Н.А., Луцкы И.В. Продуктивность растений кукурузы в зависимости от удобрений к инокуляции семян диазотрофами // Проблемы с.-х. производства на современном этапе и пути их решения: материалы VI Международной научно-производственной конференции (26–28 марта 2002 г.). Белгород: Изд. БелГСХА, 2002. Ч. 1. С. 41.
8. Sidelnikova N.A., Lutsyk V.I. Plant productivity of maize depending on fertilizer to seed inoculation with diazotrophic // Problems of agricultural production at the present stage and ways to solve them: proceedings of the VI international scientific and production conference on (26–28 March 2002). Belgorod: Izd.BelGSXA, 2002. Part 1. P. 41 (in Russian).
9. Турьянский А.В., Асыка Н.Р., Смулов С.И., Григоров О.В. Влияние погодных условий на урожайность зерновых культур // Органическое сельское хозяйство: проблемы и перспективы: материалы XXII Международной научно-производственной конференции (28–29 мая 2018 г.): в 22 т. Белгород: Изд. ФГБОУ ВО БелГАУ, 2018. Т. 1. С. 9–12.
10. Turyansky A.V., Asyka N.R., Smurov S.I., Grigorenko O.V. Influence of weather conditions on productivity of grain crops // Organic agriculture: problems and prospects: materials XXII of the international research and production conference (28–29 May, 2018): in 22 t. Belgorod: Izd. FGBOU VO BelGAU, 2018. V. 1. P. 9–12 (in Russian).
11. Цыкалов И.А., Ковтун Н.В. Влияние густоты растений на урожайность простых гибридов кукурузы // Органическое сельское хозяйство: проблемы и перспективы: материалы XXII международной научно-производственной конференции (28–29 мая 2018 г.): в 22 т. Белгород: Изд. ФГБОУ ВО БелГАУ, 2018. С. 131.
12. Tsykalov I.A., Kovtun N.V. Influence of density of plants on productivity of simple hybrids of corn // Organic agriculture: problems and prospects: materials XXII of the international research and production conference (28–29 May, 2018): in 22 t. Belgorod: Izd. FGBOU VO BelGAU, 2018. V. 1. P. 131 (in Russian).
13. Кашукоев М.В. Влияние различных систем удобрений на урожайность зерна и зеленой массы гибридов кукурузы // Аграрная Россия. 2015. № 2. С. 16–18.
14. Kashukoyev M.V. Influence of various systems of fertilizers on productivity of grain and green material of hybrids of corn // Agrarian Russia. 2015. № 2. P. 16–18 (in Russian).

УДК 633.521:631.8(470.4)

## ПРИМЕНЕНИЕ КОМПЛЕКСОНАТОВ В ТЕХНОЛОГИИ ВОЗДЕЛЫВАНИЯ ЛЬНА-ДОЛГУНЦА В УСЛОВИЯХ ВЕРХНЕВОЛЖЬЯ

**Скворцов С.С., Васильев А.С., Яковлева С.В., Лесных П.А., Чумакова Е.Н.**

*ФГБОУ ВО «Тверская государственная сельскохозяйственная академия», Тверь,  
e-mail: vasilevtgsha@mail.ru*

Верхневолжье является традиционным льноводческим регионом Российской Федерации, характеризующимся благоприятными почвенно-климатическими условиями для выращивания льна. Наряду с этим известно, что почвы региона имеют низкую обеспеченность микроэлементами, что отрицательно сказывается на формировании продуктивности посевов льна-долгунца. В связи с указанным целью исследований было изучено влияние новых видов микроэлементных удобрений, изготовленных, в частности, в форме комплексонатов, на продуктивность льна-долгунца сорта Тверской при выращивании его на хорошо окультуренных дерново-среднеподзолистых почвах. Комплексные исследования проводились в 2017–2018 гг. на базе Тверской государственной сельскохозяйственной академии. Схема опыта включала в себя следующие варианты: 1) Без обработки растений; 2–6) некорневая подкормка микроэлементными удобрениями Сивид-Цинк (200 мл/га), Сивид-Комплекс (200 мл/га), комплексонатами Se-ЭДДЯК (50 мл/га), Zn-ЭДДЯК (50 мл/га), B-ЭДДЯК (50 мл/га). Удобрения применялись в фазу «елочки» растений льна посредством опрыскивания с нормой расхода рабочей жидкости 200 л/га. В результате исследований была выявлена целесообразность использования для некорневой подкормки комплексоната бора, обеспечивающего повышение урожайности соломы и семян льна относительно варианта без обработки – на 9,4 ц/га (30,9%) и 1,8 ц/га (41,9%) соответственно, а также увеличение экономической эффективности вследствие более низкой себестоимости подкормки. При этом установлено, что рост продуктивности посевов льна достигался за счет улучшения густоты стояния и морфологических показателей растений. Другие, изучаемые в опыте удобрения, также характеризовались положительным эффектом, который относительно комплексоната бора совокупно был значительно ниже.

**Ключевые слова:** микроэлементы, комплексонаты, бор, лен-долгунец, повышение продуктивности, экономическая эффективность

## USE OF COMPLEXONATES IN TECHNOLOGY OF FLAX CULTIVATION IN CONDITIONS OF THE UPPER VOLGA REGION

**Skvortsov S.S., Vasilev A.S., Yakovleva S.V., Lesnykh P.A., Chumakova E.N.**

*Tver State Agricultural Academy, Tver, e-mail: vasilevtgsha@mail.ru*

The Upper Volga region is a traditional flax-growing region of the Russian Federation, characterized by favorable soil and climatic conditions for flax cultivation. It is also known that the soils of the region have a low supply of trace nutrients, which negatively affects the formation of flax productivity. In this regard the researches' aim was to examine the impact of new trace element fertilizers, manufactured particularly in the form of complexonates, on the productivity of Tver flax variety when grown in a well-cultivated sod-medium podzolic soils. Complex researches were conducted in 2017–2018 on the base of the Tver state agricultural Academy. The experiment diagram included the following variants: 1) Without foliar application of plants; 2–6) foliar application with microelement fertilizers Sivid-Zinc (200 ml/ha), Sivid Complex (200 ml/ha), complexonates Se-EDDYAK (50 ml/ha), Zn-EDDYAK (50 ml/ha), B-EDDYAK (50 ml/ha). Fertilizer were applied in the «fir-tree» phase of the flax by spraying with the consumption rate of working fluid 200 l/ha. As a result of research, the feasibility of using foliar application of boron complexonate, providing increasing yields of straw and flax seeds relative to the variant without treatment – 9.4 t/ha (of 30.9%) and 1.8 kg/ha (41.9%), respectively, and the increase in economic efficiency due to lower cost of application were revealed. It was found that the increase in productivity of flax crops was achieved by improving the density of standing and morphological parameters of plants. Other fertilizers studied in the experiment were also characterized by a positive effect, that was significantly lower due to boron complexonate.

**Keywords:** microelements, complexonates, boron, flax, productivity increase, economic efficiency

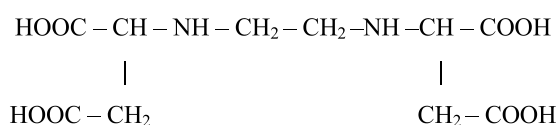
Тверская область традиционно характеризуется благоприятными почвенно-климатическими условиями для успешного выращивания льна-долгунца, что делает расширение площадей посева льна экономически оправданным. Вместе с тем главным средством улучшения продуктивности и качества урожая льна в регионе остается использование различных удобрений [1, 2]. Многочисленными научными исследованиями доказано, что для нормального роста и развития растений льна недостаточно

применять только макроудобрения, а требуется комплексное удовлетворение потребностей растений, включая как макро-, так и микроэлементы, дефицит которых очень сложно, даже частично, компенсировать другими агроприемами [2, 3].

Научные основы использования различных микроэлементных удобрений в растениеводстве включают в себя не только анализ потребностей растений, но и определение обеспеченности микроэлементами за счет их запасов, содержащихся в почве. При

этом отмечается, что наличие микроэлементов в почве определяется, прежде всего, условиями ее формирования и использования и может очень сильно варьироваться. Среди сдерживающих факторов, затрудняющих комплексное применение микроэлементов, выделяют негативное изменение базовых свойств основных компонентов при смешении солей металлов, выраженное в снижении эффективности готовых удобрений за счет формирования трудноусвояемых соединений, что в особенности свойственно дерново-подзолистым почвам Верхневолжья, характеризующимся высоким содержанием подвижного фосфора и близкой к нейтральной кислотностью. Устранить получение труднодоступных для растений форм микроэлементов в процессе приготовления микроудобрений возможно только за счет внедрения в производство новых форм их эффективного использования [2–4].

К перспективным формам применения микроэлементов, характеризующимся высокой усвояемостью растениями, относят их комплексонаты, особая эффективность применения которых достигается за счет, содержащейся в них биологической части, называемой комплексонами [2, 5]. Наиболее действенными и экологически безопасными комплексонами для создания комплексонатов являются производные янтарной кислоты, к числу которых относится этилендиаминдиантарная кислота (ЭДДЯК):



впервые синтезированная на кафедре химии Калининского сельскохозяйственного института (ныне Тверская государственная сельскохозяйственная академия) [6, 7].

Наряду с тем, что получение и химические свойства комплексонатов биометаллов достаточно хорошо изучены [6–8], в то же время целесообразность и технология применения комплексонатов микроэлементов (В, Se и др.) на основе ЭДДЯК в технологиях возделывания различных сельскохозяйственных культур в условиях Верхневолжья являются недостаточно изученными, что требует от науки проведения специальных исследований.

Цель исследования: изучить влияние новых видов микроэлементных удобрений, изготовленных, в частности, в форме комплексонатов, на продуктивность льна-

долгунца сорта Тверской, выращиваемого на хорошо освоенных дерново-подзолистых почвах Верхневолжья.

### Материалы и методы исследования

Комплексные исследования выполнялись в 2017 и 2018 гг. в севообороте на опытном поле Учебного научно-инновационного центра «Агротехнологический полигон» при Тверской ГСХА. Почва под опытами – дерново-среднеподзолистая, супесчаная по гранулометрическому составу. Оценка агрохимических характеристик почвы выявила следующие показатели: гумус – 1,7% (по Тюрину), подвижный фосфор – 185 (по Кирсанову) мг/кг, обменный калий – 165 мг/кг (по Кирсанову), легкогидролизуемый азот – 58,0 мг/кг (по Корнфилду), рН солевой вытяжки – 4,9.

Схема опыта состояла из следующих вариантов:

- 1) без обработки микроэлементными удобрениями;
- 2) опрыскивание посевов удобрением Сивид-Цинк (200 мл/га);
- 3) опрыскивание посевов удобрением Сивид-Комплекс (200 мл/га);
- 4) опрыскивание посевов комплексонатом Se-ЭДДЯК (50 мл/га);
- 5) опрыскивание посевов комплексонатом Zn-ЭДДЯК (50 мл/га);
- 6) опрыскивание посевов комплексонатом В-ЭДДЯК (50 мл/га).

Учетная площадь делянки – 18 м<sup>2</sup>, повторность в опыте – четырёхкратная. Варианты опыта размещались методом расщепленной делянки. В роли объекта исследований выступал сорт льна-долгунца Тверской (ФГБНУ ВНИИ льна).

Удобрения Сивид-Цинк и Сивид-Комплекс зарегистрированы и выпускаются промышленным способом ООО НПО «РосАгроХим»; комплексонаты селена, цинка и бора для исследований изготавливались в межкафедральной лаборатории, функционирующей при Тверской ГСХА.

Уровень агротехнологий льна-долгунца в опытах соответствовал интенсивным. Предшественник – яровые зерновые. Посев льна проводился сеялкой СПУ-6 с нормой высева 20 млн всхожих семян на 1 га. В фазе льна «елочка» (при высоте 7–10 см), проводили опрыскивание удобрениями и комплексонатами согласно схеме опыта. Норма расхода рабочей жидкости составляла 200 л/га. Для опрыскивания посевов в полевых опытах использовали ручной помповый опрыскиватель «Marolex Profes-

sion». Учет урожая осуществляли методом сплошной поделаночной уборки.

Погодные условия в годы исследований были различны, что позволило полнее выявить влияние микроудобрений и комплексонатов на культуру льна-долгунца. Так, за период вегетации количество осадков в 2017 г. составляло 138 %, а в 2018 г. – 122 % от нормы.

Исследования в опыте осуществляли, руководствуясь «Методическими указаниями по проведению полевых опытов со льном-долгунцом (1978)» [9]. Математическую обработку данных результатов наблюдений и учетов – по Б.А. Доспехову (1985) [10].

### Результаты исследования и их обсуждение

Урожайность льна-долгунца является интегральным показателем, который определяется числом всходов и сохранившихся к уборке на единице площади растений, длиной стебля, числом коробочек на растении и семян в одной коробочке.

Густота стояния растений льна-долгунца в годы исследований зависела от вида изучаемых микроэлементных удобрений и была различной (табл. 1). Так, число растений к уборке в варианте с применением комплексоната В-ЭДДЯК (1699 шт/м<sup>2</sup>) было несколько выше (на 5,5–5,9 %), чем при обработках посевов Se-ЭДДЯК (1598 шт/м<sup>2</sup>) и Zn-ЭДДЯК (1605 шт/м<sup>2</sup>). Сходная тенденционность отмечалась и при оценке количества, сохранившихся от всходов, растений льна-долгунца к уборке, когда опрыскивание комплексонатом бора повысило сохранность в сравнении с Se-ЭДДЯК на 5,6 %, с Zn-ЭДДЯК на 3,2 %, а относительно удобрений Сивид-Цинк и Сивид Комплекс на 1,7 и 4,7 %.

Применение комплексоната В-ЭДДЯК также положительно отразилось на общей выживаемости семян, увеличив ее, в срав-

нении с другими вариантами некорневых подкормок, на 2,9–5,0 %.

Преимущество использования бора в формировании более высокой густоты стояния растений объясняется его высокой значимостью в физиологических и биохимических процессах, протекающих в клетках растений льна-долгунца. В частности, бор затрагивает наиболее сильно процессы метаболизма в клетках растений льна и его дефицит приводит к отмиранию точек роста и даже гибели растений практически сразу же после раскрытия семядолей и наличия 1–2 пар листьев. При этом следует учитывать, что применять бор в качестве удобрения наиболее целесообразно в раздельном виде, а не в комбинациях с другими микроэлементами, так как может проявляться эффект антагонизма в поступлении микроэлементов в клеточные структуры растений [2].

Одним из базовых параметров формирования продуктивности и качества урожая льна-долгунца служит техническая длина стебля, которая находится в прямой взаимосвязи с общей длиной стебля, образовавшейся к моменту уборки (ранняя желтая спелость). Все, изучаемые в опыте микроэлементные удобрения, обеспечивали повышение технической длины стебля льна-долгунца в сравнении с контролем на 2,1–4,5 %, увеличивая при этом диаметр стеблей на 9,1 % (табл. 2).

Наибольшую в опыте общую длину стеблей, равную 69,2 см, обеспечило применение препарата В-ЭДДЯК, а техническую длину – обработка растений удобрениями В-ЭДДЯК и Se-ЭДДЯК.

Опрыскивание посевов микроэлементными удобрениями усиливало образование генеративных органов, что отразилось на повышении числа коробочек на одном растении – на 10,0–33,3 %. Наибольшее количество коробочек на растении (4,0 шт.) отмечалось при использовании В-ЭДДЯК.

Таблица 1

Показатели густоты стояния растений льна-долгунца в зависимости от изучаемых микроэлементных удобрений, среднее за 2017–2018 гг.

| Вариант опыта  | Густота стояния, шт/м <sup>2</sup> |          | Сохранность, % | Выживаемость, % |
|----------------|------------------------------------|----------|----------------|-----------------|
|                | всходы                             | к уборке |                |                 |
| Без обработки  | 1902                               | 1601     | 84,2           | 80,0            |
| Сивид-Цинк     | 1898                               | 1617     | 86,2           | 80,8            |
| Сивид-Комплекс | 1840                               | 1641     | 89,2           | 82,0            |
| Se-ЭДДЯК       | 1874                               | 1598     | 85,3           | 79,9            |
| Zn-ЭДДЯК       | 1830                               | 1605     | 87,7           | 80,2            |
| В-ЭДДЯК        | 1870                               | 1699     | 90,9           | 84,9            |



Таблица 2

Морфологические показатели растений льна, среднее за 2017–2018 гг.

| Вариант опыта  | Длина стебля, см |             | Диаметр стеблей, мм | Количество коробочек на 1 растении, шт. |
|----------------|------------------|-------------|---------------------|-----------------------------------------|
|                | общая            | техническая |                     |                                         |
| Без обработки  | 67,8             | 58,2        | 1,1                 | 3,0                                     |
| Сивид-Цинк     | 68,2             | 59,4        | 1,2                 | 3,3                                     |
| Сивид-Комплекс | 68,4             | 60,2        | 1,2                 | 3,4                                     |
| Se-ЭДЦЯК       | 68,5             | 60,8        | 1,2                 | 3,5                                     |
| Zn-ЭДЦЯК       | 68,6             | 59,6        | 1,2                 | 3,4                                     |
| B-ЭДЦЯК        | 69,2             | 60,8        | 1,2                 | 4,0                                     |

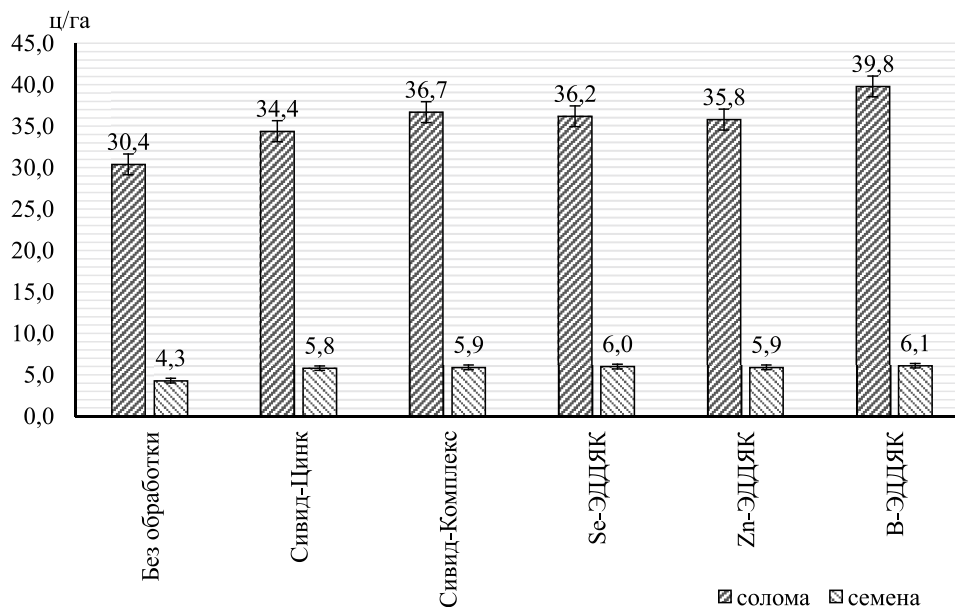
НСР<sub>05</sub> (солома) = 1,1, (семена) = 0,9 ц/га

Рис. 1. Влияние микроэлементных удобрений на урожайность соломы и семян льна, среднее за 2017–2018 гг.

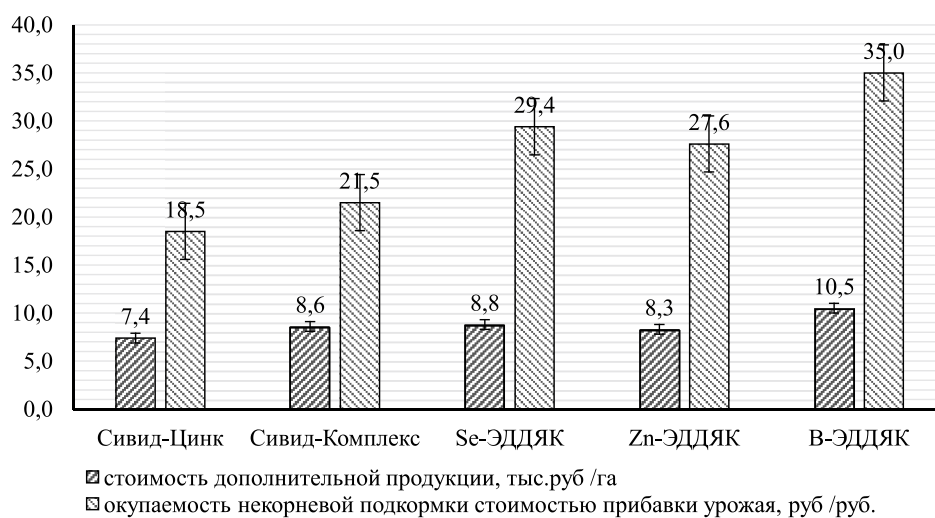


Рис. 2. Экономическая эффективность применения микроэлементных удобрений на льне-долгунце, среднее за 2017–2018 гг.



Улучшение густоты стеблестоя и морфологических показателей льна-долгунца, вызванное некорневыми подкормками микроэlementными удобрениями, обеспечило повышение его продуктивности, увеличив урожайность льносоломой относительно не-удобренных посевов на 4,0–9,4 ц/га (13,2–30,9%), а льносемян на 1,5–1,8 ц/га (34,9–41,9%) (рис. 1).

Наибольшая урожайность льнопродукции (льносолома – 39,8 ц/га, льносемена – 6,1 ц/га) была сформирована при обработке посевов комплексонатом на основе бора, что связано с благоприятным влиянием бора на формирование анатомической структуры стебля и его значимостью в процессах образования пыльцы и семян.

Подкормки другими удобрениями также способствовали достоверному повышению продуктивности растений, но диапазон этих прибавок был ощутимо ниже.

Наряду с оценкой увеличения урожайности льна-долгунца от изучаемых микроэlementных удобрений важно изучить экономическую целесообразность применения разрабатываемых приемов. Так, анализ экономического эффекта от некорневых подкормок микроэlementами выявил их высокую окупаемость стоимостью полученной прибавки урожая льнопродукции, достигающую 35,0 рублей на 1 рубль понесенных затрат (рис. 2).

По экономической эффективности в порядке убывания их ценности, изучаемые удобрения, расположились в следующем порядке: 1) комплексонат бора, 2) комплексонат селена, 3) комплексонат цинка, 4) Сивид-Комплекс, 5) Сивид-Цинк. Отдельным фактором, определяющим перспективность применения комплексонатов в системе удобрения льна-долгунца, является их низкая себестоимость производства, составляющая в промышленных условиях от 250 до 300 рублей за 1 л.

### Выводы

Таким образом, в результате комплексных исследований, проведенных на дерново-среднеподзолистых хорошо окультуренных почвах Верхневолжья, характеризующихся недостатком содержания бора и цинка, была выявлена высокая эффективность применения микроэlementных удобрений при возделывании льна-долгунца. Особой эффективностью отличались новые формы микроудобрений – комплексонаты, некорневая подкормка которыми обеспечила существенный рост продуктивности

льна-долгунца: соломы – 5,4–9,4 ц/га (17,8–30,9%), семян – 1,6–1,8 ц/га (37,2–41,9%).

Максимальная урожайность льносоломой (30,9 ц/га) и льносемян (6,1 ц/га) с наибольшей окупаемостью экономических затрат стоимостью прибавки урожая (35,0 руб/руб.) была сформирована при опрыскивании посевов комплексонатом бора, действующее вещество которого характеризуется значительным влиянием на биологические и биохимические процессы, происходящие в растениях. Также, наряду с повышением урожайности, В-ЭДДЯК характеризовался преимущественным влиянием на формирование густоты стояния и морфологические параметры растений льна-долгунца.

Другие виды удобрений (Сивид-Цинк, Сивид-Комплекс, Se-ЭДДЯК, Zn-ЭДДЯК) также характеризовались существенным положительным эффектом на продуктивность льна, но при этом ощутимо уступали В-ЭДДЯК.

В целом производству для повышения урожайности льна-долгунца и увеличения экономической эффективности его возделывания следует рекомендовать – проводить обработку посевов льна в фазе «елочка» комплексонатом бора (В-ЭДДЯК) с дозой расхода удобрения 50 г/га и нормой расхода рабочей жидкости 200 л/га.

### Список литературы / References

1. Фаринюк Ю.Т., Мигулев П.И., Глебова А.Г. Инновационное развитие АПК Тверской области: монография. Тверь: Тверская ГСХА, 2013. 175 с.  
Farinyuk Yu.T., Migulev P.I., Glebova A.G. Innovative development of agriculture of the Tver region: monograph. Tver: Tverskaya GSXA, 2013. 175 p. (in Russian).
2. Сорокина О.Ю. Научное обоснование оптимальных параметров плодородия дерново-подзолистых почв и применение агрохимических средств при возделывании льна-долгунца в Центральном Нечерноземье: дис. ... докт. с.-х. наук. Торжок, 2007. 237 с.  
Sorokina O.Yu. Scientific substantiation of optimal parameters of sod-podzolic soil fertility and the use of agrochemical agents in the cultivation of flax in the Central Non-Black Earth Region: dis. ... doc. s.-h. nauk. Torzhok, 2007. 237 p. (in Russian).
3. Мамутова А.А. Химия и действие регуляторов роста и развития растений. Алматы, 2013. 148 с.  
Mamutova A. A. Chemistry and action of growth regulators on plant development. Almaty, 2013. 148 p. (in Russian).
4. Ярошенко Т.М., Журавлева Д.Ю., Климова Н.Ф. Результаты применения микроэlementных препаратов на яровой пшенице // Современные тенденции развития науки и технологий. 2015. № 3–2. С. 74–77.  
Yaroshenko T.M., Zhuravlev D.Yu., Klimova N.F. The results of the application of microelement preparations on the spring wheat // Sovremennye tendentsii razvitiya nauki i tekhnologiy. 2015. № 3–2. P. 74–77 (in Russian).
5. Доронин С.В., Тихвинский С.Ф. Лён-долгунец. Технология возделывания и селекция. Киров: ВГСХА, 2003. 112 с.

Doronin S.V., Tikhvinskiy S.F. Flax. Technology of cultivation and selection. Kirov: VGSXA, 2003. 112 p. (in Russian).

6. Смирнова Т.И., Никольский В.М., Кудряшова Н.В., Иванютина Н.Н., Усанова З.И. Безотходная биологическая стимуляция растений на основе применения экологически чистых комплексов // Энергосбережение и водоподготовка. 2009. № 1. С. 61–63.

Smirnova T.I., Nikolskiy V.M., Kudryashova N.V., Ivanyutina N.N., Usanova Z.I. Waste – free biological stimulation of plants on the basis of application of environmentally friendly complexons // Energoberezhenie i vodopodgotovka. 2009. № 1. P. 61–63 (in Russian).

7. Усанова З.И., Смирнова Т.И., Иванютина Н.Н., Павлов М.Н., Булюкина О.А. Увеличение содержания полифруктанов в клубнях топинамбура под влиянием хелатных комплексов микроэлементов // Вестник Тверского государственного университета. Серия: Химия. 2017. № 3. С. 139–147.

Usanova Z.I., Smirnova T.I., Ivanyutina N.N., Pavlov M.N., Bulyukina O.A. Increase of polyfructan amount in the tubers of je-

rusalem artichoke under the influence of chelate complexes of microelements // Vestnik Tverskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Khimiya. 2017. № 3. P. 139–147 (in Russian).

8. Цой Т.Л. Влияние сверхмалых доз комплекснатов биогенных металлов на онтогенез, урожайность и качество льна-долгунца и картофеля: автореф. дис. ... канд. биол. наук. Барнаул, 2007. 23 с.

Tsoi T.L. Influence of ultra-low doses kompleksonatov biogenic metals on ontogeny, yield and quality of flax and potatoes: aftoref. dis. ... kand. biol. nauk. Barnaul, 2007. 23 p. (in Russian).

9. Методические указания по проведению полевых опытов со льном-долгунцом. Торжок: ВНИИЛ, 1978. 71 с.

Methodical instructions on carrying out field experiments with flax. Torzhok: VNIYL, 1978. 71 p. (in Russian).

10. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). М.: Агропромиздат, 1985. 351 с.

Dospexov B.A. Technique of field experiment (with bases of statistical processing of results of researches). M.: Agropromizdat, 1985. 351 p. (in Russian).

УДК 631.547:631.952:633.11

# ЭФФЕКТИВНОСТЬ КОНТРОЛЯ БОЛЕЗНЕЙ ЛИСТЬЕВ ЯРОВОЙ МЯГКОЙ ПШЕНИЦЫ СУПРАМОЛЕКУЛЯРНЫМ КОМПЛЕКСОМ ТЕБУКОНАЗОЛА С АРАБИНОГАЛАКТАНОМ

<sup>1</sup>Теплякова О.И., <sup>1</sup>Кулагин О.В., <sup>2</sup>Метелева Е.С., <sup>2</sup>Душкин А.В., <sup>1</sup>Власенко Н.Г.

<sup>1</sup>Сибирский НИИ земледелия и химизации сельского хозяйства СФНЦА РАН,

Краснообск, e-mail: vlas\_nata@ngs.ru;

<sup>2</sup>Институт химии твердого тела и механохимии СО РАН, Новосибирск, e-mail: dushkin@solid.nsk.su

В статье представлены результаты оценки эффективности обработки посевов яровой мягкой пшеницы сортов Новосибирская 31 и Обская 2 супрамолекулярным комплексом тебуконазола с полисахаридом арабиногалактаном, выделяемым из древесины лиственниц *Larix sibirica* и *Larix gmelinii* в массовом соотношении 1:10 с нормой расхода 0,5 кг/га, приготовленным по оригинальной механохимической технологии, против основных болезней листьев. Исследования проводили в двух полевых опытах в четырехкратной повторности в условиях центрально-лесостепного Приобского агроландшафтного района Новосибирской области на черноземе выщелоченном. Отмечена различная пораженность сортов болезнями – в агроценозе Новосибирской 31 присутствовали бурая ржавчина, мучнистая роса и септориоз, развитие которых достигало 60,8, 3,3 и 21,6%, в агроценозе Обской 2 – только последнее заболевание (20,1%). Опрыскивание посевов в фазе начала колошения коммерческим препаратом – Фоликуром, КС снизило развитие бурой листовой ржавчины, септориоза и мучнистой росы на растениях Новосибирской 31 на 98, 97 и 87% соответственно. Исследуемый препарат лишь немного уступал в эффективности стандарту – 99, 86 и 70% соответственно. В посевах пшеницы Обская 2 эталонный фунгицид Фоликур подавил септориоз на 93-97%, а изучаемая композиция – на 83-92% на подфлаговом и флаговом листьях соответственно. Применение Фоликура и супрамолекулярного комплекса на 22 и 26% увеличивало площадь листьев и задерживало их старение. Рост урожайности при применении композиции был выше (0,53–0,65 т/га), чем при применении Фоликура (0,31–0,64 т/га). Таким образом, однократной обработкой посевов в начале колошения супрамолекулярным комплексом тебуконазола с полисахаридом арабиногалактаном, с нормой расхода 0,5 кг/га, можно эффективно контролировать листовые инфекции мягкой яровой пшеницы.

**Ключевые слова:** яровая мягкая пшеница, супрамолекулярный комплекс, тебуконазол, арабиногалактан, эффективность, урожайность зерна

## EFFICIENCY OF SPRING SOFT WHEAT LEAF DISEASES CONTROL BY SUPRAMOLECULAR COMPLEX OF TEBUCONAZOLE WITH ARABINOGALAKTAN

<sup>1</sup>Tepliyakova O.I., <sup>1</sup>Kulagin O.V., <sup>2</sup>Metelleva E.S., <sup>2</sup>Dushkin A.V., <sup>1</sup>Vlasenko N.G.

<sup>1</sup>Siberian Institute of Soil Management and Chemicalization of Agriculture SFSCA RAS,

Krasnoobsk, e-mail: vlas\_nata@ngs.ru;

<sup>2</sup>Institute of Solid State Chemistry and Mechanochemistry SB RAS, Novosibirsk, e-mail: dushkin@solid.nsk.su

The article presents the results of efficiency estimation of spring wheat varieties of Novosibirskaya 31 and Obskaya 2 treatment with supramolecular complex of tebuconazole with a polysaccharide arabinogalactan, isolated from larch wood *Larix sibirica* and *Larix gmelinii* in a mass ratio of 1: 10 with a flow rate of 0.5 kg / ha, prepared according to the original mechanochemical technology, against major leaf diseases. The researches were carried out fourfold in two field experiments in conditions of the central forest-steppe Priobsky agrolandscape district of the Novosibirsk region on leached chernozem. Different incidence of varieties of diseases was noted – brown leaf rust, powdery mildew and septoria were present in the Novosibirskaya 31 agroecosis, the development of which reached 60.8, 3.3 and 21.6%, in the agroecosis of the Obskaya 2 – only the last disease (20.1%). Crops spraying in the beginning of earing phase with a commercial drug – Follicure, CS has reduced the development of leaf rust, septoria and powdery mildew on plants of Novosibirskaya 31 by 98, 97 and 87%, respectively. The study drug was only slightly less effective than the standard – 99, 86 and 70%, respectively. In the wheat crops of Obskaya 2 reference fungicide Follicur suppressed septoria by 93-97%, and the studied composition – by 83-92% on the subflag and flag leaves, respectively. The use of Follicur and supramolecular complex increased leaf area by 22 and 26% and delayed their aging. Yield growth with application of composition was higher (0.53 – 0.65 t/hectare), than is was with Follicur's application (0.31 – 0.64 t/hectare). Thus, a single treatment of crops at the phase of beginning of earing with a supramolecular complex of tebuconazole with polysaccharide arabinogalactan, with a flow rate of 0.5 kg / ha, can effectively control leaf infections of soft spring wheat.

**Keywords:** spring soft wheat, supramolecular complex, tebuconazole, arabinogalactan, efficiency, grain yield

Большую опасность для посевов пшеницы представляют фитопатогенные грибные заболевания, среди них в Западной Сибири наиболее опасными являются листовые ин-

фекции – бурая ржавчина, септориоз и мучнистая роса. Развиваясь на листьях, эти болезни уменьшают их ассимиляционную поверхность и разрушают хлорофилл, что

приводит к снижению фотосинтеза, преждевременному старению и отмиранию листового аппарата [1].

Известно, что вклад в урожай верхних трех листьев у колосовых культур составляет около 75–80%, флагового листа – до 35%. Поэтому очень важно как можно дольше сохранить их живыми и свободными от болезней и особенно не допустить распространения инфекции на флаговый лист. Для этого необходимо проводить фитосанитарный мониторинг посевов и следить за развитием заболевания с тем, чтобы своевременно провести защитные мероприятия [2]. В арсенале средств химической защиты имеются фунгициды, обладающие высокой эффективностью против листовых инфекций зерновых культур. Однако большинство биологически активных соединений относится к классу плохо или нерастворимых в воде и физиологически активных средах, что предполагает применять завышенные дозировки действующих веществ [3]. Новые направления развития химии пестицидов реализуют это направление за счет разработки и создания пестицидов нового поколения с меньшими нормами расхода и более эффективной биодоступностью [4]. В связи с этим для увеличения растворимости действующих веществ используется метод их совместной механохимической обработки с водорастворимыми полимерами. Полученные при этом твердые дисперсии обладают повышенной растворимостью в воде, что предполагает увеличение биологической активности таких композиций [5]. С целью получения новых экономичных биодоступных фунгицидов с меньшей нормой расхода по действующему веществу применяют водные растворы сахаров [6], препаративные формы, полученные методом интенсивной механической и термохимической обработки с введением композиционных добавок [7]. В качестве активной экологической добавки в рецептуру фунгицидных препаратов эффективно вводить природный полисахарид арабиногалактан, выделенный из лиственниц сибирской (*Larix sibirica* L.) и Гмелина (*Larix gmelinii* (Rupr.) Kuzen.) [8], который в модельных экспериментах показывал высокую мембранотропность [9].

Цель настоящего исследования – определить эффективность применения супрамолекулярного комплекса тебуконазола с арабиногалактаном для контроля болезней листьев яровой мягкой пшеницы в лесостепной зоне Западной Сибири.

## Материалы и методы исследования

Исследования проводили на опытном поле СибНИИЗиХ СФНЦА РАН, расположенном в центрально-лесостепном Приобском агроландшафтном районе Новосибирской области. Опыты размещали по пару. В опытах использовали два сорта яровой мягкой пшеницы – Обская 2 и Новосибирская 31. Посев осуществляли 21 и 22 мая сеялкой СН-16. Норма высева 6 млн. всхожих зерен /га. Опыты включали 3 варианта: 1 – контроль без обработки фунгицидами; 2 – Фоликур, КЭ (д.в. тебуконазол, 250 г/л), норма расхода 1 л/га; 3 – супрамолекулярный комплекс тебуконазола с полисахаридом арабиногалактаном 1:10 (массовое соотношение) 0,5 кг/га. Приготовление сухой композиции – комплекса тебуконазола с арабиногалактаном осуществляли по оригинальной механохимической технологии, описанной ранее [10], продолжительность обработки составляла 6 ч. При этом удалось добиться увеличения водорастворимости тебуконазола в 3 раза, а также увеличения трансмембранного переноса (эксперимент проводился на искусственных мембранах методом РАМРА, который используется для предсказания проницаемости биологически активных веществ через клеточные мембраны). Повторность опыта четырехкратная, размещение – систематическое, площадь делянки 25 м<sup>2</sup>. Обработку посевов фунгицидами против комплекса болезней листьев проводили в фазе колошения ручным опрыскивателем, норма расхода рабочей жидкости 300 л/га. Семена перед посевом обрабатывали системным фунгицидом. Посевы в фазе кущения опрыскивали баковой смесью дикотицида и граминицида против комплекса сорняков. Уборку урожая осуществляли прямым комбайнированием. Урожайность приводили к стандартной влажности и чистоте согласно ГОСТ 1386.5-93 и 1386-2-81. Оценку фитосанитарного состояния посевов (септориоз – *Septoria nodorum* Berk., *Septoria tritici* Rob. Et Desm. [11], бурая листовая ржавчина – *Puccinia recondita* Rob. Et Desm. (шкала Петерсона); мучнистая роса – возбудитель *Blumeria graminis* (DC) Speer. (синоним *Erysiphe graminis* DC) f. *tritici* Em. Marchal порядка *Erysiphales* [12] проводили в фазе молочной спелости культуры. Площадь флагового листа главного побега (n = 100) определяли методом промеров [13] с поправочным коэффициентом 0,67 в фазе молочной спелости зерна. Математическую обработку данных осуществляли пакетом прикладных программ «СНЕДЕКОР» [14].



Таблица 1

Эффективность контроля болезней листьев яровой пшеницы Новосибирская 31 супрамолекулярным комплексом тебуконазола с арабиногалактаном

| Варианты опыта                                            | Бурая ржавчина             |                               | Септориоз                  |                               | Мучнистая роса             |                               |
|-----------------------------------------------------------|----------------------------|-------------------------------|----------------------------|-------------------------------|----------------------------|-------------------------------|
|                                                           | индекс развития болезни, % | распространенность болезни, % | индекс развития болезни, % | распространенность болезни, % | индекс развития болезни, % | распространенность болезни, % |
| Контроль без обработки фунгицидами                        | 60,8                       | 97,0                          | 21,6                       | 100,0                         | 3,3                        | 32,0                          |
| Фоликур, КЭ, 1 л/га                                       | 1,14                       | 21,00                         | 0,63                       | 38,0                          | 0,44                       | 16,00                         |
| Композиция тебуконазол: арабиногалактан = 1:10, 0,5 кг/га | 1,06                       | 22,0                          | 3,11                       | 76                            | 0,98                       | 27,0                          |

### Результаты исследования и их обсуждение

Исследования проводили в условиях увлажненного вегетационного периода, что способствовало развитию всех основных болезней листьев пшеницы – септориоза, бурой ржавчины и мучнистой росы, однако сорта поражались болезнями по-разному. В посевах Новосибирской 31 до фазы колошения культуры фиксировали два заболевания – септориоз и мучнистую росу. Их распространенность в нижнем ярусе растений (3-й лист сверху) составила 49 и 62, индекс развития – 2,17 и 3,21%. Листья верхнего яруса поражались возбудителями слабее: септориозная пятнистость с интенсивностью поражения в 1% обнаруживалась на 11% растений, единичные подушечки мучнистой росы – на 16%. К фазе молочной спелости зерна в верхнем ярусе растений их инфекционный фон увеличился: распространенность мучнистой росы достигла 32%; развитие болезни – 10,7%; септориоз соответственно – 100 и 21,6%, но этим заболеваниям не дала развиваться бурая ржавчина, интенсивно распространявшаяся в незащищенных посевах (табл. 1).

Новый фунгицидный комплекс тебуконазола с арабиногалактаном высокоэффективно контролировал бурую ржавчину (биологическая эффективность = 98,3%), что соответствовало эффекту, полученному от обработки посевов химическим эталоном (биологическая эффективность 98,1%) (рисунок). Скорость нарастания инфекции *Puccinia recondita* на контрольном посеве начала усиливаться в конце налива и составила 3,19% в сутки (коло-

шение – налив = 0,52% в сутки), увеличиваясь в период молочной спелости до 4,4%. Аналогичная скорость инфекционного прироста в варианте с обработкой композицией тебуконазол:арабиногалактан достигла к молочной спелости культуры лишь 0,06 и 0,07% в сутки, Фоликуром – 0,01%.

Фитосанитарный эффект нового фунгицидного комплекса по сдерживанию септориозной пятнистости на флаг-листе был ниже – 85,6%, в то время как Фоликур подавил заболевание на 97,1%.

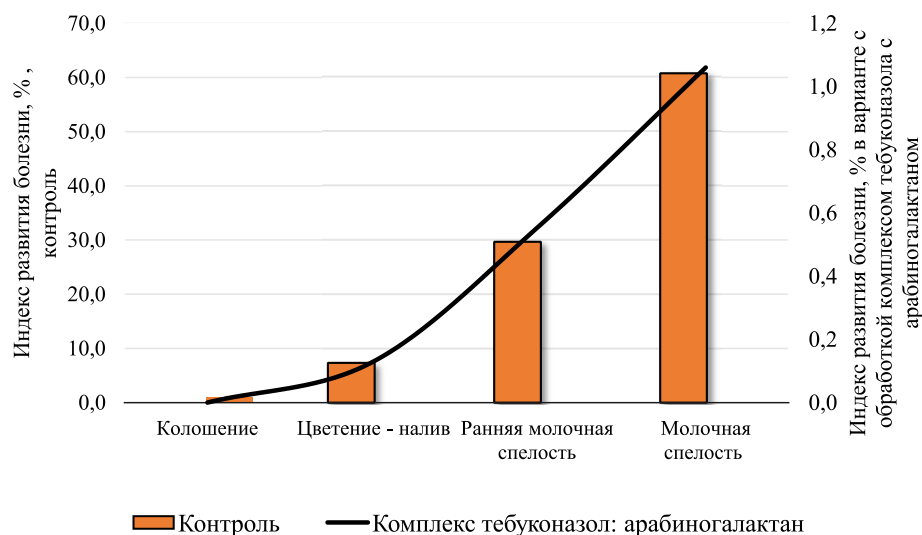
Посевы Обской 2 поражались только септориозом, против которого была подтверждена высокая фунгицидная эффективность нового препарата (табл. 2). На этапе перехода растений к молочной спелости зерна развитие болезни, достигшее на незащищенном под флаговом листе 21,1%, контролировалось супрамолекулярным комплексом на уровне 83,1%. Эффективность химического эталона была выше – 92,8%. К концу молочной спелости зерна флаг-лист защищенных посевов оставался слабо пораженным и частота встречаемости здоровых растений в варианте с обработкой новым фунгицидным комплексом превышала таковую контроля в 4,7 раз. В эту фазу развития растений биологическая эффективность комплекса тебуконазола с арабиногалактаном была сопоставима с Фоликуром – 92,1 и 97,1% соответственно.

У защищенной новым фунгицидным комплексом пшеницы достоверно увеличивалась площадь флагового листа и задерживалось засыхание листьев. Обработка посевов супрамолекулярным комплексом тебуконазола с арабиногалактаном при-



водила к росту площади флаг-листа до 24,2 см<sup>2</sup> у пшеницы сорта Новосибирская 31 и до 23,2 см<sup>2</sup> у сорта Обская 2, что было выше на 24 и 22 %, чем в контроле – 18,4 и 18,1 см<sup>2</sup> соответственно. При применении

Фоликура площадь флаг-листа возросла до 24,7 и 24,0 см<sup>2</sup>, или на 25,6 и 24,5 % у Новосибирской 31 и Обской 2 соответственно ( $HCP_{05} = 0,16$  и  $0,31$ ; Степень влияния по Снедекору – 99,7 и 99,5 %).



|                                                                                                                                |                                                    |                                                                                           |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                                                                                                |                                                    |                                                                                           |
| Флаг-лист, защищенный комплексом тебуконазола с арабиногалактаном, 0,5 кг/га; через 30 дней после обработки в начале колошения | Без обработки фунгицидами, конец молочной спелости | Флаг лист, защищенный Фоликуром, 1 л/га; через 30 дней после обработки в начале колошения |

*Эффективность контроля бурой листовой ржавчины в посевах яровой мягкой пшеницы Новосибирская 31 комплексом тебуконазола с арабиногалактаном, флаг-лист*

**Таблица 2**

Эффективность контроля болезней листьев яровой пшеницы Обская 2 супрамолекулярным комплексом тебуконазола с арабиногалактаном

| Ярус листьев                          | Варианты опыта                                            | Индекс развития болезни, % | Распространенность болезни, % | Биологическая эффективность, % |
|---------------------------------------|-----------------------------------------------------------|----------------------------|-------------------------------|--------------------------------|
| Подфлаг (переход к молочной спелости) | контроль – без обработки фунгицидами                      | 21,08                      | 100,0                         | –                              |
|                                       | Фоликур, КЭ, 1 л/га                                       | 1,51                       | 45,0                          | 92,8                           |
|                                       | композиция тебуконазол: арабиногалактан = 1:10, 0,5 кг/га | 3,57                       | 80,0                          | 83,1                           |
| Флаг-лист (конец молочной спелости)   | контроль без обработки фунгицидами                        | 4,48                       | 80,0                          | –                              |
|                                       | Фоликур, КЭ, 1 л/га                                       | 0,13                       | 13,0                          | 97,1                           |
|                                       | композиция тебуконазол: арабиногалактан = 1:10, 0,5 кг/га | 0,35                       | 17,0                          | 92,1                           |

Таблица 3

Влияние обработки посевов супрамолекулярным комплексом тебуконазола с арабиногалактаном на урожайность пшеницы Новосибирская 31 и Обская 2

| Варианты опыта                                            | Новосибирская 31    |                   | Обская 2            |                   |
|-----------------------------------------------------------|---------------------|-------------------|---------------------|-------------------|
|                                                           | масса 1000 зерен, г | урожайность, т/га | масса 1000 зерен, г | урожайность, т/га |
| Контроль без обработки фунгицидами                        | 37,76               | 5,36              | 47,72               | 4,72              |
| Фоликур, КЭ, 1 л/га                                       | 42,59               | 6,00              | 53,43               | 5,03              |
| Композиция тебуконазол: арабиногалактан = 1:10, 0,5 кг/га | 42,51               | 6,01              | 51,83               | 5,25              |
| Коэффициент корреляции                                    | 0,99                |                   | 0,76                |                   |
| НСР <sub>05</sub>                                         | 0,27                | 0,12              | 0,33                | 0,14              |
| Степень влияния по Снедекору                              | 99,6                | 96,7              | 99,7                | 94,3              |

Применение комплекса тебуконазола с арабиногалактаном приводило к существенному росту урожайности зерна пшеницы, тесно связанному с ростом массы 1000 зерен (табл. 3).

Масса 1000 зерен у пшеницы сорта Новосибирская 31 увеличилась на 4,75 г, у Обской 2 – на 4,11 г при применении композиции и на 4,83 и 5,74 г – при использовании Фоликура. Опрыскивание посевов изучаемым препаратом обеспечило рост урожайности зерна яровой пшеницы сорта Новосибирская 31 на 0,65 т/га, или 12,1 %, сорта Обская 2 – на 0,53 т/га или 11,2 %, а использование Фоликура увеличило урожайность на 0,64 т/га (11,9) и 0,31 т/га (6,6 %).

Полученные результаты показывают, что в благоприятных для развития фитопатогенов и растения-хозяина условиях, однократной обработкой посевов в начале колошения супрамолекулярным комплексом тебуконазола с полисахаридом арабиногалактаном, выделяемым из древесины лиственниц *Larix sibirica* и *Larix gmelinii* в массовом соотношении 1:10 с нормой расхода 0,5 кг/га, приготовленным по оригинальной механохимической технологии, можно эффективно контролировать болезни листьев, вызываемые возбудителями *Puccinia recondita*, *Seporia nodorum* и *Blumeria graminis*. В случае эпифитотийного развития бурой листовой ржавчины его применение обеспечивает увеличение сбора зерна мягкой яровой пшеницы, сопоставимое с использованием фунгицида Фоликур с нормой расхода 1 л/га – 0,65 и 0,64 т/га. Иной хозяйственный эффект получен на пшенице, пораженной септориозной инфекцией. В этой фитосанитарной обстановке прибавка урожая от обработки растений новым фунгицидным комплексом составила 0,53 т/га и превысила стандарт на 0,22 т/га.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ и Правительства Новосибирской области в рамках научного проекта №18-416-540007/18.

#### Список литературы / References

1. Санин С.С. Эпифитотии болезней зерновых культур: теория и практика. Избранные труды. М.: НИПКС Восход-А, 2012. 451 с.
2. Санин С.С. Epiphytotics of diseases of grain crops: theory and practice. Selected works. М.: NIPKC Voskhod-A, 2012. 458 p. (in Russian).
3. Пахолкова Е.В. Скорость развития листостебельных инфекций зерновых культур // Защита и карантин растений. 2015. № 3. С. 39–40.
4. Pakholkova E.V. The rate of development of leaf stalk infections of grain crops // Protection and quarantine of plants. 2015. № 3. P. 39–40 (in Russian).
5. De Jong W.I., Born P.I.A. Drug delivery and nanoparticles: Applications and hazards // Inter. J. Nanomedicine. 2008. vol. 3. no 2. P. 133–149. DOI: 10.2147/IJN.S596.
6. Захаренко В.А. Проблема резистентности вредных организмов к пестицидам – мировая проблема // Вестник защиты растений. 2001. № 1. С. 3–17.
7. Zakharenko V.A. Pesticide resistance in pests as a major problem throughout the word // Plant Protection News. 2001. № 1. P. 3–17 (in Russian).
8. Халиков С.С., Душкин А.В., Давлетов Р.Д., Евсеев В.И. Создание инновационных фунгицидных средств на основе тебуконазола с привлечением механохимических процессов // Фундаментальные исследования. 2013. № 10–12. С. 2695–2700.
9. Khalikov S.S., Dushkin A.V., Davletov R.D., Evseenko V.I. The creation of innovative fungicides based on tebuconazole and mechanochemical processes // Fundamental Researches. 2013. no 10–12. P. 2695–2700 (in Russian).
10. Чикишева Г.Е., Мударисова Р.К., Коптяева Е.И., Яковлев В.Г., Земченкова Г.К., Буслаева Л.И. Влияние моносахаридов на фунгицидную активность метилового эфира 2-бензимидазолкарбамина кислоты // Башкирский химический журнал. 2010. Т. 17. № 5. С. 145–148.
11. Chikisheva G.E., Mudarisova R.K., Koptyaeva E.I., Yakovlev V.G., Zemchenkova G.K., Buslaeva L.I. Influence of monosaccharides on fungicidal activity of methyl ether of 2-benzimidazocarbamine acid // Bashkir Chemical Journal. 2010. Vol. 17. № 5. P. 145–148 (in Russian).
12. Массалимов И.А., Удовенко И.Ф., Киреева М.С., Вихарева И.Н. Применение водных серосодержащих композиций в качестве средств защиты растений // Башкирский химический журнал. 2006. Т. 13. № 4. С. 97–100.

- Massalimov I.A., Udovenko I.F., Kireeva M.S., Vikhareva I.N. The use of aqueous sulfur-containing compositions as a means of plant protection // *Bashkir Chemical Journal*. 2006. Vol. 13. № 4. P. 97–100 (in Russian).
8. Халиков С.С., Теплякова О.И., Власенко Н.Г., Халиков М.С., Евсеенко В.И., Душкин А.В. Применение арабиногалактана для улучшения технологических и биологических свойств протравителей зерновых культур // *Химия в интересах устойчивого развития*. 2015. Т. 23. № 5. С. 591–599. DOI: 10.15372/KhUR20150513.
- Khalikov S.S., Teplyakova O.I., Vlasenko N.G., Khalikov M.S., Evseenko V.I., Dushkin A.V. Application of arabinogalactan for improvement of technological and biological properties of grain crops protectants // *Chemistry for Sustainable Development*. 2015. Vol. 23. № 5. P. 591–599 (in Russian).
9. Медведева Е.Н., Бабкин В.А., Остроухова Л.А. Арабиногалактан листовенницы – свойства и перспективы использования (обзор) // *Химия растительного сырья*. 2003. № 1. С. 27–37.
- Medvedeva E.N., Babkin V.A., Ostroukhova L.A. Larch Arabinogalactan – properties and prospects (review) // *Chemistry of Plant Raw Materials*. 2003. № 1. P. 27–37 (in Russian).
10. Метелева Е.С., Евсеенко В.И., Теплякова О.И., Халиков С.С., Поляков Н.Э., Апанасенко И.Е., Душкин А.В., Власенко Н.Г. Нанопестициды на основе супрамолекулярных комплексов тебуконазола для обработки семян злаковых культур // *Химия в интересах устойчивого развития*. 2018. Т. 26. № 3. С. 279–294. DOI: 10.15372/KhUR20180304.
- Metelleva E.S., Evseenko V.I., Teplyakova O.I., Khalikov S.S., Polyakov N.E., Apanasenko I.E., Dushkin A.V., Vlasenko N.G. Nanopesticides based on supramolecular complexes of tebuconazole for the treatment of cereal seeds // *Chemistry for Sustainable Development*. 2018. Vol. 26. № 3. P. 279–294 (in Russian).
11. Санин С.С., Санина А.А., Мотовилин А.А. Пахолкова Е.В., Корнева Л.Г. Жохова Т.П. Полякова Т.М. Защита пшеницы от септориоза // Приложение к журналу «Защита и карантин растений». 2012. № 4. С. 73.
- Sanin S.S., Sanina A.A., Motovilov A.A. Pakholkova E.V., Korneva L.G. Zhokhova T.P. Polyakova T.M. Protecting wheat from septoriosiis // *Supplement to the journal «Protection and quarantine of plants»*. 2012. № 4. P. 73 (in Russian).
12. Санин С.С. Неклеса Н.П. Стрижекозин Ю.А. Защита пшеницы от мучнистой росы // *Защита и карантин растений*. 2008. № 1. С. 62–70.
- Sanin S.S. Neklesa N.P. Strizhokzin Yu.A. Protecting wheat from powdery mildew // *Protection and quarantine of plants*. 2008. № 1. P. 62–70 (in Russian).
13. Дмитриев Н.Н., Хуснидинов Ш.К. Методика ускоренного определения площади листовой поверхности сельскохозяйственных культур с помощью компьютерной технологии // *Вестник КрасГАУ*. 2016. № 7. С. 88–93.
- Dmitriev N.N., Khusnidinov Sh.K. Accelerated method determination of leaf area of crops by computer technology // *Vestnik KrasGAU*. 2016. № 7. P. 88–93 (in Russian).
14. Сорокин О.Д. Прикладная статистика на компьютере. 2-е изд. Новосибирск: Изд-во ГУП РПО СО РАСХН, 2012. 282 с.
- Sorokin O.D. Application statistics on the computer. 2nd ed. Novosibirsk: Izd-vo GUP RPO SO RASHN, 2012. 282 p. (in Russian).

УДК 528.8:523.4-853

## ЧИСЛЕННО-АНАЛИТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ УГЛОВЫХ И ЧАСТОТНЫХ ФЛУКТУАЦИЙ ДЕКАМЕТРОВОГО РАДИОСИГНАЛА ПРИ НАКЛОННОМ ЗОНДИРОВАНИИ ИОНОСФЕРЫ

<sup>1</sup>Агеева Е.Т., <sup>2</sup>Афанасьев Н.Т., <sup>1</sup>Ким Д.Б., <sup>2</sup>Чудаев С.О.

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО «Братский государственный университет», Братск;

<sup>2</sup>ФГБОУ ВО «Иркутский государственный университет», Иркутск, e-mail: spacemaklay@gmail.com

Развит аппарат математического моделирования статистических характеристик декаметрового радиосигнала на трассах наклонного зондирования ионосферы. В приближении геометрической оптики и метода малых возмущений получены двукратные интегралы по траекториям для дисперсий и функции взаимной корреляции угловых и частотных флуктуаций радиосигнала с учетом фиксированного положения пунктов излучения и приема ионизации. Полученные двукратные интегралы сведены к однократным путем введения эффективной модели пространственно-временной корреляционной функции неоднородностей диэлектрической проницаемости ионосферы. Рассмотрено квазиоднородное по времени и по пространству случайное поле неоднородностей. Использован гауссов вид однородной части корреляционной функции с пространственным радиусом корреляции случайных неоднородностей равным внешнему масштабу ионосферной турбулентности, заданной степенным спектром. Интегральные формулы для дисперсий и функции взаимной корреляции угловых и частотных флуктуаций радиосигнала преобразованы в обыкновенные дифференциальные уравнения первого порядка. Получена система дифференциальных уравнений для численного расчета среднего вертикального угла прихода и доплеровского смещения частоты радиосигнала на трассе наклонного зондирования для произвольной аналитической модели диэлектрической проницаемости ионосферы. Сделан аналитический вывод системы дифференциальных уравнений для расчета производных по параметру, входящих в интегральные формулы для статистических моментов радиосигнала. Получена полная система дифференциальных уравнений для одновременного расчета средних и флуктуационных характеристик радиосигнала в широком диапазоне рабочих частот. Численное решение полной системы с заданными начальными условиями позволяет определить угловые и частотные флуктуации радиосигнала на трассах различной протяженности. Приведены примеры численно-аналитического моделирования статистических моментов декаметрового радиосигнала в разных ионосферных условиях.

**Ключевые слова:** неоднородности, флуктуации, ионосфера, декаметровые радиоволны, наклонное зондирование, моделирование

## NUMERICAL-ANALYTICAL MODELING OF ANGULAR AND FREQUENCY FLUCTUATIONS OF DECAMETER RADIO SIGNAL UNDER OBLIQUE SOUNDING OF IONOSPHERE

<sup>1</sup>Ageeva E.T., <sup>2</sup>Afanasev N.T., <sup>1</sup>Kim D.B., <sup>2</sup>Chudaev S.O.

<sup>1</sup>Bratsk State University, Bratsk;

<sup>2</sup>Irkutsk State University, Irkutsk, e-mail: spacemaklay@gmail.com

We develop formalism for mathematical modeling of statistical characteristics of decameter radio signal on oblique radio wave trajectories in the ionosphere. Using the geometrical optics and the method of small perturbations, we derive expressions for variances and correlation functions of angular and frequency fluctuations of a radio signal in the form of twofold path integrals. In the derivation, we take into account the positions of the sounder and receiver. We transform the obtained twofold integrals to regular integrals by introducing an effective model of spatial-temporal correlation function of dielectric permeability irregularities of the ionosphere. We further consider a field of irregularities that is quasi-homogeneous in time and space. In addition, we use a Gaussian form of the homogeneous part of the correlation function with the correlation radius equal to the outer scale of ionospheric turbulence described by a power-law spectrum. We then transform the derived integral expressions to first-order ordinary differential equations. We obtain a set of differential equations suitable for a numerical computation of the mean vertical angle of arrival and the frequency Doppler shift for a radio signal propagating obliquely in the ionosphere, assuming an arbitrary analytical model of dielectric permeability of the ionosphere. We also derive analytically differential equations for parametric derivatives entering integral expressions for statistical moments of the radio signal. We obtain a closed set of differential equations, with which the mean and fluctuation characteristics of the radio signal can be computed simultaneously in a wide range of working frequencies. Numerical solution of this closed set with given initial conditions allows one to determine angular and frequency fluctuations of the radio signal for trajectories of variable lengths. We present examples of the numerical-analytical modeling of statistical moments of a decameter radio signal under various ionospheric conditions.

**Keywords:** irregularities, fluctuations, ionosphere, decameter radio waves, oblique propagation, modeling

Как известно [1], измерения угловых и частотных флуктуаций декаметрового радиосигнала, отраженного от ионосферы, можно использовать для исследования тонкой структуры околоземной плазмы.

Между тем для успешной постановки экспериментов по изучению ионосферных неоднородностей целесообразно предварительно рассчитать ожидаемые величины этих флуктуаций на разных рабочих ча-

стотах на системе трасс. Сделать строгие аналитические расчеты флуктуаций характеристик сигнала при наклонном зондировании случайно-неоднородной ионосферы не представляется возможным. В этом случае для решения задачи можно применить имитационное моделирование, основанное на методе Монте-Карло [2]. Однако при использовании метода статистических испытаний на трассах наклонного зондирования существует большая проблема, связанная с тем, что для каждой реализации случайной функции диэлектрической проницаемости ионосферы необходимо решать краевую задачу электродинамики. Последнее требует больших вычислительных ресурсов для проведения расчетов. Более того, метод Монте-Карло не позволяет установить функциональные связи между флуктуациями характеристик сигнала и параметрами ионосферных неоднородностей.

Альтернативным вариантом расчета статистических характеристик сигнала являются приближенные аналитические методы теории случайных полей [3], использующие физические представления о корреляционных свойствах тонкой структуры ионосферы. Результатом применения приближенных методов обычно являются сложные интегральные выражения для статистических моментов флуктуационных характеристик сигнала. Использование этих выражений для моделирования и интерпретации реальных данных измерений ионизированной среды требует разработки специальных численных алгоритмов.

Цель работы заключается в развитии аппарата численно-аналитического моделирования угловых и частотных флуктуаций декаметрового радиосигнала для интерпретации данных измерений на трассах наклонного зондирования ионосферы.

#### Основные теоретические соотношения

Для расчета угловых и частотных флуктуаций радиосигнала в ионосфере используем стохастические дифференциальные уравнения лучевого приближения [3]:

$$\begin{aligned} \frac{dz}{dt} &= c\sqrt{\epsilon} \cos \beta, \quad \frac{dx}{dt} = c\sqrt{\epsilon} \sin \beta, \\ \frac{d\Delta\omega}{dt} &= -\frac{\omega}{2} \frac{\partial \epsilon}{\partial \tau}, \\ \frac{d\beta}{dt} &= c \frac{\partial \sqrt{\epsilon}}{\partial x} \cos \beta - c \frac{\partial \sqrt{\epsilon}}{\partial z} \sin \beta, \end{aligned} \quad (1)$$

где  $z, x, \beta$  – характеристики луча;  $\Delta\omega$  – доплеровский сдвиг частоты,  $\epsilon$  – случайная функция диэлектрической проницаемости ионосферы,  $dt$  – элемент группового времени запаздывания. Решения уравнений (1) получим с помощью метода малых возмущений [3] с учетом фиксированного положения пунктов излучения и приема ионизированной среды. Введем представление:

$$\epsilon = \epsilon_0(z, \tau) + \epsilon_1(z, x, \tau), \quad (2)$$

где  $\epsilon_0$  – средняя составляющая,  $\epsilon_1$  – малая случайная компонента, характеризующая ионосферные неоднородности ( $\epsilon_1 \ll \epsilon_0$ ,  $\frac{\partial \epsilon_0}{\partial \tau} \ll \frac{\partial \epsilon_1}{\partial \tau}$ ),  $\tau$  – время. Решения уравнений (1) будем искать в виде

$$\begin{aligned} z &= z_0 + z_1, \quad x = x_0 + x_1, \quad \beta = \beta_0 + \beta_1, \\ \Delta\omega &= \Delta\omega_0 + \Delta\omega_1, \end{aligned} \quad (3)$$

где  $z_0, x_0, \beta_0, \Delta\omega_0$  – соответственно текущие координаты траектории сигнала, угол рефракции и доплеровский сдвиг частоты в средней ионосфере;  $z_1, x_1, \beta_1, \Delta\omega_1$  – флуктуации характеристик сигнала, вызванные случайными неоднородностями.

Подставляя (2), (3) в уравнения (1) и проводя асимптотические разложения, имеем

$$\frac{dz_0}{dt} = c\sqrt{\epsilon_0} \cos \beta_0, \quad \frac{dx_0}{dt} = c\sqrt{\epsilon_0} \sin \beta_0, \quad \frac{d\beta_0}{dt} = -c \frac{\partial \sqrt{\epsilon_0}}{\partial z} \sin \beta_0, \quad \frac{d\Delta\omega_0}{dt} = -\frac{\omega}{2} \frac{\partial \epsilon_0}{\partial \tau}, \quad (4)$$

$$\frac{dz_1}{dt} = -c\sqrt{\epsilon_0} \beta_1 \sin \beta_0 + c \cos \beta_0 \frac{1}{2\sqrt{\epsilon_0}} \frac{\partial \epsilon_0}{\partial z_0} z_1 + c \cos \beta_0 \frac{1}{2} \frac{\epsilon_1}{\sqrt{\epsilon_0}}, \quad \frac{d\Delta\omega_1}{dt} = -\frac{\omega}{2} \frac{\partial \epsilon_1}{\partial \tau},$$

$$\frac{dx_1}{dt} = c\sqrt{\epsilon_0} \beta_1 \cos \beta_0 + c \sin \beta_0 \frac{1}{2\sqrt{\epsilon_0}} \frac{\partial \epsilon_0}{\partial z_0} z_1 + c \sin \beta_0 \frac{1}{2} \frac{\epsilon_1}{\sqrt{\epsilon_0}}, \quad (5)$$

$$\frac{d\beta_1}{dt} = -c \frac{\partial \sqrt{\epsilon_0}}{\partial z_0} \beta_1 \cos \beta_0 - c \sin \beta_0 \frac{\partial}{\partial z} \left( \frac{1}{2\sqrt{\epsilon_0}} \frac{\partial \epsilon_0}{\partial z_0} \right) z_1 - c \sin \beta_0 \frac{\partial}{\partial z} \left( \frac{1}{2} \frac{\epsilon_1}{\sqrt{\epsilon_0}} \right) + c \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{1}{2} \frac{\epsilon_1}{\sqrt{\epsilon_0}} \right) \cos \beta_0.$$



Получить аналитические решения детерминированных нелинейных уравнений (4) с заданными краевыми условиями в случае произвольной функции  $\varepsilon_0(z)$  не представляется возможным, однако эти уравнения можно решить методами численного интегрирования [2]. Между тем для определения флуктуаций угла прихода и доплеровского смещения частоты радиосигнала в приемном пункте ионозонда можно решить линейную неоднородную систему стохастических дифференциальных уравнений (5) с краевыми условиями,  $x_1(0) = x_1(t_k) = 0$ ,  $z_1(0) = z_1(t_k) = 0$ ,  $\Delta\omega_1(0) = 0$ . Применяя для решения системы (5) метод Лагранжа [4], в случае пологих траекторий сигнала в средней ионосфере, получаем

$$\beta_1(t_k) = \frac{c}{2 \cdot \frac{\partial z_0}{\partial \beta_h}(t_k)} \cdot \int_0^{t_k} \frac{1}{\sin \beta_h} \frac{\partial z_0}{\partial \beta_h}(t) \frac{\partial \varepsilon_1}{\partial z_0} dt, \quad (6)$$

$$\Delta\omega_1(t_k) = -\frac{\omega}{2} \int_0^{t_k} \frac{\partial \varepsilon_1}{\partial \tau} \cdot dt, \quad (7)$$

где  $\beta_h = \beta(0)$  – угол выхода луча в пункте излучения ионозонда. Составляя на основе (6), (7) выражения для статистических моментов и проводя усреднение по ансамблю неоднородностей, для дисперсии вертикального угла прихода и доплеровского сдвига частоты радиосигнала в приемном пункте ионозонда имеем

$$\sigma_\beta^2 = \frac{c^2}{4 \left[ \frac{\partial z_0}{\partial \beta_h}(t_k) \right]^2} \iint_{00}^{t_k t_k} \frac{1}{\sin^2 \beta_h} \frac{\partial z_0}{\partial \beta_h}(t_1) \cdot \frac{\partial z_0}{\partial \beta_h}(t_2) \frac{\partial^2 \Psi}{\partial z_1 \cdot \partial z_2} dt_1 dt_2, \quad (8)$$

$$\sigma_\omega^2 = \frac{\omega^2}{4} \iint_{00}^{t_k t_k} \left\langle \frac{\partial^2 \Psi}{\partial \tau_1 \cdot \partial \tau_2} \right\rangle dt_1 dt_2, \quad (9)$$

где  $\Psi(z_1, z_2, x_1, x_2, \tau_1, \tau_2)$  – корреляционная функция случайного поля неоднородностей ионосферы. Полагая, что поле неоднородностей обладает свойствами квазистационарности и квазиоднородности, а движение неоднородностей можно учесть в рамках гипотезы о переносе замороженной турбулентности [3], функцию корреляции зададим в виде

$$\Psi = \Psi_1 \left( \frac{x_1 + x_2}{2}, \frac{z_1 + z_2}{2} \right) \cdot \exp \left( -\frac{1}{a^2} \left[ (x_1 - x_2)^2 + (z_1 - z_2 - v(\tau_1 - \tau_2))^2 \right] \right), \quad (10)$$

где  $a$  – пространственный радиус корреляции флуктуаций диэлектрической проницаемости, равный внешнему масштабу турбулентности ионосферы [5]. Считая, что внешний масштаб турбулентности ионосферы  $a$  мал по сравнению с масштабом изменения функции  $\Psi_1$  и толщиной ионосферы, интегралы (8), (9) можно вычислить асимптотически:

$$\sigma_\beta^2 = \frac{\sqrt{\pi} \cdot c}{2 \left[ \frac{\partial z_0}{\partial \beta_h}(t_k) \right]^2} \int_0^{t_k} \frac{\Psi_1}{a \cdot \sqrt{\varepsilon_0^3}} \cdot \left( \frac{\partial z_0}{\partial \beta_h}(t) \right)^2 dt, \quad (11)$$

$$\sigma_\omega^2 = \frac{\omega^2 \cdot \sqrt{\pi}}{2} \int_0^{t_k} \frac{v \cdot \Psi_1}{a} \frac{\sin^2 \beta_0}{c \sqrt{\varepsilon_0}} dt, \quad (12)$$

где интегрирование проводится по суммарной переменной  $t = \frac{1}{2}(t_1 + t_2)$ . Для интерпретации данных измерений ионозонда представляет интерес статистическая связь флуктуаций сигнала во времени и в пространстве. Составляя на основе выражений (6), (7) смешанный статистический момент для функции взаимной корреляции и проводя вычисления при тех же предположениях, что и при выводе (11), (12), получаем

$$P_{\Delta\omega\beta_1} = \frac{\omega \sqrt{\pi} \cdot \sin \beta_h}{2 \frac{\partial z_0}{\partial \beta_h}(t_k)} \cdot \int_0^{t_k} \frac{v \cdot \Psi_1}{a \cdot \sqrt{\varepsilon_0^3}} \cdot \frac{\partial z_0}{\partial \beta_h}(t) dt. \quad (13)$$

Считая в интегралах (11)–(13) верхний предел переменным и дифференцируя их по верхнему пределу, получим обыкновенные дифференциальные уравнения для определения статистических моментов  $\sigma_\beta^2, \sigma_\omega^2, P_{\Delta\omega\beta}$ . Записывая полученные уравнения совместно с уравнениями (4) и добавляя к ним дифференциальные уравнения для определения функций  $z_0, \beta_0$ , продифференцированных по начальному параметру  $\beta_n$ , получим полную систему уравнений для одновременного расчёта средних и флуктуационных характеристик вертикального угла прихода и доплеровского сдвига частоты радиосигнала на трассе наклонного зондирования ионосферы. Эта система имеет следующий вид:

$$\frac{dx_0}{dt} = c\sqrt{\epsilon_0} \sin \beta_0, \quad \frac{dz_0}{dt} = c\sqrt{\epsilon_0} \cos \beta_0, \quad \frac{d\beta_0}{dt} = -\frac{c \cdot \sin \beta_0}{2\sqrt{\epsilon_0}(z_0)} \frac{\partial \epsilon_0(z_0)}{\partial z_0}, \quad \frac{d\Delta\omega_0}{dt} = -\frac{\omega}{2} \cdot \frac{\partial \epsilon_0}{\partial \tau},$$

$$\frac{d}{dt} \left( \frac{\partial z_0}{\partial \beta_n} \right) = \frac{c \cdot \cos \beta_0}{2\sqrt{\epsilon_0}} \cdot \frac{\partial \epsilon_0}{\partial z_0} \cdot \frac{\partial z_0}{\partial \beta_n} - c\sqrt{\epsilon_0} \cdot \sin \beta_0 \cdot \frac{\partial \beta_0}{\partial \beta_n}, \quad (14)$$

$$\frac{d}{dt} \left( \frac{\partial \beta_0}{\partial \beta_n} \right) = -\frac{c}{2} \left( \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0}} \frac{\partial^2 \epsilon_0}{\partial z_0^2} - \frac{1}{2\sqrt{\epsilon_0^3}} \left( \frac{\partial \epsilon_0(z_0)}{\partial z_0} \right)^2 \right) \frac{\partial z_0}{\partial \beta_n} \sin \beta_0 - \frac{c}{2\sqrt{\epsilon_0}} \frac{\partial \epsilon_0(z_0)}{\partial z_0} \cos \beta_0 \cdot \frac{\partial \beta_0}{\partial \beta_n},$$

$$\frac{dD_\beta}{dt} = \frac{\psi_1}{a \cdot \sqrt{\epsilon_0^3}} \cdot \left( \frac{\partial z_0}{\partial \beta_n}(t) \right)^2, \quad \frac{dD_{\omega\beta}}{dt} = \frac{v_z \cdot \psi_1}{a \cdot \sqrt{\epsilon_0^3}} \cdot \frac{\partial z_0}{\partial \beta_n}(t), \quad \frac{d\sigma_\omega^2}{dt} = \frac{\omega^2 \cdot \sqrt{\pi} \cdot v^2 \cdot \psi_1 \cdot \sin^2 \beta_0}{2a \cdot c \cdot \sqrt{\epsilon_0}},$$

$$\text{где } D_\beta = \frac{2 \cdot \sigma_\beta^2}{\sqrt{\pi} \cdot c} \left( \frac{\partial z_0}{\partial \beta_n}(t_k) \right)^2, \quad D_{\omega\beta} = \frac{2}{\sqrt{\pi} \cdot \omega \cdot \sin \beta_n} \cdot \frac{\partial z_0}{\partial \beta_n}(t_k) \cdot P_{\Delta\omega\beta},$$

#### Математическое моделирование и обсуждение результатов расчетов

Для демонстрации работы предложенного аппарата численно-аналитического моделирования на рис. 1, 2 в качестве примера приведены результаты расчетов на основе системы (14) угловых и частотных флуктуаций радиосигнала на трассах различной протяженности. При моделировании среднеквадратичного отклонения флуктуаций угла прихода в пункте приема ионозонда  $\sigma_\beta(x_k)$  средняя диэлектрическая проницаемость ионосферы представлялась двухслойной моделью:

$$\epsilon_0 = 1 - \chi \frac{f_{\text{кр}e}^2}{f^2} \exp \left( - \left( \frac{z - z_{me}}{y_{me}} \right)^2 \right) - \frac{f_{\text{кр}}^2}{f^2} \exp \left( - \left( \frac{z - z_m}{y_m} \right)^2 \right), \quad (15)$$

где  $\chi$  – параметр включения нижней ионизации,  $z_{me}, y_{me}, f_{\text{кр}e}$  – высота минимума диэлектрической проницаемости (максимума электронной концентрации), полутолщина и критическая частота слоя  $E$  соответственно;  $z_m, y_m, f_{\text{кр}}$  – высота максимума, полутолщина и критическая частота слоя  $F2$ . Неоднородная часть корреляционной функции задавалась в виде:  $\psi_1 = \alpha^2 (1 - \epsilon_0)^2$ , где  $\alpha^2$  – интенсивность неоднородностей электронной концентрации. На рис. 1 представлены значения  $\sigma_\beta$  на трассах различной протяженности для нескольких рабочих частот зондирования. При моделировании задавались следующие типичные параметры ионосферного слоя  $F2$ :  $z_m = 300$  км,  $y_m = 100$  км,  $f_{\text{кр}} = 6$  МГц. Нижележащий слой  $E$  был представлен параметрами:  $z_{me} = 125$  км,  $y_{me} = 25$  км,  $f_{\text{кр}e} = 3$  МГц. При расчетах параметры неоднородностей составляли:  $a = 10$  км,  $\alpha^2 = 0,008$ . Из рис. 1 следует, что в однослойной ионосфере ( $\chi = 0$ ) при заданной рабочей частоте в окрестности некоторого угла выхода радиосигнала  $\beta_n$  происходит увеличение угловых флуктуаций  $\sigma_\beta$  в пункте приема ионозонда. Это связано с тем, что данная рабочая частота приближается к окрестности максимально-применимой частоты (МПЧ) радиотрассы, длина которой определяется углом выхода  $\beta_n$ . В случае полного совпадения рабочей частоты и МПЧ радиотрассы для выбранного угла выхода  $\beta_n$ , величина  $\sigma_\beta$  сильно возрастает, что связано с уменьшением в этих условиях знаменателя у коэффициента перед интегралом в формуле (11).

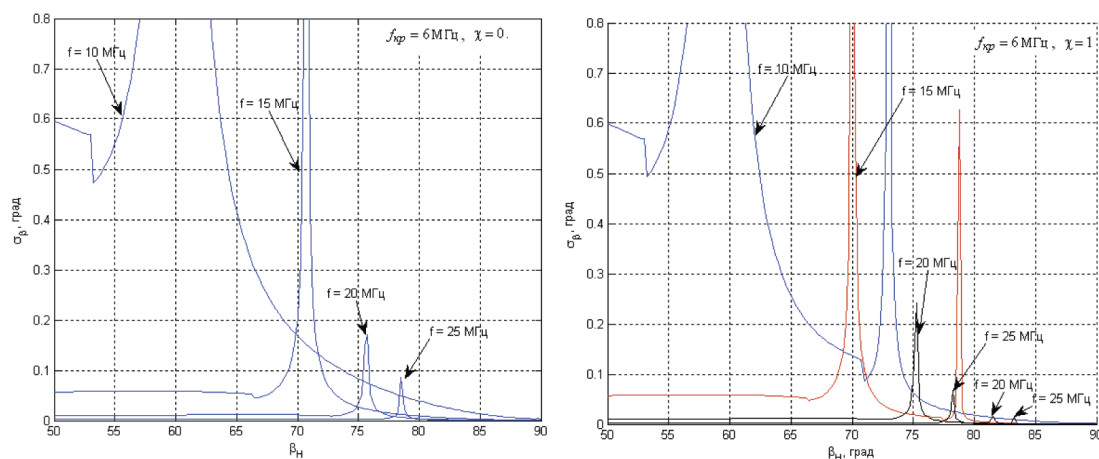


Рис. 1. Среднеквадратичное отклонение вертикального угла прихода на трассах наклонного зондирования однослойной ( $\chi = 0$ ) и двухслойной ( $\chi = 1$ ) ионосферы для различных рабочих частот,  $\alpha^2 = 0,008$ ,  $a = 10$  км

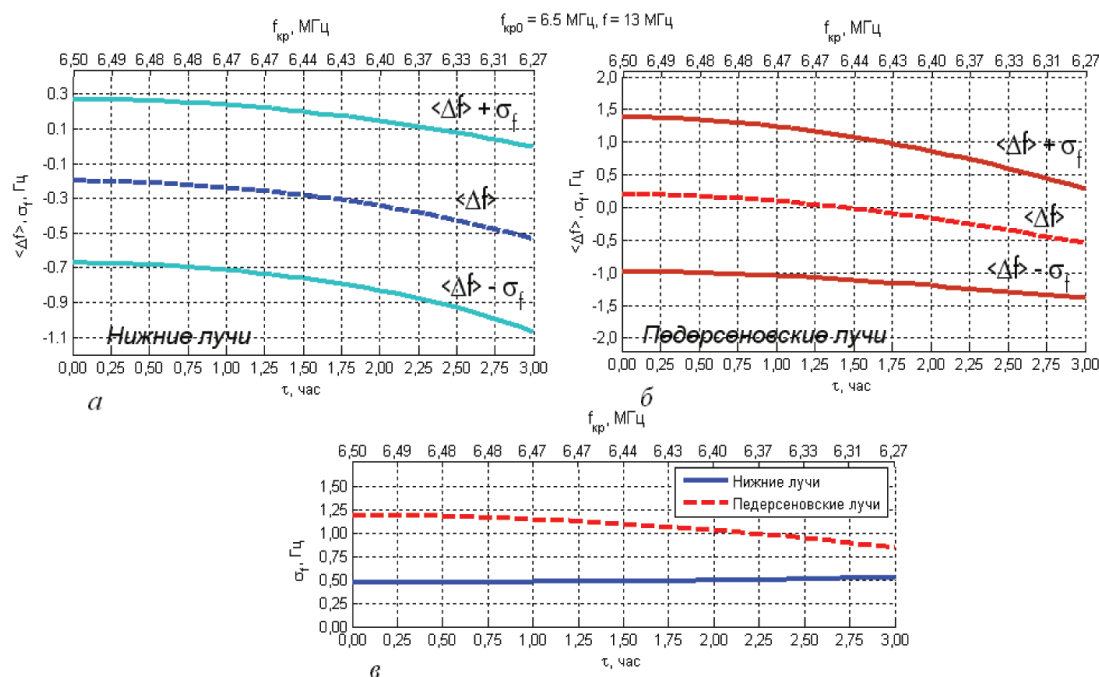


Рис. 2. Частотные флуктуации дециметрового радиосигнала ( $f = 13$  МГц) на односкачковой радиотрассе протяженностью  $X = 1500$  км, при  $\chi = 0$ ,  $v = 0,1$  км/с,  $a = 10$  км,  $\alpha^2 = 0,0004$

Угловые флуктуации радиосигнала отличаются на трассах различной протяженности и существенно зависят от рабочей частоты. С увеличением рабочей частоты максимальные значения  $\sigma_\beta$  возникают на более высоких частотах, что связано с увеличением длины трассы, соответствующей МПЧ. При распространении сигнала на

разных рабочих частотах в двухслойной ионосфере ( $\chi = 1$ ), в зависимости  $\sigma_\beta$  от угла выхода возникают дополнительные максимумы. Их появление связано с отражением радиосигнала от нижнего слоя ионосферы

Расчеты частотных флуктуаций дециметрового радиосигнала на трассе наклонного зондирования нестационарной

случайно-неоднородной ионосферы были выполнены для модели (15), в которой отсутствовал нижний слой  $E$  ( $\chi = 0$ ), а критическая частота слоя  $F2$  изменялась от времени по закону:  $f_{кр}(\tau) = f_{кр0} - b\tau^2$ , где  $f_{кр0}$  – критическая частота в начальный момент времени  $\tau = 0$ ,  $b$  – размерный параметр. На рис. 2 представлены результаты расчета

среднеквадратичного  $\sigma_f = \frac{\sigma_\omega}{2\pi}$  и среднего  $\langle \Delta f \rangle = \frac{\Delta\omega_0}{2\pi}$  доплеровского смещения

частоты радиосигнала на трассе протяженностью  $X = 1500$  км. При этом рабочая частота составляла  $f = 13$  МГц, скорость вертикального движения поля неоднородностей –  $v = 0,1$  км/с, масштаб неоднородностей  $a = 10$  км. Численные значения параметров средней ионосферы составляли:  $z_m = 300$  км,  $h_m = 100$  км,  $f_{кр0} = 6,5$  МГц. Из рис. 2 следует, что на фиксированной односкачковой трассе вследствие временных вариаций критической частоты ионосферы происходят изменения длины нижних и верхних траекторий радиосигнала. Последнее оказывает существенное воздействие на значения частотных флуктуаций и среднего доплеровского сдвига рабочей частоты. Так уменьшение со временем критической частоты слоя  $F2$  влечет за собой существенно разное поведение верхней и нижней траекторий, а именно, длина верхней траектории сокращается, а длина нижней растет. Вследствие этого эффекта в пункте приема ионозонда с течением времени будет фиксироваться рост частотных флуктуаций нижней моды. Между тем для Педерсеновской моды частотные флуктуации будут уменьшаться со временем. Важно заметить, что в нестационарной ионосфере средние значения доплеровского сдвига частоты нижней и Педерсеновской мод могут оказаться не только существенно разными по количественным значениям, но противоположными по знаку.

### Заключение

Для интерпретации данных измерений угловых и частотных флуктуаций декаметровых радиосигналов на трассах наклонного зондирования ионосферы развит аппарат математического моделирования статистических моментов этих флуктуаций с использованием аналитических и чис-

ленных методов. В качестве модели тонкой структуры околоземной плазмы использована эффективная модель пространственно-временной корреляционной функции, характеризующей квазиоднородное по пространству и по времени случайное поле неоднородностей. Движение случайных неоднородностей учтено в рамках гипотезы о переносе замороженной турбулентности. В качестве модели высотного профиля электронной концентрации ионосферы может быть произвольная аналитическая функция. На основе приближения геометрической оптики и метода малых возмущений получена система обыкновенных дифференциальных уравнений первого порядка для одновременного численного расчета средних значений, дисперсий и функции взаимной корреляции вертикального угла прихода и доплеровского сдвига частоты декаметрового радиосигнала в широком диапазоне рабочих частот на трассе наклонного зондирования. Проведенное численно-аналитическое моделирование на основе полученной системы уравнений для типичных ионосферных условий показало хорошую работоспособность предложенного математического аппарата, и его можно использовать для расчетов статистических моментов угловых и частотных флуктуаций декаметрового радиосигнала на трассах различной протяженности.

### Список литературы / References

1. Яковлев О.И., Якубов В.П., Урядов В.П., Павелев А.Г. Распространение радиоволн. М.: ЛЕНАНД, 2009. 496 с.
2. Yakovlev O.I., Yakubov V.P., Uryadov V.P., Paveliev A.G. Radio wave propagation. M.: LENAND, 2009. 496 p. (in Russian).
3. Демидович Б.П., Марон И.А. Основы вычислительной математики. СПб.: Лань, 2011. 672 с.
4. Demidovich, B.P., Maron I.A. Basics of numerical computations. SPb.: Lan', 2011. 672 p. (in Russian).
5. Кляцкин В.И. Стохастические уравнения: теория и ее приложения к акустике, гидродинамике и радиофизике. М.: Физматлит, 2008. Т. 1. 317 с.
6. Klyatskin V.I. Stochastic equations: theory and its application to acoustics, hydrodynamics and radiophysics. M.: Fizmatlit, 2008. V. 1. 317 p. (in Russian).
7. Коддингтон Э.А., Левинсон Н.Р. Теория обыкновенных дифференциальных уравнений. М.: ЛКИ, 2010. 472 с.
8. Koddington E.A., Levinson N.R. Theory of ordinary differential equations. M.: LKI, 2010. 472 p. (in Russian).
9. Afanasiev N.T., Afanasiev A.N., Larunin O.A., Markov V.P. Phase fluctuations of radio waves experiencing total reflection from a randomly inhomogeneous plasma layer // Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics. 2010. V. 72. Issue 7–8. P. 583–587. DOI: 10.1016/j.jastp.2010.02.014.

УДК 502.53

## К ВОПРОСУ АНАЛИЗА ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКОГО И ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ И ОЦЕНКИ ПРИРОДНЫХ И АНТРОПОГЕННЫХ РИСКОВ СНИЖЕНИЯ УСТОЙЧИВОСТИ БЕРЕГОВЫХ СИСТЕМ ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ ЧЕРНОГО МОРЯ

<sup>1</sup>Аракелов М.С., <sup>3</sup>Ахсалба А.К., <sup>2</sup>Гогоберидзе Г.Г., <sup>1</sup>Долгова-Шхалахова А.В.,  
<sup>3</sup>Жиба Р.Ю., <sup>1</sup>Яйли Е.А.

<sup>1</sup>Филиал ФГБОУ ВО «Российский государственный гидрометеорологический университет».

Tuapse, e-mail: kafirnigan@mail.ru;

<sup>2</sup>ФГБОУ ВО «Российский государственный гидрометеорологический университет»,

Санкт-Петербург, e-mail: ggg@rshu.ru;

<sup>3</sup>Институт экологии Академии наук Абхазии, Сухум, e-mail: asida\_cen@mail.ru

Береговая зона Черноморского побережья Краснодарского края и Республики Абхазия представляет собой единую как в природном (геоморфологическом), так и в экологическом и социально-экономическом отношении систему. В рамках данного исследования были произведены работы по изучению современного состояния берегов Черноморского побережья Краснодарского края и Республики Абхазия. В каждой точке выполнялось описание территории, проводился экспресс-анализ качества морской воды на предмет наличия нефтепродуктов, аммонийного азота, фосфатов, а также классификация пляжей по степени рекреационной обустроенности. Значительная часть берегов в пределах рассмотренных литодинамических районов развиваются в условиях дефицита наносов, при котором активно развивается процесс отступления берегов. Факторы, которые влияют на отрицательные динамические процессы на участках, имеют различную природу явлений. Для каждого из этих береговых участков существуют индивидуальные геоморфологические и геоэкологические характеристики, обусловленные влиянием факторов как природного, так и антропогенного характера. Становится очевидным, что при воздействии глобальных факторов и антропогенной нагрузки на большей части морских берегов будет наблюдаться их деградация. В целом береговые системы Черноморского побережья Краснодарского края и Республики Абхазия характеризуются относительной устойчивостью. Исключение составляет береговая зона муниципального образования г. Новороссийск, где имеют место риски как природного, так и антропогенного характера. Тем не менее вся береговая зона исследуемого региона в определенной мере подвержена влиянию природных и антропогенных рисков. Этот факт необходимо учитывать при планировании развития морехозяйственного комплекса региона.

**Ключевые слова:** береговые системы, геоморфология берегов, геоэкологическое состояние, устойчивость береговых систем, Черное море, Краснодарский край, Республика Абхазия, экологические риски

## ON THE ANALYSIS OF GEOMORPHOLOGICAL AND GEO-ECOLOGICAL CONDITION AND NATURAL AND ANTHROPOGENIC RISKS REDUCING THE RESILIENCE OF COASTAL SYSTEMS OF THE EASTERN PART OF THE BLACK SEA

<sup>1</sup>Arakelov M.S., <sup>3</sup>Akhsalba A.K., <sup>2</sup>Gogoberidze G.G., <sup>1</sup>Dolgova-Shkhalakhova A.V.,  
<sup>3</sup>Zhiba R.Yu., <sup>1</sup>Yayli E.A.

<sup>1</sup>The Tuapse branch of The Russian State Hydrometeorological University,

Tuapse, e-mail: kafirnigan@mail.ru;

<sup>2</sup>The Russian State Hydrometeorological University, Saint-Petersburg, e-mail: ggg@rshu.ru;

<sup>3</sup>Institute of ecology of the Academy of Sciences of Abkhazia, Sukhum, e-mail: asida\_cen@mail.ru

The coastal zone of the black sea coast of the Krasnodar region and the Republic of Abkhazia is a single system both in natural (geomorphological) and in ecological and socio-economic terms. As part of this study, work was carried out to study the current state of the black sea coast of the Krasnodar region and the Republic of Abkhazia. In each point the description of the territory was carried out, the Express analysis of quality of sea water for availability of oil products, ammonium nitrogen, phosphates, and also classification of beaches on degree of recreational equipment was carried out. A significant part of the coasts within the limits considered lithodynamic areas are developing in conditions of deficiency of sediment, which is actively developing the process of the recession of the coast. Factors that affect the negative dynamic processes in the areas have a different nature of phenomena. For each of these coastal areas there are individual geomorphological and geoecological characteristics, due to the influence of factors both natural and anthropogenic. It becomes obvious that the impact of global factors and anthropogenic impact on most marine shores will experience their degradation. In General, the coastal systems of the black sea coast of Krasnodar region and the Republic of Abkhazia are characterized by relative stability. The exception is the coastal zone of the municipality of Novorossiysk, where there are risks of both natural and anthropogenic nature. Nevertheless, the entire coastal zone of the studied region is to a certain extent subject to the influence of natural and anthropogenic risks. This fact should be taken into account when planning the development of the marine sector in the region.

**Keywords:** coastal systems, geomorphology of the shores, geoecological state, stability of coastal systems, the Black sea, Krasnodar Area, the Republic of Abkhazia, environmental risks



Как показывает анализ современных научно-технических, нормативных, методических документов по изучаемой проблематике, а также существующих в практической плоскости российских и международных разработок в области комплексной оценки устойчивости береговых систем, в настоящее время отсутствует единый подход к оценке устойчивости береговых систем и воздействия факторов природного и техногенного характера на окружающую среду [1]. В связи с этим представляется необходимым использование многоступенчатой модели оценки устойчивости береговых систем, основанной на выделении допустимого и критического пороговых значений негативного воздействия. Существующие мировые и региональные методики оценки устойчивости береговых систем и антропогенной нагрузки на окружающую среду являются не чем иным, как просто общим набором рекомендаций, с помощью которых разрабатываются национальная и/или локальная нормативная документация, не всегда даже учитывающая особенности конкретной береговой системы [2].

Цель исследования: изучение пространственно-временной структуры береговых систем восточной части Черного моря, а также анализ факторов природного и антропогенного характера, оказывающих влияние на геоморфологическую структуру и геоэкологическое состояние береговых систем исследуемого региона.

#### Материалы и методы исследования

Территория проведенного исследования охватывает Черноморское побережье Краснодарского края в границах муниципальных образований: Туапсинский район,

Сочи, Новороссийск, Геленджик, Анапа, а также береговые системы Республики Абхазия [3]. Метод исследования – обследование узловых точек в устьях крупных рек. В каждой узловой точке выполнялось описание территории, в частности ширины пляжа, его уклона, характера наносов, уровня зарастания и загрязненности и т.д. Также в узловых точках проводился экспресс-анализ качества морской воды на предмет наличия нефтепродуктов, аммонийного азота, фосфатов. Третьей составляющей исследования была классификация пляжей по степени рекреационной обустроенности [4].

Ниже представлен пример обследования узловой точки рекреационной зоны в устье реки Туапсе (рис. 1). Точка взятия проб (широта  $44^{\circ}5'13''$ , долгота  $39^{\circ}4'47''$ ) в районе центрального пляжа г. Туапсе.

Превышения ПДК в анализе проб воды не отмечено. Зарастание берега пляжа отсутствует, пляж чистый, видимых загрязнений морской воды нет, у воды отмечается слабый запах, если обратить на это внимание. Имеются берегозащитные сооружения, в наличии сопутствующие пляжному отдыху составляющие (спасательные станции, мусорные бачки, раздевалки, пункты питания, пункты проката). Центральный пляж города Туапсе имеет слабый уклон от берега, в некоторых местах профиль пляжа имеет один штормовой вал, ширина пляжа – 43 м. Характер наносов (пляжный материал) в основном представлен галькой, в некоторых местах – с песком. Городской пляж сложен преимущественно разнотравным песком, с примесью гравия и гальки. Длина пляжа 400 м, максимальная ширина – 43 м. Высота пляжевой ступени составляет 1,0 м [5].



Рис. 1. Центральный городской пляж г. Туапсе (фото и профиль берега)

### Результаты исследования и их обсуждение

На основе анализа геоморфологического и геоэкологического состояния и данных экспедиционных исследований в период июль – август 2018 г. получены следующие результаты.

Береговые системы территории МО город-курорт Сочи:

- на участке исследования проанализировано 13 узловых точек – пляжей, примыкающих к устьям крупнейших рек: Псоу, Мзымта, Хоста, Агура, Мацеста, Сочи, Дагомыс, Уч-Дере, Лоо, Шахе, Чемитоквадже, Аше, Макопсе;

- на береговых участках, примыкающих к устьям рек, сформированы пляжи, сложенные галькой и мелкими валунами. Максимальная ширина пляжей в поселках Нижнее Уч-Дере и Головинка – 40 м, минимальная – в микрорайоне Мацеста и в поселке Чемитоквадже – 10–12 м;

- все пляжи имеют берегозащитные сооружения. Зарастание берега во всех исследованных точках отсутствует. Общая длина берегозащитных сооружений почти в 2 раза превышает длину береговой линии. Берег укреплен волноотбойными стенками различной конструкции, tetrapodami, в качестве пляжеудерживающих сооружений используются перпендикулярные береговой линии буны и причалы, а также Г-образные буны (рис. 2);

- анализ проб воды в устьях рек показал, что в целом экологическое состояние водостока хорошее. Наиболее загрязненными оказались пробы воды в устье рек Мзымта и Мацеста. Во всех пробах присутствует аммонийный азот, в концентрациях близких или превышающих ПДК, Мзым-

та – 2,75 ПДК, Лоо – 2,3 ПДК, минимальное значение – 0,8 ПДК в пробах воды в устье реки Аше. По нефтепродуктам наиболее загрязненные пробы воды в устьях рек Сочи – 2,6 ПДК и Мацесты – 2,4 ПДК;

- все исследуемые пляжи имеют инфраструктуру, способствующую пляжному отдыху;

- большинство исследуемых пляжей можно отнести к разряду 1-го класса, но налицо необходимость применения дополнительных мер по очистке сточных вод и предотвращению стока неочищенных ливневых вод.

Береговые системы территории МО Туапсинский район:

- на участке исследования проанализировано 11 узловых точек – пляжи, примыкающие к устьям рек: Шепси, Дедеркой, Туапсе, Паук, Агой, Небуг, Ту, Нечепсухо, Шапсухо. Джубга, Бжид;

- на береговых участках, примыкающих к устьям рек, сформированы пляжи, сложенные галькой и мелкими валунами, пляж в районе пос. Лермонтово – песчаный. Максимальная ширина пляжей в поселках Шепси, Небуг (искусственный) – 38–40 м, и центрального пляжа города Туапсе – 42 м, минимальная – в пос. Дедеркой – 20 м;

- почти все пляжи имеют берегозащитные сооружения, частично не имеют берегозащиты западная часть пляжа пос. Агой и пос. Ольгинка, берегозащита отсутствует на пляже пос. Лермонтово. Зарастание берега во всех исследованных точках отсутствует. Берег укреплен волноотбойными стенками различной конструкции, tetrapodami, в качестве пляжеудерживающих сооружений используются перпендикулярные береговой линии буны и причалы, а также Г-образные буны (рис. 3);



Рис. 2. Центральный пляж г. Сочи (фото и профиль берега)

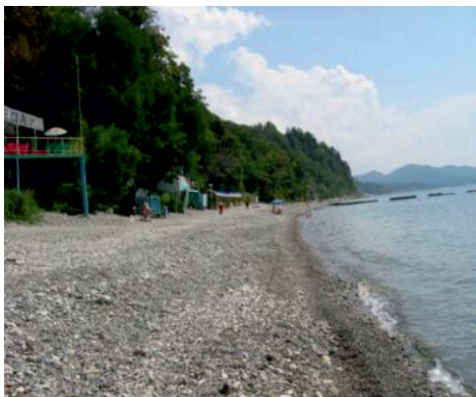


Рис. 3. пляж пос. Небуг Туапсинского района (фото и профиль берега)

– анализ проб воды в устьях рек показал, что в целом экологическое состояние водостока хорошее. Наиболее загрязненными оказались пробы воды в устьях рек Паук, Агой и Небуг. Во всех пробах присутствует аммонийный азот, в концентрациях близких или превышающих ПДК, Дедеркой – 2,3 ПДК, Паук – 2,5 ПДК, Джубга – 2,1 ПДК, минимальное значение – 0,7 ПДК в пробах воды в устье реки Бжид. По нефтепродуктам превышения ПДК в пробах воды в устьях рек не выявлено;

– все исследуемые пляжи имеют инфраструктуру, способствующую пляжному отдыху;

– большинство исследуемых пляжей можно отнести к разряду 1-го класса, пляж в микрорайоне Приморье города Туапсе – ко 2-му классу, но налицо необходимость применения дополнительных мер по очистке сточных вод и предотвращению стока неочищенных ливневых вод.

Береговые системы территории МО город-курорт Геленджик:

– на участке исследования проанализировано 8 узловых точек – пляжи, примыкающие к устьям рек: Тешебс, Вулан, Бетта, Пшада, Джанхот, Мезыбь, Яшамба, Дооб;

– на береговых участках, примыкающих к устьям рек, сформированы пляжи, сложенные галькой и мелкими валунами. Максимальная ширина пляжей в поселке Дивноморское – 37 м, минимальная – в пос. Архипо-Осиповка и пос. Кабардинка – 15 м;

– почти все пляжи имеют берегозащитные сооружения, берегозащита отсутствует на пляжах хутора Бетта и пос. Джанхот. Зарастание берега во всех исследованных точках отсутствует. Берег укреплен волноотбойными стенками различной конструкции, тетраподами, в качестве пляжеудерживаю-

щих сооружений используются перпендикулярные береговой линии буны и причалы, а также Г-образные буны (рис. 4);

– анализ проб воды в устьях рек показал, что почти во всех пробах доля загрязнителей превышает допустимые уровни. Наиболее загрязненными оказались пробы воды в устье реки Дооб. Во всех пробах присутствует аммонийный азот, в концентрациях близких или превышающих ПДК, Дооб – 2,4 ПДК, Яшамба – 1,88 ПДК, Тешебс – 2,3 ПДК, минимальное значение – 0,85 ПДК в пробах воды в устье реки Пшада. По нефтепродуктам превышения ПДК в пробах воды в устьях рек не выявлено;

– все исследуемые пляжи имеют инфраструктуру, способствующую пляжному отдыху;

– большинство исследуемых пляжей можно отнести к разряду 1-го класса, но налицо необходимость применения дополнительных мер по очистке сточных вод и предотвращению стока неочищенных ливневых вод.

Береговые системы территории МО город-герой Новороссийск:

– на участке исследования проанализировано 3 узловые точки – пляжи, примыкающие к устьям рек: Цемес, Озерейка, Дюрсо;

– на береговых участках, примыкающих к устьям рек, сформированы пляжи, сложенные галькой, мелкими и крупными валунами. Максимальную ширину имеет искусственный пляж Алексино на западном берегу Цемесской бухты – 40 м, минимальную – в пос. Новая Озереевка – 10 м;

– пляжи имеют берегозащитные сооружения, берегозащита отсутствует на «диком» пляже Цемесской бухты. Зарастание берега слабое («дикий» пляж) или отсутствует. Искусственный пляж Алексино сам является берегозащитным сооружением;





Рис. 4. пляж микрорайона Голубая Бухта г. Геленджик (фото и профиль берега)

– анализ проб воды в устьях рек показал, что почти во всех пробах доля загрязнителей превышает допустимые уровни. Наиболее загрязненными оказались пробы воды в устье реки Цемес. Во всех пробах присутствует аммонийный азот, в концентрациях, превышающих ПДК, Цемес – 2,7 ПДК, Озерейка – 2,6 ПДК, Дюрсо – 2,1 ПДК. По нефтепродуктам превышение ПДК выявлено в пробах воды реки Цемес – 2 ПДК, там же обнаружено повышенное содержание фосфатов – 1,75 ПДК;

– для комфортного пляжного отдыха наиболее оборудован искусственный пляж Алексино;

– большинство исследуемых пляжей можно отнести к разряду 1-го класса, «дикий» пляж Цемесской бухты – ко 2-му классу. В данном районе особенно актуальна необходимость применения дополнительных мер по очистке сточных и предотвращению стока неочищенных ливневых вод.

Береговые системы территории МО город-курорт Анапа:

– на участке исследования проанализировано 4 узловые точки – пляжи, примыкающие к устьям рек: Сукко, Шингарь, Анапка, Можепсин;

– на береговых участках, примыкающих к устьям рек, сформированы пляжи, сложенные галькой, мелкими и крупными валунами, а также песчаные пляжи;

– максимальную ширину имеют песчаные пляжи в черте города Анапа и прилегающие к устью реки Можепсин – 40 м, минимальную – пляжи пос. Варваровская щель – 25 м. Берегозащитных сооружений нет;

– анализ проб воды в устьях рек показал, что наиболее загрязненными оказались пробы воды в устье реки Шингарь (нефтепродукты – 3 ПДК, аммонийный азот – 1,14 ПДК, фосфаты – 2 ПДК. В устье реки

Анапка обнаружено превышение содержания аммонийного азота – 2,1 ПДК;

– для комфортного пляжного отдыха наиболее развита инфраструктура песчаных пляжей;

– исследуемые рекреационные территории можно отнести к разряду 1-го класса, но, как и для большинства пляжей Краснодарского Причерноморья, необходимо применение дополнительных мер по очистке сточных и неочищенных ливневых вод.

### Выводы

В целом береговые системы восточной части Черного моря характеризуются относительной устойчивостью. Исключение составляет береговая зона муниципального образования г. Новороссийск, где имеют место риски как природного, так и антропогенного характера. Тем не менее вся береговая зона исследуемого региона в определенной мере подвержена влиянию природных и антропогенных рисков. Этот факт необходимо учитывать при планировании развития морехозяйственного комплекса региона.

Исследование развития современной морфодинамики побережья Абхазии – сложная и трудоемкая задача. Дело в том, что фиксирование сезонных состояний берегов требует проведения промерных работ в довольно сжатые сроки и на значительном протяжении. Кроме того, реальную картину переформирования берегов можно получить лишь при длительной хронологической фиксации берегоформирующих факторов, что в свою очередь на этом этапе исследований выполнялось с некоторыми допущениями. Несмотря на эти допущения на данном этапе проведенные работы показывают, что основная цель исследований достигнута – в результате изучения берегов

выявлены абразионные места, причины размывов и скорости отступания берегов.

Основной природной тенденцией развития рельефа береговой зоны является нарушение структуры ее отложений, воздействия подводных каньонов (откосов) на выдвигающиеся части суши и падения твердого стока рек. Природной тенденцией в береговой зоне установлено равновесие между поступлением и расходом наносов, которое нарушено действием антропогенного фактора, обусловившего их дробление на ряд коротких, динамически обособленных отрезков.

Опыт строительства и эксплуатации берегозащитных капитальных сооружений показал, что в условиях развития вдольбереговых потоков наносов они являются малоэффективными и, кроме того, вызывают истирание пляжевых материалов. Предлагаемые мероприятия по берегоукреплению путем реставрации пляжей обеспечивают берега мощным пляжевым покровом. Технико-экономическое преимущество предлагаемого метода берегоукрепления над гидротехническими сооружениями состоит в несопоставимой их эффективности. Кроме того, эти мероприятия не будут сопровождаться какими-либо негативными изменениями природной среды.

*Результаты работы были получены при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант № 17-55-40014 Абх\_а «Разработка научных основ комплексной оценки устойчивости береговых систем восточной части Черного моря для снижения рисков и уменьшения последствий природных и техногенных катастроф при территориальном планировании морехозяйственного комплекса»).*

## Список литературы / References

1. Косьян Р.Д., Крыленко В.В. Современное состояние морских аккумулятивных берегов Краснодарского края и их использование. М.: Научный мир, 2014. 256 с.

Kosyan R.D., Krylenko V.V. Modern state of the marine accumulative coasts of the Krasnodar territory and the use of them. Moscow: Scientific world, 2014. 256 p. (in Russian).

2. Косьян Р.Д., Крыленко В.В., Куклев С.Б. Хрупкое равновесие Анапской пересыпи // Природа. 2012. № 2. С. 19–28.

Kosyan R.D., Krylenko V.V., Kuklev S.B. A delicate balance of Anapa spit // Nature. 2012. № 2. P. 19–28 (in Russian).

3. Крыленко М.В., Исупова М.В., Дзаганья Е.В. Современная морфолитодинамика устьевого взморья р. Мзымта (Черноморское побережье России) // Учение о развитии морских берегов: вековые традиции и идеи современности: материалы XXIII Международной береговой конференции. СПб.: РГГМУ, 2010. С. 222–224.

Krylenko M.V., Isupova M.V., Dzaganiya E.V. Modern morpholithodynamics of estuarine vzmorya R. Mzymta (black sea coast of Russia) // Doctrine of the development of sea shores: age-old traditions and ideas of modernity: proceedings of the XXIII international coastal conference. SPb.: RGGMU, 2010. P. 222–224 (in Russian).

4. Аракелов М.С., Аракелов А.С., Яйли Е.А., Яйли Д.Е., Мерзаканов С.А., Гогоберидзе Г.Г., Долгова-Шалахова А.В., Ахсалба А.К., Жиба Р.Ю., Крыленко М.В. Некоторые аспекты комплексной оценки устойчивости береговых систем восточной части Черного моря на основе интегрального подхода // Успехи современного естествознания. 2017. № 12. С. 106–110.

Arakelov M.S., Arakelov A.S., Yaili E.A., Yaili D.E., Merzakanov S.A., Gogoberidze G.G., Dolgova-Shalahova A.V., Akhsalba A.K., Jiba R.Yu., Krylenko M.V. Some aspects of integrated sustainability assessment of coastal systems of the Eastern part of the Black sea on the basis of an integrated approach // Advances in current natural Sciences. 2017. № 12. P. 106–110 (in Russian).

5. Крыленко В.В., Косьян Р.Д., Крыленко М.В. Региональные особенности формирования крупных аккумулятивных форм Азово-Черноморского побережья // Арктические берега: путь к устойчивости: материалы XXVII Международной береговой конференции. Отв. ред. Е.А. Румянцева, 2018. С. 100–103.

Krylenko V.V., Kosyan R.D., Krylenko M.V. Regional features of formation of large accumulative forms of the Azov-black sea coast // Arctic coast: a way to stability: materials of the XXVII international coastal conference. Editor-in-chief E.A. Rumyantseva, 2018. P. 100–103 (in Russian).



УДК 911.3:314.7(470.341)

**МИГРАЦИИ НАСЕЛЕНИЯ НИЖЕГОРОДСКОЙ ОБЛАСТИ****Аракчеева О.В., Кривдина И.Ю.***ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный педагогический университет имени К. Минина»,  
Нижний Новгород, e-mail: o.v.arakcheeva@rambler.ru*

В статье раскрываются миграционные процессы, характерные для населения Нижегородского региона на современном этапе социально-экономического развития. В настоящее время миграции компенсируют естественную убыль населения. Благодаря своему выгодному экономико-географическому положению, Нижегородская область представлена как привлекательный регион для миграции населения как из других субъектов РФ, так и из зарубежных стран. Статья освещает результаты, полученные в ходе исследования динамики миграционного прироста, структуры миграционного потока, миграционного обмена со странами ближнего и дальнего зарубежья. Приведен сравнительный анализ динамики миграционного прироста Нижегородской области, Приволжского федерального округа и Российской Федерации в целом. В структуре миграционного потока как прибывших, так и выбывших мигрантов преобладают внутрирегиональные миграции, т.е. перемещение из малых городов и сельских населенных пунктов в крупные города (Арзамас, Выкса, Кстово) и областной центр – Нижний Новгород. Результаты исследования представлены в виде графиков и диаграмм. Миграционная прибыль населения Нижегородского региона формируется за счет межрегиональной российской миграции, несмотря на то, что в структуре миграционного потока преобладают внутрирегиональные миграции населения. Со странами дальнего зарубежья Нижегородская область имеет отрицательное сальдо миграции. Основными государствами, с которыми идет миграционный обмен населением, являются Украина, государства Средней Азии и государства Закавказья. Отдельное внимание уделено вынужденным миграциям, происходящим в последние годы: проанализирована динамика вынужденных переселенцев и лиц, получивших временное убежище на территории Нижегородского региона. Особенностью современной миграционной ситуации в области является отсутствие беженцев среди мигрантов.

**Ключевые слова:** Нижегородская область, миграции населения, миграционный прирост, миграционный поток, вынужденные миграции

**MIGRATION OF THE POPULATION OF NIZHNY NOVGOROD REGION****Arakcheeva O.V., Krivdina I.Yu.***Nizhny Novgorod State Pedagogical University named after K. Minin, Nizhny Novgorod,  
e-mail: o.v.arakcheeva@rambler.ru*

Abstract the article reveals migration processes characteristic of the population of the Nizhny Novgorod region at the present stage of socio-economic development. At present, migrations compensate for the natural population decline. Due to its advantageous economic and geographical position, the Nizhny Novgorod Region is represented as an attractive region for migration from both other regions of the Russian Federation and foreign countries. The article highlights the results obtained in the study of the dynamics of migration growth, the structure of the migration flow, migration exchange with countries near and far abroad. A comparative analysis of the dynamics of migration growth in the Nizhny Novgorod Region, the Volga Federal District and the Russian Federation as a whole is given. In the structure of the migration flow of both arriving and departing migrants, intraregional migration prevails, i.e. movement from small towns and rural settlements to large cities (Arzamas, Vyksa, Kstovo) and the regional center – Nizhny Novgorod. The results of the study are presented in the form of graphs and diagrams. Migration profit of the population of the Nizhny Novgorod region is formed by interregional Russian migration, despite the fact that the structure of the migration flow is dominated by intraregional migration. With foreign countries the Nizhny Novgorod region has a negative migration balance. The main States with which there is a migration exchange of the population are Ukraine, the States of Central Asia and the States of Transcaucasia. Special attention was paid to forced migrations occurring in recent years: the dynamics of internally displaced persons and persons who received temporary asylum in the Nizhny Novgorod region were analyzed. A feature of the current migration situation in the region is the absence of refugees among migrants.

**Keywords:** population migration, migration growth, migration flow, forced migration, Nizhny Novgorod region

Со второй половины XX в. миграционные процессы приобрели глобальные масштабы. Они охватили все континенты планеты, затронули все социальные слои и различные сферы общественной жизнедеятельности. Миграции населения являются одними из главных причин и факторов социальных изменений, как в регионах исхода, так и в регионах приема мигрантов.

После распада СССР миграционные процессы, происходящие на всем постсоветском

пространстве, стали органической частью всемирного движения населения [1]. Миграции населения сыграли большую роль в историческом развитии России и будут иметь в XXI в. еще более важное значение. В связи с естественной убылью населения миграция становится источником компенсации как общей численности населения, так и трудовых ресурсов в частности.

Цель исследования: выявление современных тенденций миграционных процес-

сов в Нижегородском регионе. На демографическую ситуацию в Нижегородской области влияют как естественные, так и миграционные процессы. На протяжении 1990-х гг. миграционная прибыль населения во многом компенсировала естественную убыль населения (до 88 % в 1994 г.) [2], поскольку именно в этот период происходит усиление миграции в сторону центральных районов и начинается обратный «центростремительный» процесс миграции населения. Это произошло в связи с кризисными явлениями в экономике слабоосвоенных ресурсных северных и восточных регионов РФ. Регионы Сибири и Дальнего Востока отличаются наибольшей долей моногородов, в которых закрытие предприятия ведет к росту безработицы и к снижению уровня жизни населения, а это, в свою очередь, к оттоку населения в более благополучные районы европейского центра [3].

#### Материалы и методы исследования

На протяжении всего постсоветского периода коэффициент миграционного прироста населения в Нижегородском регионе выше, чем в среднем по Приволжскому федеральному округу (рис. 1). Это говорит о привлекательности региона для мигрантов, поскольку он имеет выгодное географическое и транспортное положение: легко добраться из мест старого проживания; в областном центре – Нижнем Новгороде – есть международный аэропорт. Область располагается в относительной близости к столичному региону, но есть возможность приобрести здесь жилье по более низким ценам. Нижегородская область обладает высокоразвитой промышленностью и является крупным научным и культурным центром. Социально-экономическая стабильность региона дает возможность для трудоустройства. Важным моментом является высокая лояльность местного населе-

ния по отношению к мигрантам, особенно славянских национальностей.

Показатель миграционного прироста на 10 000 населения в Нижегородской области превышает также и средние показатели по Российской Федерации вплоть до 2008 г. [4]. Однако с 2009 г. наметилась тенденция на снижение миграционного прироста. До 2013 г. он немного ниже среднероссийских показателей, а в 2014 г. уже меньше в 4 раза, в 2015 г. – в 8 раз, а в 2016 г. и вовсе перешел за отрицательные значения.

В первую половину 1990-х гг. шло лавинообразное нарастание въезда, со второй половины въезд населения в регион постепенно сокращался. Исследователи объясняют это «как позитивными экономическими сдвигами в странах выезда, так и исчерпанием основного миграционного потенциала, т.е. выездом наиболее образованной и мобильной части русскоязычного населения».

На снижение миграционной активности населения в начале 2000-х гг. повлияли ограниченные возможности рынка труда и жилья, а также низкий уровень развития социальной инфраструктуры в Нижегородском регионе. С 2004 г. вновь начинает увеличиваться число мигрантов, особенно к 2007 г. [5]. Это связано в основном с трудовыми миграциями. К сожалению, влияние финансовых кризисов 2008 и 2014 гг. не обошло и наш регион, поэтому происходит снижение притока мигрантов в последние годы. Основная причина кроется в отсутствии рабочих мест с достойной оплатой труда и достаточно дорогим первичным жильем.

В настоящее время миграция стала гораздо более рациональной. Потенциальные мигранты тщательно просчитывают ситуацию. В последние годы причиной переезда являлось желание найти престижную высокооплачиваемую работу для себя и создать лучшие перспективы для своих детей.

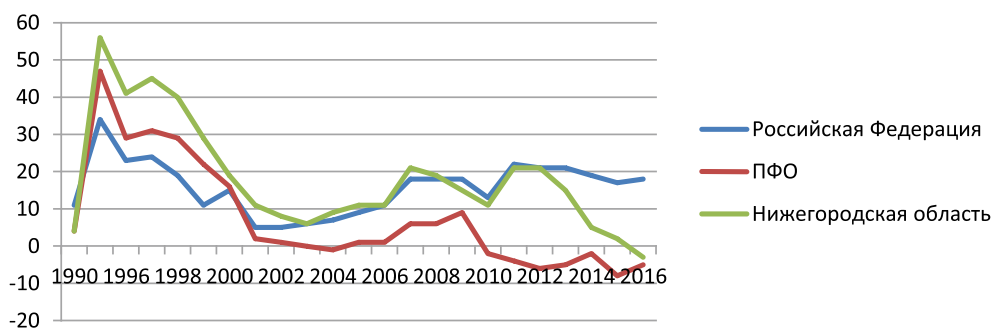


Рис. 1. Динамика коэффициента миграционного прироста (на 10 000 человек населения)

### Результаты исследования и их обсуждение

Проанализировав диаграмму структуры миграционного потока в Нижегородскую область (рис. 2), мы видим, что на протяжении последних лет основную долю составляют миграции населения в пределах самого Нижегородского региона. Величина колеблется в пределах от 56 % до 61 % в зависимости от года [6]. В основном население переезжает в областной центр – Нижний Новгород и крупные города – Арзамас, Выкса, Кстово – из малых городов или сельских населенных пунктов. Из других регионов Российской Федерации доля прибывающих мигрантов ежегодно составляет порядка 30%. Наименьшую долю среди прибывших в Нижегородскую область име-

ет миграция населения из других государств мира. Аналогичная ситуация и по структуре выбывших мигрантов из региона (рис. 3). Стоит отметить, что в последние годы наметилась тенденция к увеличению миграционного потока из Нижегородской области за пределы Российской Федерации. За десять лет доля выехавших в другие страны возросла в 4 раза и составила в 2016 г. 8 % от общего числа выбывших [7].

Соответственно, миграционная прибыль населения Нижегородского региона формируется за счет двух основных потоков: межрегиональной российской миграции и миграции со странами ближнего зарубежья. Отрицательное сальдо миграции Нижегородская область имеет со странами дальнего зарубежья.

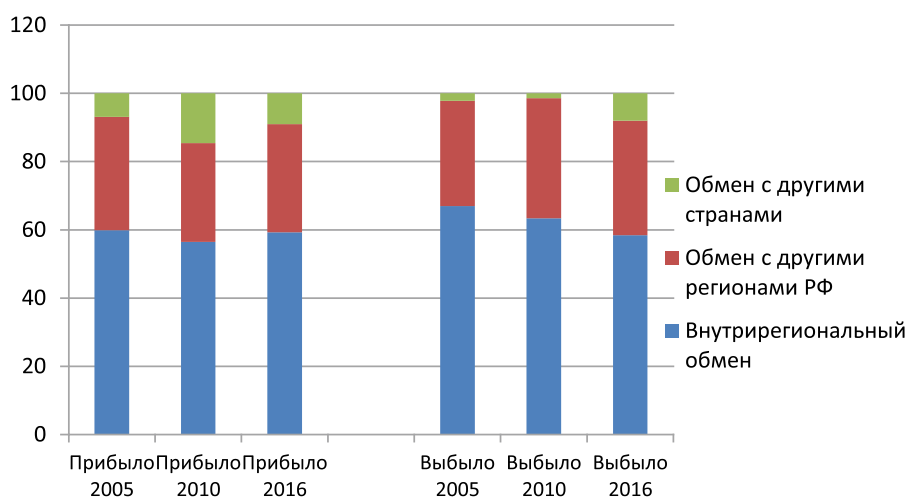


Рис. 2. Структура миграционного потока Нижегородской области по направлениям передвижения (в % от общего числа прибывших или выбывших)



Рис. 3. Распределение мигрантов Нижегородской области по территориям прибытия и выбытия (%)

Основными государствами, с которыми шел миграционный обмен населением в 2016 г., являются: Украина, государства Средней Азии и государства Закавказья (рис. 3). Нужно отметить, что со снижением миграционной активности за последние 20 лет произошло и уменьшение количества мигрантов, приехавших из этих стран.

В международном обмене сокращается миграционное сальдо и с Казахстаном, хотя максимальный миграционный поток в 1994 г. был именно из этой страны. Это можно объяснить наличием большего количества русскоязычного населения там по сравнению с другими странами СНГ и Балтии.

Наименьший приток мигрантов в Нижегородскую область дают государства Балтии. Этническая дискриминация русскоязычного населения в этих странах является лишь сдерживающим фактором, но не выталкивающим. Намного важнее здесь влияние социально-экономических факторов: уровня и качества жизни.

Миграционный прирост, который дают страны ближнего зарубежья, является определенным источником увеличения численности населения Нижегородского региона. Приток можно увеличить при более эффективной работе программы по добровольному переселению соотечественников. Очень важным моментом для привлечения мигрантов является смена мотивации: от преимущественно политической (вынужденной миграции) к экономической (трудо-вой миграции). Нижегородская область, как и Российская Федерация в целом, является привлекательной для жителей ближнего зарубежья с точки зрения возможностей более широкого рынка труда.

В настоящее время сократился миграционный поток в Нижегородскую область из стран дальнего зарубежья (с 7% в 1994 г. до 0,3% в 2016 г.) [7]. Нужно отметить, что сальдо миграции населения на протяжении всего периода имело отрицательные значения. Чаще всего нижегородцы выезжают в Германию, Израиль, США. Этот вид миграции негативно влияет на социально-экономическое развитие региона, поскольку происходит так называемая «утечка умов» и «танталов». Обычно из региона выезжают молодые образованные, квалифицированные и трудоспособные мигранты. Нередко выезжают крупные ученые, высококвалифицированные специалисты, которые «увозят» не только свой личный опыт или научный потенциал, но и то, что создано или накоплено целыми коллективами, где они работали.

Несмотря на то, что основными причинами миграции населения в современный период являются социально-экономические, определенное место занимают и вынужденные переселения (рис. 4). Вынужденный переселенец – это гражданин Российской Федерации, покинувший место жительства вследствие совершенного в отношении его или членов его семьи насилия или преследования в иных формах либо вследствие реальной опасности стать жертвой насилия в связи с расовой или национальной принадлежностью, вероисповеданием, языком, а также по признаку принадлежности к определенной социальной группе или из-за политических убеждений, ставших поводами для проведения враждебных кампаний в отношении конкретного лица или группы лиц, массовых нарушений общественного порядка [8].

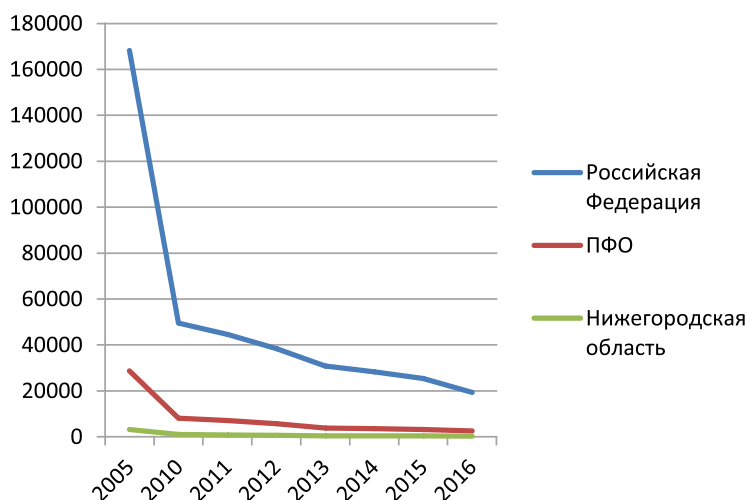


Рис. 4. Численность вынужденных переселенцев (человек)

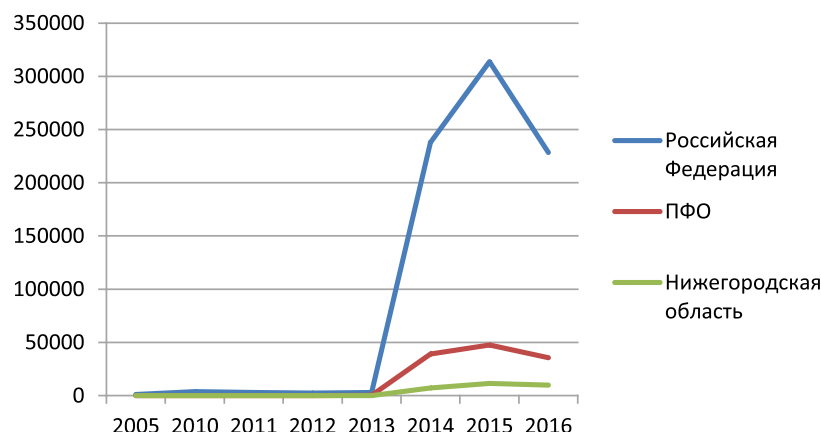


Рис. 5. Численность лиц, получивших временное убежище, человек

В целом, с 2005 по 2016 г. количество вынужденных переселенцев неуклонно сокращается как в Российской Федерации, так и в Приволжском федеральном округе, и, в частности, в Нижегородской области. Доля таких мигрантов, приехавших в Нижегородский регион, также уменьшается с 2% (2005 г.) до 1,3% (2016 г.). В 2010 и 2011 гг. в области было зарегистрировано по одному беженцу, хотя в Российскую Федерацию в эти годы мигрировали 801 и 802 человека соответственно [7]. После 2011 г. беженцев на территории Нижегородского региона зафиксировано не было.

Однако в последние годы растет число лиц, получивших временное убежище (рис. 5). В основном это жители Украины, уехавшие после смены политического режима в 2014 г. Основной приток мигрантов, желающих получить временное убежище в Российской Федерации, в том числе и в Нижегородской области, пришелся на 2015 г. Доля таких лиц, приехавших в Нижегородскую область в 2016 г., составляет 4% от общего числа приехавших в страну и 27% от числа выбравших для места временного проживания Приволжский федеральный округ. Это еще раз подтверждает привлекательность Нижегородского региона для мигрантов.

### Выводы

Таким образом, можно сделать вывод, что для Нижегородской области характерно снижение миграционного прироста населения, как в межрегиональных, так и в международных миграциях. Нужно отметить, что в последние годы наметился миграционный отток населения из области, и в первую

очередь в столичный регион. Решающим фактором для переезда становятся социально-экономические причины, прежде всего поиск высокооплачиваемой работы, которая позволит оплачивать съемное жилье, а впоследствии и приобрести собственную квартиру. Также произошло увеличение доли выезжающих из региона за пределы страны. Все вышесказанное отрицательно влияет на демографическую ситуацию в регионе, поскольку уезжают молодые люди в репродуктивном возрасте, часто это люди с высшим образованием в трудоспособном возрасте.

### Список литературы / References

1. Юдина Т.Н. Неконтролируемая миграция на евразийском пространстве // Россия в системе современной социальной реальности: материалы выступлений участников V Всероссийского социологического конгресса (г. Москва, 14–15 ноября 2016 г.). Москва: РГСУ, 2017. С. 389–394.
2. Вознесенская А.Г., Аракчеева О.В. Население Нижегородской области: динамика численности, естественное и механическое движение // Вестник Мининского университета. 2013. № 4 (4) [Электронный ресурс] [Электронный ресурс]. URL: <https://vestnik.mininuniver.ru/jour/article/view/442> (дата обращения: 10.11.2018).
3. Аракчеева О.В. Пространственные особенности миграции, адаптации мигрантов и управления современными миграционными процессами (на материалах Нижегородской области): автореф. дис. ... канд. географ. наук. Воронеж, 2012. 27 с.
4. Аракчеева О.В. Spatial features of migration, adaptation of migrants and management of modern migration processes (based on the materials of the Nizhny Novgorod region): avtoref. dis. ... candidate of geography. nauk. Voronezh, 2012. 27 p. (in Russian).



4. Щербакowa E.M. Миграция в России, итоги первого полугодия 2018 года // Демоскоп Weekly. 2018. № 783–784 [Электронный ресурс]. URL: <http://demoscope.ru/weekly/2018/0783/barom01.php> (дата обращения: 10.11.2018).

Shcherbakova E.M. Migration in Russia, the results of the first half of 2018 // Demoscope Weekly. 2018. № 783–784 [Electronic resource]. URL: <http://demoscope.ru/weekly/2018/0783/barom01.php> (date of access: 10.11.2018) (in Russian).

5. Регионы России. Социально-экономические показатели. 2003: Р32 Стат. сб. / Росстат, 2004. 895 с.

Region of Russia. Socio-economic indicators. 2003: R32 Stat sb. / Rosstat, 2004. 895 p. (in Russian).

6. Регионы России. Социально-экономические показатели. 2011 [Электронный ресурс]. URL: [http://www.gks.ru/bgd/regl/B11\\_14p/Main.htm](http://www.gks.ru/bgd/regl/B11_14p/Main.htm) (дата обращения: 10.11.2018).

Region of Russia. Socio-economic indicators. 2011 [Electronic resource]. URL: [http://www.gks.ru/bgd/regl/B11\\_14p/Main.htm](http://www.gks.ru/bgd/regl/B11_14p/Main.htm) (date of access: 10.11.2018) (in Russian).

7. Регионы России. Социально-экономические показатели. 2016 [Электронный ресурс]. URL: [http://www.gks.ru/bgd/regl/B16\\_14p/Main.htm](http://www.gks.ru/bgd/regl/B16_14p/Main.htm) (дата обращения: 10.11.2018).

Region of Russia. Socio-economic indicators. 2016 [Electronic resource]. URL: [http://www.gks.ru/bgd/regl/B16\\_14p/Main.htm](http://www.gks.ru/bgd/regl/B16_14p/Main.htm) (date of access: 10.11.2018) (in Russian).

8. Юдина Т.Н. Миграция: словарь основных терминов: учеб. пособие. М.: РГСУ; Академический Проект, 2007. 472 с.

Yudina T.N. Migration: dictionary of basic terms: Studies. benefit. M.: RGSU; Akademicheskij Proekt, 2007. 472 p. (in Russian).

УДК 504.53:631.42

**ФИТОРЕМЕДИАЦИЯ ТОКСИЧЕСКИХ ПОЧВ****<sup>1</sup>Бекузарова С.А., <sup>2</sup>Ханиева И.М., <sup>3</sup>Азубеков Л.Х.**<sup>1</sup>*Геофизический институт ВНЦ РАН, Горский ГАУ, Владикавказ, e-mail: cgi\_ras@mail.ru;*<sup>2</sup>*ФГБОУ «Кабардино-Балкарский государственный аграрный университет им. В.М. Кокова»,  
Нальчик, e-mail: imhanieva@mail.ru;*<sup>3</sup>*Институт сельского хозяйства КБНЦ РАН, Нальчик, e-mail: kbniish2007@yandex.ru*

Вопрос использования травосмесей в фиторемедиации изучен слабо, поэтому мы предложили некоторые варианты новых видов растений, способных произрастать на загрязненных землях и при этом аккумулировать загрязнители надземной биомассой. В случае загрязнения почв тяжелыми металлами нами предлагается в первый год рекультивации использовать однолетние растения с большой биомассой, способной за первый год вывести из биологического круговорота до 50 % загрязнителя. Изучая растения на токсических почвах, определяли их аккумулирующие способности и использовали их как фитомелиоранты. В нескольких опытах использовали растения-индикаторы: амарант, клевер, люцерну, вязель, стевию, амброзию, рыжик озимый в смеси с однолетним видом клевера и другие, которые при накоплении максимальной биомассы запахивали в почву в смеси с цеолитсодержащими глинами местного значения. Результаты опытов показали, что с помощью растений-индикаторов можно не только улучшить плодородие почв, но и значительно снизить количество тяжелых металлов, нефтепродуктов, радионуклидов, остаточные явления химических средств борьбы с сорной растительностью, болезнями и вредителями. Большое значение в снижении токсичности почв имели и органические отходы сельскохозяйственного производства: кукурузные кочерыжки, корзинки подсолнечника, отходы спиртового производства – послеспиртовая барда, а также листовой опад, заделываемые в почву с биопрепаратами. Для активизации запахиваемой органической массы применяли парааминобензойную кислоту (ПАБК). Результаты опытов показали значительное снижение токсикантов в почве при использовании органических отходов и запахке растений в качестве зеленого удобрения в смеси с цеолитсодержащими глинами и биопрепаратами.

**Ключевые слова:** растения-аккумуляторы, биопрепараты, растительные отходы, органическое вещество, запахка растений

**PHYTOREMEDIATION OF TOXIC SOILS****<sup>1</sup>Bekuzarova S.A., <sup>2</sup>Khanieva I.M., <sup>3</sup>Azubekov L.Kh.**<sup>1</sup>*Geophysical Institute VNC RAS, Gorsky GAU, Vladikavkaz, e-mail: cgi\_ras@mail.ru;*<sup>2</sup>*Kabardino-Balkaria State Agrarian University V.M. Kokov», Nalchik, e-mail: kbgau.ru;*<sup>3</sup>*Institute of Agriculture, KBNTS RAS, Nalchik, e-mail: kbniish2007@yandex.ru*

The use of grass mixtures in phytoremediation is poorly studied, so we suggested some variants of new plant species that can grow on polluted lands and, at the same time, accumulate contaminants with aboveground biomass. In case of soil contamination with heavy metals, we propose to use annual plants with a large biomass in the first year of reclamation, capable of removing up to 50 % of the pollutant from the biological cycle in the first year. Studying plants on toxic soils, they determined their accumulating abilities and used them as phytomeliorants. In several experiments we used indicator plants: amaranth, clover, alfalfa, Vasek, stevia, ragweed, winter bilberry mixed with one-year-old clover, and others that were plowed into the soil when accumulated with maximum biomass mixed with local zeolite clays. The results of the experiments showed that using indicator plants can not only improve soil fertility, but also significantly reduce the amount of heavy metals, petroleum products, radionuclides, residual chemical agents against weeds, diseases and pests. Organic waste of agricultural production was of great importance in reducing the toxicity of soils: corn stalks, sunflower baskets, alcohol production wastes – after-distillery bard, as well as leaf litter, embedded in the soil with biological products. Para-aminobenzoic acid (PABA) was used to activate the plowed organic mass. The results of the experiments showed a significant decrease in toxicants in the soil when using organic waste and plowing plants as a green fertilizer mixed with zeolite-containing clays and biopreparations.

**Keywords:** plants – accumulators, biological products, plant waste, organic matter, plant storage

В целях сохранения близкой к природной растительности, а также для растениеводческих и лесоводческих целей в условиях антропогенного загрязнения особое значение придается вопросу, насколько имеющиеся растения уже обладают устойчивостью к тяжелым металлам. Для проверки этого существует несколько способов, например, сравнительное измерение роста корней и метод сравнительной протоплазматки [1–3].

Воздействие на почву неодинаково в зависимости от источника загрязнения на плотно заселенной территории, которые обычно занимают удобные и выгодные местоположения. По этой причине очищение (восстановление) почв от избыточных масс поллютантов представляет весьма актуальную задачу. Ее практическое решение пока остается на стадии разработки. Одним из возможных путей решения этой задачи может быть фиторемедиация – очи-

щение почвенного покрова от загрязнения посредством культивирования растений, активно поглощающих загрязняющие вещества. Фиторемедиация является высокоэффективной технологией очистки от ряда органических веществ. Растения можно использовать для очистки твёрдых, жидких и воздушных субстратов [4–6]. Фиторемедиация загрязнённых почв и осадочных пород уже применяется для очистки военных полигонов (от металлов, органических поллютантов), сельскохозяйственных угодий (пестициды, металлы, селен), промышленных зон (органика, металлы, мышьяк), мест деревообработки (ПХБ). Фиторемедиации могут быть подвергнуты городские сточные воды, сточные воды сельского хозяйства и промышленности, грунтовые воды [5]. Для достижения максимальной эффективности очистки фиторемедиация может использоваться в сочетании с другими методами биоремедиации и небиологическими технологиями очистки. Например, наиболее загрязнённые части субстрата могут удаляться путем экскавации, после чего дальнейшая очистка может проводиться с помощью растений [7].

Цель исследований: подобрать травосмеси для конкретных климатических условий данных регионов с учетом способности отдельных культур накапливать загрязняющие вещества в наземной биомассе.

Таковыми растениями могут служить кукуруза, рыжик, горчица, салат, овес, ячмень, горох, фасоль, многолетние травы и другие. Так же они должны быть нетребовательны к почвенному плодородию (мезотрофы или олиготрофы) и способны к произрастанию в условиях сильного загрязнения. Основным критерием классификации предлагаемых травосмесей являлся способ нарушения или загрязнения земель.

#### Материалы и методы исследования

Наши исследования были направлены на реабилитацию загрязнённых почв с помощью растений, обладающих сорбционной способностью. Это растения амаранта, зернобобовые культуры (их пожнивные остатки), бобовые травы, амброзия, стевия, кукурузные кочерыжки, корзинки подсолнечника, масличные культуры (рыжик, гвиздия, крамбе и другие).

Вместе с растениями для рекомендации почв вносим цеолитсодержащие глины местного происхождения (гор и предгорий Северного Кавказа), а также биоудобрения, обеспечивающие восстановление нарушен-

ных земель. Опыты проводили на экспериментальных участках Горского ГАУ, Геофизического института и Северо-Кавказского научно-исследовательского института горного и предгорного сельского хозяйства Владикавказского научного центра РАН, Кабардино-Балкарского аграрного университета им. В.М. Кокова, Северо-Осетинского государственного университета, Юго-Осетинского государственного университета (г. Цхинвал), Комплексного научно-исследовательского института РАН (г. Грозный).

В другом опыте для снижения радиоактивности почв семена бобовых трав обволакивали смесью измельченных корзинок подсолнечника и кочерыжек кукурузы, глиной Аланит и мелассы в соотношении 1:1:10:1. На скошенном участке в конце вегетации, располагали слой опавших листьев древесных культур как органическое вещество, в смеси с аланитом в дозе 2–2,05 т/га [8, 9].

На загрязненном радионуклидами участке (стронцием, цезием, торием), где радиация превышает более 1,2 микроЗиверта в час, высевали мелкосеменные многолетние бобовые травы с преимуществом клевера ползучего (*Trifolium repens* L.) – 8 кг/га, люцерны изменчивой (*Medicago Sativa* L.) – 6 кг/га, козлятника восточного (*Galega orientalis* Lam) – 6кг/га. Общая смесь бобовых трав составила 20 кг/га. Учитывая особенности клевера ползучего распространять корневые отпрыски по территории, покрывая участок уже в первый год жизни, увеличили норму посева этого вида травы как компонента с большей ассимиляционной поверхностью для сорбирования тяжелых металлов и радионуклидов.

Перед посевом семена бобовых трав обволакивали смесью измельченных кочерыжек и корзинок подсолнечника в равной пропорции по 5 кг/га каждого компонента. К ним добавляли 50 кг/га Аланита – цеолитсодержащую глину и в качестве вяжущего – мелассу – отход крахмалопаточного производства 5 кг/га [5].

Почвы исследуемых участков в основном представлены среднемощным тяжело-суглинистым выщелоченным черноземом, подстилаемым галечником с содержанием большого количества крупного песка в верхних горизонтах (8–14%). Данный тип почв обладает, как правило, большой влагоудерживающей способностью с достаточным содержанием гумуса и питательных веществ и обладает хорошими физическими свойствами. Местами на поверхность выходит галечник. Реакция почвенного рас-

твора выщелоченных черноземов колеблется от слабокислой до близко к нейтральной (рН солевой вытяжки 5,48–6,92)

Для осуществления многочисленных исследований широко использовали цеолитсодержащие глины с содержанием макро- и микроэлементов (табл. 1).

По химическому составу эти глины также различаются, что позволяет сдерживать миграцию токсических веществ, содержащихся на нарушенных горными работами участках. Содержащийся в глинах кремний (около 50%) обладает высокой сорбционной способностью, поглощая токсические вещества. Природные источники сырья содержат глинистые частицы в пределах 30–40%, крупнозернистые включения в пределах 2–15%. Сочетания этих глин позволяют не только снижать токсичность загрязненных веществ, но и скреплять их в агрегатное состояние за счет имеющихся в них вяжущих свойств. В большинстве случаев использовали глину Аланит со слабощелочной реакцией на почвах с кислой реакцией среды. Глина Аланит, имея высокое содержание кальция (37%) и щелочную реакцию (рН – 9,3), снижает на загрязненном участке кислотность почв.

Кукурузные кочерыжки – отход крахмалопаточного производства (в 1 т зерновой кукурузы содержится 200 кг стержней) имеют высокую растворимость, сорбционную способность, нейтральную реакцию среды (рН – 6,9–7,1), отсутствие смол, воска, полное отсутствие тяжелых металлов и комплекс микроэлементов. Все эти показатели характеризуют кукурузные кочерыжки как идеальные органические носители. Растворяясь в послеспиртовой барде, они обога-

щают ее комплексом питательных веществ для развития микрофлоры почвы и одновременно размягчаясь, что не требует их предварительного измельчения.

Кукурузные кочерыжки содержат 41,7% целлюлозы; 37,2% хемицеллюлозы; 8% лигнина; 0,08% жира; 1,75% протеина; БЭВ – 61,7%. При измельчении содержание протеина в кочерыжках повышается до 4,34 – 1%; БЭВ – 65,1% [8, 9].

Содержащиеся в аланите кальций обеспечивает снижение кислотности барды, нейтрализуя накладываемый аланитовый субстрат. Влажная среда барды и кочерыжек снижает количество пылевых частиц на загрязненных участках [9, 10].

Меласса – отход сахарного производства – содержит 20–25% воды, преимущественно амидов; 58–60% углеводов, главным образом сахара, и 7–10% золы. В данном объекте как связывающие смеси кукурузных кочерыжек, корзинок подсолнечника, аланита используется в количестве 5 кг/га.

На участке, заряженном радионуклидами (Sr, Cs и Th), площадью около 1 га в районе горнодобывающей промышленности (г. Тырнауз, КБР) готовили семена к посеву из расчета клевер ползучий – 8 кг/га, люцерна изменчивая – 6 кг/га, козлятник восточный – 6 кг/га. Измельчали кукурузные кочерыжки и корзинки подсолнечника по 5 кг/га каждого. К ним добавляли 50 кг/га аланита и 5 кг/га мелассы. Все ингредиенты смешивали и обволакивали семена в дражираторе, после чего высевали обычной зерновой сеялкой.

В фазу начала бутонизации зеленую массу в год посева скашивали и утилизировали в специально приготовленные траншеи для захоронения.

Таблица 1

Химический состав местных цеолитсодержащих глин, %

| Химические вещества                        | Ирлит 1 | Ирлит 7 | Аланит | Лескениит | Диалбекулит | Тереклит |
|--------------------------------------------|---------|---------|--------|-----------|-------------|----------|
| Кремний (SiO <sub>2</sub> )                | 40,2    | 52,6    | 51,7   | 50,8      | 46,4        | 56,4     |
| Алюминий (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ) | 16,2    | 28,1    | 16,05  | 1,1       | 18,1        | 19,4     |
| Железо (Fe O)                              | 1,06    | 4,27    | 5,5    | 4,6       | 5,2         | 5,5      |
| Железо (Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )   | 3,23    | 2,18    | 2,18   | 2,18      | 2,62        | 1,68     |
| Фосфор (P <sub>2</sub> O)                  | 0,4     | 0,5     | 0,38   | 0,26      | 0,28        | 0,64     |
| Кальций (CaO)                              | 15,3    | 3,05    | 32,6   | 28,6      | 37,0        | 2,75     |
| Магний (MgO)                               | 1,82    | 1,71    | 0,8    | 1,4       | 1,6         | 1,6      |
| Калий (K <sub>2</sub> O)                   | 1,89    | 2,09    | 0,8    | 0,76      | 0,9         | 2,2      |
| Натрий (NaO)                               | 0,78    | 1,1     | 0,82   | 0,64      | 0,96        | 1,4      |
| ph                                         | 6,9     | 3,0     | 9,3    | 8,6       | 9,1         | 7,1      |

Таблица 2

Снижение содержания тяжелых металлов на посевах кукурузы

| Варианты опыта                                                                 | Содержание тяжелых металлов в почве, мг/кг |       |      |      |      |                |
|--------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------|-------|------|------|------|----------------|
|                                                                                | Pb                                         | Zn    | Cu   | Cd   | Fe   | P <sub>h</sub> |
| Контроль (без улучшения)                                                       | 12,9                                       | 136,0 | 78,0 | 0,64 | 28,0 | 4,2            |
| Нанесение слоя аланита                                                         | 8,6                                        | 8,0   | 39,0 | 0,52 | 22,0 | 5,4            |
| Кочерыжки кукурузные + спиртовая барда                                         | 5,6                                        | 39,0  | 21,0 | 0,34 | 16,0 | 5,9            |
| Формирование гребней + слой аланита                                            | 2,1                                        | 14,0  | 13,6 | 0,22 | 9,6  | 6,2            |
| Глина аланит + кукурузные кочерыжки + спиртовая барда + посев многолетних трав | 0,2                                        | 8,0   | 9,2  | 0,01 | 4,5  | 6,8            |

В конце вегетации – осенью загрязненный участок покрывали слоем листового опада древесных культур, собранных с лесопарковых участков в количестве 1–2 т на гектар, которые смешивали 2–2,5 т аланита [9].

На загрязненном радионуклидами участке площадью 0,5 га весной высевали вязель пестрый в количестве 15 кг/га. В конце вегетации массу скашивали, сгребали, вывозили и утилизировали в специальных траншеях глубиной 60–70 см. Перед уходом в зиму (конец октября) на поверхность участка наносили измельченную глину Аланит – местного происхождения в дозе 4–5 т/га, разбрасывая равномерно на загрязненной территории слоем 4–5 см.

На следующий год в фазе бутонизации (1 укос) биомассу вязаля скашивали сенокосилкой, утилизировали. Перед уходом в зиму скошенный травостой вязаля покрывали слоем 2–3 см аланита из расчета 2–3 т/га.

На нефтезагрязненных почвах эффективным приемом ремедиации является использование парааминобензойной кислоты (ПАБК) в смеси с 0,2% водным раствором растения стевии и спустя 2–3 недели после полива высевали культуру амаранта [7, 8, 11].

Готовили рабочую жидкость ПАБК из расчета 100 г порошка на 10 л воды с температурой 80 °С. В горячую воду опускали листья стевии, в количестве 200 г. При отсутствии свежих листьев использовали препараты стевии, имеющиеся в любой аптеке. В этом случае применяли 20 мл раствора стевии на 10 л жидкости. Готовили одновременно раствор биопрепарата Байкал – ЭМ-1 из расчета 1 ч на 100 ч воды, то есть 100 г биопрепарата на 10 л воды. После остывания раствора ПАБК до 20–25 °С смешивали два раствора, сумма которых составила 20 л. Таким количеством раствора орошали участок загрязненной нефтью площадью 10 м<sup>2</sup>.

Изучали содержание тяжелых металлов (валовые формы в мг/кг) под каждой изуча-

емой культурой до посева, в период максимального развития и после запашки зеленой массы сидеральных культур.

### Результаты исследования и их обсуждение

Обогащенный участок органическими веществами значительно снижает токсичность и восстанавливает плодородный слой, пригодный для возделывания сельскохозяйственных культур. Причем восстановление загрязненных участков осуществляли на основе утилизированных отходов барды и кукурузных кочерыжек, смешивая их с местными природными цеолитсодержащими глинами. За счет добавления в аланитовый субстрат кукурузных кочерыжек улучшается аэрация участка и его фильтрация. Результаты опыта сведены в табл. 2.

Следовательно, природные цеолитсодержащие глины, смешанные с кукурузными кочерыжками, измельченными в послеспиртовой барде, позволяют реабилитировать нарушенные горными работами земли, снизить количество тяжелых металлов и кислотность почв (Ph) без особых затрат, с одновременной утилизацией продуктов растениеводства и спиртовой промышленности.

Сравнение сорбционных способностей различных растений в одинаковых фазах развития, но в разных экологических условиях позволяет выявить виды и культуры с максимальными биоиндикационными возможностями. Для количественного определения способности амброзии полынно-листной к накоплению тяжелых металлов в надземной массе, в сравнении с другими культурами, обладающими аналогичными сорбционными свойствами (клевером, люцерной, эспарцетом), проводились эксперименты на территории металлургического завода у автотрассы и на сельскохозяйственных угодьях. Из проведенных экспериментов выяснено, что амброзия



обладает максимальной аккумулирующей способностью накапливать тяжелые металлы. Учитывая особенность сосудистых растений концентрировать тяжелые металлы в начале вегетации в минимальном количестве с постепенным возрастанием их содержания к фазе цветения, биоиндикационную оценку нескольких видов растений проводили в разные фазы развития (стеблевания, бутонизации, цветения).

При заделке растительной массы в почву происходит процесс разложения и минерализации органических остатков при участии ферментов, выделяемых микроорганизмами. Кроме углерода, водорода, кислорода и азота – четырёх элементов, составляющих главную часть органического вещества почвы, растительные остатки содержат также кальций, магний, калий, серу, фосфор и другие неорганические элементы, которые освобождаются в процессе трансформации и могут быть вновь использованы растениями. Ещё одна форма биологического поглощения – это усвоение металлов отдельными микроорганизмами. Некоторые грибы и бактерии вырабатывают вещества, способствующие поглощению металлов клетками, что снижает их токсичность в почве. Немаловажное значение имеют элементы с высокой подвижностью и валовые формы, способные медленно разлагаться в почве. Подвижность тяжелых металлов зависит и от структуры почв, её химического состава, кислотности, влажности и ряда других показателей. Но при любых условиях органическое вещество при минерализации в почвенном растворе снижает количество тяжелых металлов.

Способ позволяет снизить токсичность почвы и повысить плодородие почвы. Результаты опытов сведены в табл. 3, в микро-Зивертах в час в среднем по трем элементам (стронций, цезий, торий)

Приведенные данные свидетельствуют, что за один год можно снизить уровень радиации до предельно допустимых концентраций (0,48 мкЗ/час), после всех агроприёмов уровень радиации снижается на 62,5%. Следовательно, предлагаемый агроприём позволяет снизить уровень радиации за счет утилизированных отходов растительности и цеолитсодержащей глины – аланит в год посева.

Рекомендации загрязненных почв могут осуществляться и с помощью посева растений вяза пестрого – бобового компонента [12, 13].

Способ осуществляется следующим образом. Вязель пестрый, в отличие от известной вики и других бобовых, высеваемых на радионуклидных загрязненных почвах, имеет корнеотпрысковую систему и размножается как семенами, так и вегетативно (корнеотпрысками), покрывая весь участок отросшими стеблями и тем самым сохраняя почву от испарения с одновременным уничтожением сорной растительности. Высокая облиственность растений (более 60 % от общей надземной массы) и множество корневых ответвлений позволяют ассимилировать значительное количество радиоактивных веществ из почвы и воздуха. В год посева количество сорбированных радионуклидов составляет около 30 %.

**Таблица 3**

Ремедиация почв, загрязненных радиоактивными элементами

| Вариант опыта                                                 | В начале бутонизации | После скашивания и утилизации | В конце вегетации 1-го года | На второй год жизни | % снижения радиации |
|---------------------------------------------------------------|----------------------|-------------------------------|-----------------------------|---------------------|---------------------|
| До посева трав (контроль)                                     | 1,82                 | 1,66                          | 1,42                        | 1,28                | –                   |
| Посев многолетних трав                                        | 1,64                 | 1,48                          | 1,36                        | 1,16                | 9,1                 |
| Посев многолетних бобовых трав + обволакивание семян          | 1,46                 | 1,32                          | 1,26                        | 1,14                | 11,0                |
| Посев многолетних бобовых трав + обволакивание семян + аланит | 0,92                 | 0,84                          | 0,78                        | 0,72                | 43,8                |
| Утилизация зеленой массы в начале бутонизации                 | 0,78                 | 0,64                          | 0,62                        | 0,58                | 54,7                |
| Расположение органических отходов листьев + аланит            | 0,66                 | 0,58                          | 0,52                        | 0,48                | 62,5                |

Скошенную массу в конце вегетации удаляли с участка и утилизировали, после чего его покрывали слоем местной цеолитсодержащей глины аланит, содержащей более 30 % кальция, а также микроэлементы, железо, магний, кремний, алюминий и другие. Реакция среды аланита (рН) составляет 9,3. Кроме сорбции участок обогащается питательными веществами глины аланит и биологическим азотом растений вязеля. Высеваемые растения вязеля, покрываемые аланитом, повышают свою зимостойкость за счет внесенных на поверхность глины, после их укоса. На следующий год (2-й год жизни) растения вязеля развивают мощную надземную массу до 50 т/га, ассимилируя до 50 % нуклеотидов, находящихся в почве. В фазу максимального развития (фаза бутонизации) массу скашивали, не допуская фазы цветения, так как вязель – насекомоопыляемая культура и может с помощью энтомофауны переносить зараженную пыльцу радионуклидами на другие участки (в частности, пчелы могут перенести часть радиоактивных веществ в мед). Скошенную массу, вновь утилизировали, и в конце вегетации, перед уходом в зиму, участок покрывали слоем аланита в пределах 4–5 см. В первый год жизни растений содержание радионуклидов  $Sr^{90}$  сокращается за счет сорбционной способности культуры вязеля и покрытия ее слоем цеолитсодержащей глины от 0,72 до предельно допустимых концентраций 0,42 мкЗ/час, на второй год с 0,61 до 0,38 мкЗв/ч и на третий год от 0,42 до 0,24 мкЗ/час. У цезия ( $Cs^{137}$ ) отмечено снижение радиации от 0,84 до 0,72 мкЗ/час, в первый год, а во втором году – до предельно допустимых концентраций (табл. 4).

Зараженную нефтью почву орошают раствором ПАБК (парааминобензойной кислотой) в концентрации 0,1–0,2 %.

ПАБК известна как репароген, считается генетически значимым соединением,

стимулирующим восстановительные процессы в клетках. Участвует в синтезе фолиевой кислоты, нормализует обмен в соединительной ткани. В данном техническом решении стабилизируется и восстанавливается поврежденная микрофлора почвы с помощью воздействия ПАБК на микрофлору.

ПАБК – витамин Н – бесцветное кристаллическое вещество, которое применяют в качестве ростового фактора микроорганизмов. Соединяясь с ферментами, она повышает энергию ферментативного катализа на определенных этапах онтогенеза, тем самым сообщает генотипу дополнительную сопротивляемость, пластичность и продуктивность.

Оживить землю, восстановить ее плодородный слой (гумус) можно с помощью биокомпостов, содержащих в себе симбиотическую ассоциацию микроорганизмов (Байкал – ЭМ-1). Использование технологий «живых систем» в интересах устойчивой хозяйственной деятельности человека позволяет не только решать проблемы, связанные с восстановлением естественного плодородия почв. Эффективные микроорганизмы биопрепарата Байкал – ЭМ-1, содержащей более 80 различных микроорганизмов, представляют устойчивое сообщество физиологически совместимых и взаимодополняющих полезных микроорганизмов, отвечающих за процессы регенерации, дающих силу жизни.

Микробиологическое удобрение Байкал – ЭМ-1 – водный раствор, состоящий из консорциума молочнокислых и фотосинтезирующих бактерий, способных фиксировать атмосферный азот, дрожжей, биологически активных продуктов жизнедеятельности организмов.

Принципиальное отличие препарата Байкал – ЭМ-1 от других микробиологических препаратов состоит в его многокомпонентности, без вредности для человека, животных и всей микрофлоры почвы.

Таблица 4

Фиторемедиация радиоактивных земель

| Варианты опыта                                           | Содержание в мкЗв/час |       |       |                  |       |       |
|----------------------------------------------------------|-----------------------|-------|-------|------------------|-------|-------|
|                                                          | Стронций $Sr^{90}$    |       |       | Цезий $Cs^{137}$ |       |       |
|                                                          | 1 год                 | 2 год | 3 год | 1 год            | 2 год | 3 год |
| Вязель пестрый (без аланита)                             | 0,72                  | 0,61  | 0,42  | 0,84             | 0,78  | 0,62  |
| Вязель пестрый. 1 укос + аланит                          | 0,66                  | 0,56  | 0,36  | 0,72             | 0,62  | 0,50  |
| Вязель пестрый. 2 укос + аланит (на второй год жизни)    | –                     | 0,46  | 0,32  | –                | 0,59  | 0,46  |
| Вязель пестрый + аланит после 2 укосов (2-го года жизни) | –                     | 0,38  | 0,24  | –                | 0,45  | 0,32  |
| Процент снижения от показателя без аланита               | 8,4                   | 38,0  | 42,8  | 21,0             | 42,4  | 48,4  |

Таблица 5

## Ремедиация нефтезагрязненных земель

| Варианты опытов                                   | Концентрация нефти, г/кг | Снижение нефти, % | Углеводороды мг/кг |
|---------------------------------------------------|--------------------------|-------------------|--------------------|
| Контроль (без орошения)                           | 66,4                     | —                 | 2680               |
| Полив водным раствором ПАБК, 0,1–0,2 %            | 57,0                     | 14,2              | 1812               |
| Полив водным раствором Байкал – ЭМ-1 (без стевии) | 48,2                     | 27,5              | 1620               |
| Полив ПАБК + стевия + Байкал – ЭМ-1               | 36,8                     | 44,1              | 860                |
| Посев амаранта с поливом в фазу ветвления         | 42,5                     | 36,0              | 1180               |
| Предлагаемое                                      | 24,8                     | 62,7              | 362                |

Использование этого биопрепарата позволяет решить проблемы, связанные с естественным плодородием почв, предотвращение загрязнения окружающей среды Байкал – ЭМ-1 обеспечивает водо- и воздухопроницаемость почвы до глубины 60–80 см.

Благодаря внесению в токсичную почву этого биопрепарата в несколько раз ускоряются процессы гумусообразования в течение 2–3 недель.

Обычно для стимуляции микроорганизмов в раствор добавляют сладости: варенье, мед, сахар. В отличие от известных приемов в предлагаемом объекте используют растения стевии (*Stevia rebaudiana*), как сахарозаменитель растительного происхождения. Листья стевии в 10–15 раз слаще сахара. В стевии содержится много антиоксидантов – кверцетин, рутин, минеральных веществ – кальций, фосфор, калий, цинк, хром, магний, селен, медь, а также витамины группы А, В, С, Е. Кроме этого содержащиеся 53 активных вещества (в том числе стевиозид) способствуют возрождению и активности микроорганизмов.

Такая смесь с помощью ПАБК подслащенного стевией усиливает активизацию микроорганизмов Байкал – ЭМ-1 и в течение 2–3 недель значительно снижается количество углеводородов нефти в почве. Параметры способа (2–3 недели) объясняются действием активизации микроорганизмов в почве с помощью введенных биопрепаратов, растворенных в ПАБК в смеси с подслащением растений стевии. Это ускоряет процесс гумусообразования.

После улучшения плодородия высевают культуру амаранта, устойчивую к токсичности почвы и обладающую высокими сорбционными свойствами поглощать тяжелые металлы.

В фазе ветвления для стимуляции роста амаранта осуществляют повторный полив в такой же концентрации, который обеспе-

чивает одновременно и очистку от нефтепродуктов (табл. 5).

Анализируя полученные данные, приведенные в таблице, можно заключить, что орошение нефтезагрязненных почв парааминобензойной кислотой в смеси с растительными веществами стевии и биопрепарата Байкал – ЭМ-1 позволяет значительно снизить содержание нефти углеводородов в почве.

## Заключение

Результаты приведенных данных свидетельствуют о том, что за счет сорбционных свойств вязеля пестрого и цеолитсодержащих глин Аланит местного происхождения можно снизить загрязненность почвы радионуклидами в 2–3 раза.

Реабилитация нефтезагрязненных земель осуществляется за счет посева растений амаранта, цеолитсодержащей глины аланит с последующим высевом бобово-злаковой смеси и их запашкой в фазе цветения.

На нефтезагрязненных почвах эффективным приемом ремедиации является использование парааминобензойной кислоты (ПАБК) в смеси с 0,2 % водным раствором растений стевии, и спустя 2–3 недели после полива высевают культуру амаранта.

Использование растительных отходов: кукурузных кочерыжек, корзинок подсолнечника и отходов спиртовой промышленности в смеси с цеолитсодержащими глинами – способствует снижению токсичности почв, снижает кислотность почв, восстанавливает плодородие почв.

## Список литературы / References

1. Гукалов В.Н. Тяжелые металлы в системе агроландшафтов. Краснодар: Изд. КубГАУ, 2010. 345 с.  
Gukalov V.N. Heavy metals in the system of agro-landscapes. Krasnodar: Ed. KubGAU, 2010. 345 p.
2. Волошин Е.И. Транслокация кадмия и свинца в почве и растениях // Химия в сельском хозяйстве. 1997. № 2. С. 34–35.  
Voloshin E.I. Translocation of cadmium and lead in soil and plants // Chemistry in agriculture. 1997. № 2. P. 34–35 (in Russian).

3. Белюченко И.С. Экология Кубани. Краснодар, 2005. Ч. 2. 470 с.
- Belyuchenko I.S. Ecology of the Kuban. Krasnodar, 2005. Part 2. 470 p. (in Russian).
4. Вельц Н.Ю. Способ оценки загрязнения окружающей среды тяжелыми металлами // Патент № 2257597. Опубликовано 27.07.2005 МПК G01V9/00, G01N33/48.
- Velts N.Yu. Method for assessing environmental pollution with heavy metals // Patent № 2257597. Published 27.07.2005 МПК G01V9 / 00, G01N33 / 48 (in Russian).
5. Заалишвили В.Б., Бекузарова С.А., Козаева О.П. Способ оценки загрязнения окружающей среды // Патент № 2485477. Опубликовано 20.06.2013 МПК G01N33/48.
- Zaalishvili V.B., Bekuzarova S.A., Kozaeva O.P. Method for assessing environmental pollution // Patent № 2485477. Published on 06/06/2013 IPC G01N33 / 48 (in Russian).
6. Сокаев К.Е., Хубаева Г.П. Экология окружающей природной среды города Владикавказа и его пригорода. Владикавказ: Олимп, 2014. 207 с.
- Sokaev K.E., Khubaeva G.P. Ecology of the environment of the city of Vladikavkaz and its suburbs. Vladikavkaz. Olimp, 2014. 207 p. (in Russian).
7. Заалишвили В.Б., Алборов И.Д., Бекузарова С.А., Сидиков А.Г. Способ реабилитации нарушенных земель // Патент № 2567900. Опубликовано 10.11.2015. МПК B09C1/00, A01B79/02, C05G 3/04.
- Zaalishvili V.B., Alborov I.D., Bekuzarova S.A., Sidikov A.G. Method of rehabilitation of disturbed lands // Patent № 2567900. Published 10.11.2015. IPC B09C1 / 00, A01B79 / 02, C05G 3/04 (in Russian).
8. Ханиева И.М., Бекузарова С.А., Ханиев М.Х., Лазаров Т.К., Босиев А.Л. Способ снижения радиоактивности почв // Патент № 258027. Опубликовано 20.06.2016. МПК B09C1/00.
- Khanieva I.M., Bekuzarova S.A., Khaniev M.Kh., Lazarov T.K., Bosiyev A.L. Method of reducing soil radioactivity // Patent № 258027. Published on 06/06/2016. IPC W09S1 / 00 (in Russian).
9. Бекузарова С.А., Александров Е.Н., Вайсфельд Л.И., Эйгес Н.С., Плиев И.Г. Способ воспроизводства нефтезагрязненных земель // Патент № 2555595. Опубликовано 10.07.2015. МПК B09C1/10, A61D3/02, A01B7902.
- Bekuzarova S.A., Aleksandrov E.N., Vaisfeld L.I., Eiges N.S., Pliev I.G. Method of reproduction of oil-contaminated land // Patent № 2555595. Published 10.07.2015. IPC B09C1 / 10, A61D3 / 02, A01B7902 (in Russian).
10. Биологический контроль окружающей среды. Генетический мониторинг. М.: Издательский центр «Академия», 2010. 136 с.
- Biological control of the environment. Genetic monitoring. M.: Izdatel'skij centr «Akademiya», 2010. 136 p. (in Russian).
11. Биологический контроль окружающей среды. Биомониторинг и биотестирование / Под ред. О.П. Мелеховой, Е.И. Сорепульцевой. М.: Издательский центр «Академия», 2010. 156 с.
- Biological control of the environment. Bioindication and biotesting / Pod red. O.P. Melekhovoy, E.I. Sorapul'cevoy. M.: Izdatel'skij centr «Akademiya», 2010. 156 p. (in Russian).
12. Колесников С.И., Казеев К.Ш. Методология нормирования химического загрязнения почв на основе нарушения их экологических функций // Экология и промышленность России. 2007. № 11. С. 48–51.
- Kolesnikov S.I., Kazeev K.Sh. Methodology of rationing of chemical pollution of soils on the basis of the violation of their ecological functions // Ecology and Industry of Russia. 2006. № 11. P. 48–51 (in Russian).
13. Казеев К.Ш., Колесников С.И. Биодиагностика почв: методология и методы исследований. Ростов н/Д.: Изд-во Южного федерального университета, 2012. 260 с.
- Kazeev K.Sh. Kolesnikov S.I. Soil biodiagnostics: methodology and research methods. Rostov n/D.: Izd-vo Yuzhnogo federal'nogo universiteta, 2012. 260 p. (in Russian).

УДК 622.271.1

**ТЕМПЕРАТУРНЫЙ РЕЖИМ ВОДЫ В ДРАЖНОМ РАЗРЕЗЕ  
ПРИ РАЗРАБОТКЕ МЕРЗЛЫХ ГРУНТОВ****Кисляков В.Е., Нафиков Р.З., Вокин В.Н., Веретёнова Т.А., Бахтигузин А.А.***ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет», Красноярск, e-mail: Ravik\_177@mail.ru*

Рассмотрена проблема снижения производительности драг при работе в условиях отрицательных температур, которая особенно актуальна для россыпных месторождений, расположенных в условиях Крайнего Севера, где грунты промерзают на значительную глубину. В зимний период глубина промерзания грунтов может составлять несколько метров. Изучено влияние разрабатываемых мерзлых грунтов на температуру воды в дражном разрезе, а также были рассмотрены существующие методики расчета конвективного теплообмена. На основе проведенного обзора был сделан вывод, что по известным методикам проводить расчет теплообмена между грунтом и водой в дражном разрезе весьма затруднительно. Для решения этой проблемы была создана установка и проведен эксперимент. Экспериментальная установка представляет собой дражный разрез, выполненный в масштабе с соблюдением геометрического подобия. Погрешности в измерениях исключены путем изолирования установки от внешней среды теплоизолирующим материалом, в качестве которого был выбран пенопласт. В емкость устанавливают термодатчик для определения средней температуры воды, равномерное распределение которой достигается путем непрерывного перемешивания магнитной мешалкой. В результате эксперимента получена математическая модель, позволяющая определить температуру воды в дражном разрезе с учетом обнажаемых мерзлых грунтов. Рассмотрена динамика температуры воды в условных дражных разрезах по средним данным района и выявлен коэффициент снижения температуры. Таким образом, появляется возможность эффективного обоснования продолжительности добычного сезона работы драги в течение года. Одним из решений проблемы предложено заблаговременное предохранение подготовленных к выемке песков от промерзания.

**Ключевые слова:** мерзлый грунт, россыпное месторождение, драга, производительность, добычный сезон, зимний период

**TEMPERATURE WATER MODE IN THE DREDGE SECTION  
IN THE DEVELOPMENT OF FROZEN GROUNDS****Kislyakov V.E., Nafikov R.Z., Vokin V.N., Veretenova T.A., Bakhtiguzin A.A.***Siberian Federal University, Krasnoyarsk, e-mail: Ravik\_177@mail.ru*

The problem of decrease in productivity of dredges at work in the conditions of negative temperatures which is especially actual for placer deposits located in the conditions of the Far North, where ground freeze to a considerable depth, is considered. In winter, the depth of ground freezing can be several meters. The effect of the developed frozen ground on the water temperature in the dredge section has been studied, and the existing methods for calculating convective heat transfer were also considered. On the basis of the review, it was concluded that according to known methods to carry out the calculation of heat transfer between the ground and the water in the dredge section is very difficult. To solve this problem, an installation was created and an experiment was conducted. The experimental setup is a dredge incision made on a scale in compliance with the geometric similarity. Errors in the measurements are eliminated by isolating the installation from the external environment heat insulation material, which was selected as a foam. A temperature sensor is installed in the tank to determine the average temperature of the water, the uniform distribution of which is achieved by continuous stirring with a magnetic stirrer. As a result of the experiment, a mathematical model was obtained, which allows to determine the water temperature in the dredge section, taking into account the exposed frozen ground. The dynamics of water temperature in dredge sections according to the average data of the area is considered and the coefficient of temperature decrease is revealed. Thus, it becomes possible to effectively justify the duration of the mining season of the dredge operation during the year. One of the solutions to the problem proposed early protection prepared for dredging sands from freezing.

**Keywords:** frozen ground, placer deposit, dredge, productivity, mining season, winter period

На сегодняшний день в горнодобывающей отрасли особое внимание уделяется разработке россыпных месторождений дражным способом [1, 2]. Данный способ имеет ряд достоинств, таких как возможность ведения добычных работ в сложных гидрогеологических условиях, высокая эффективность и др. Однако в суровых климатических условиях Севера России дражный способ разработки месторождений имеет существенный недостаток – ограниченность добычного сезона. Поздней осенью, когда температура воды приближается

к температуре замерзания, происходит ее намерзание на черпаки и черпаковую раму, при этом резко снижается производительность драги.

Цель исследования: исследование влияния разрабатываемых мерзлых грунтов на температуру воды в дражном разрезе. Для исследования данного вопроса рассмотрены существующие методики расчета конвективного теплообмена [3–5]. На основе проведенного обзора был сделан вывод, что по известным методикам проводить расчет теплообмена между грунтом и водой



в дражном разрезе весьма затруднительно. Основная трудность связана с постоянно меняющимися переменными в уравнениях из-за непрерывной работы драги, изменения температуры окружающего воздуха, интенсивности солнечного излучения и других факторов.

В качестве примера рассмотрим динамику температуры воды в дражных разрезах Ленского района (Якутия) на примере водоемов этого района [6]. Годовое изменение температуры в водоемах представлено на рис. 1.

среды посредством материала с низкой теплопроводностью. В качестве такого материала был выбран пенопласт. Фотографии экспериментальной установки представлены на рис. 3.

Для более наглядного представления установки ее схема показана графически на рис. 4.

Эксперименты проводились следующим образом. В емкость с водой помещался мерзлый грунт кубической формы и измерялась температура воды в течение времени. Шаг фиксации был принят равным 1 минуте. Эксперимент заканчивался, когда темпера-

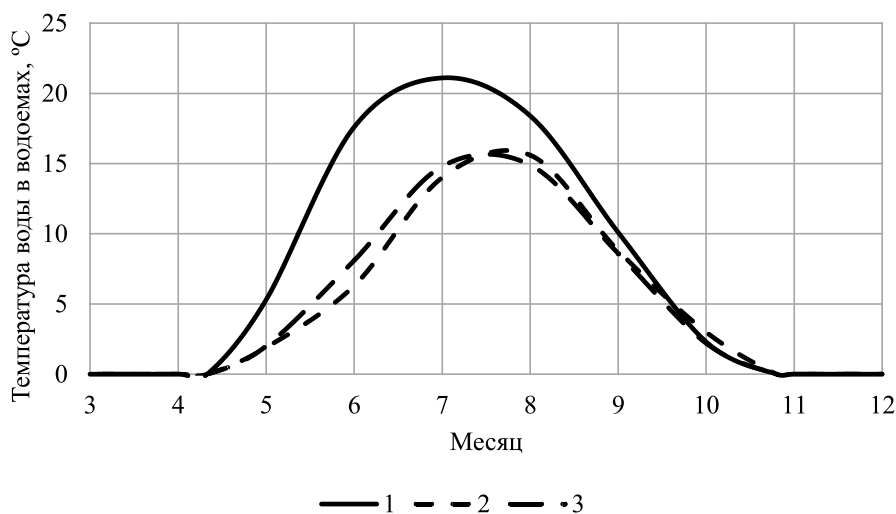


Рис. 1. Изменение температуры воды озер в течение года: 1 — оз. Тырка (54° с.ш.); 2 — оз. Большое Леприндо (56° с.ш.); 3 — оз. Ничатка (58° с.ш.)

### Материалы и методы исследования

Для изучения влияния обнажаемых драгой грунтов на температуру воды в дражном разрезе был проведен эксперимент. Для этого с соблюдением геометрического подобия выполнена установка в масштабе 1:1000. В качестве моделируемого объекта принят условный дражный разрез драги с вместимостью черпаков 150 л. Основной частью установки является емкость с водой объемом 0,002 м<sup>3</sup>. В емкость устанавливают термодатчик для определения средней температуры воды. Ее равномерное распределение по всему объему достигается путем непрерывного перемешивания, которого возможно достичь с помощью магнитной мешалки ММ-5 (рис. 2). Скорость вращения мешалки регулируется в пределах от 400 до 1200 об/мин.

Для исключения погрешностей в измерениях установка изолирована от внешней

тура воды переставала изменяться или изменялась незначительно. Затем заменяли образовавшуюся пульпу водой необходимой температуры и повторяли эксперимент с новым образцом грунта.



Рис. 2. Мешалка магнитная ММ-5

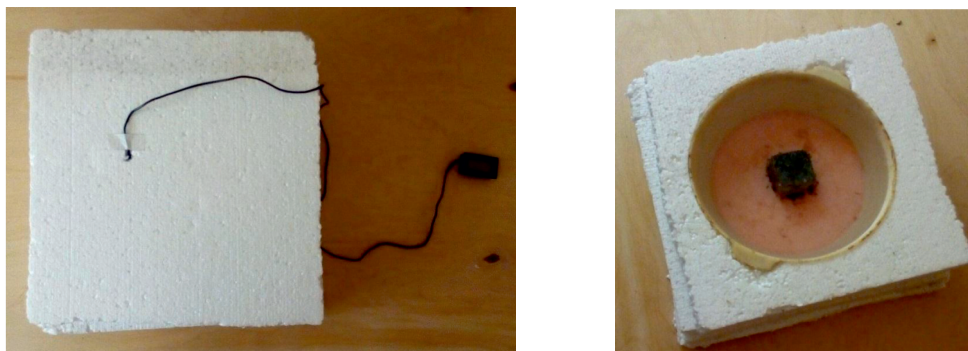


Рис. 3. Фотографии экспериментальной установки

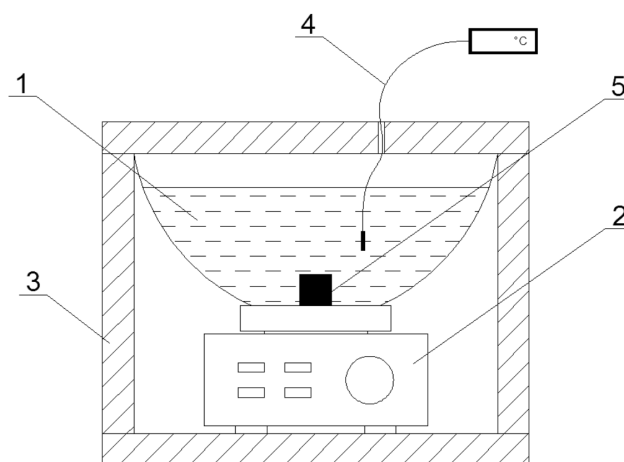


Рис. 4. Схема экспериментальной установки: 1 – емкость с водой; 2 – мешалка магнитная ММ-5; 3 – теплоизолирующий материал; 4 – термометчик; 5 – образец мерзлого грунта

### Результаты исследования и их обсуждение

Эксперименты проводились в три этапа. Первый этап был выполнен при начальной температуре воды 10 °С. Длина стороны образца грунта кубической формы принята 1, 2, 3 и 4 см. Для каждого вида образца проводилось 4 серии измерений (принимая его начальную температуру –20, –15, –10, –5 °С). Полученные результаты представлены графиками (рис. 5).

Второй и третий этап эксперимента были проведены аналогично, за исключением начальной температуры воды – 7 и 4 °С.

Следующим шагом было экспериментально доказано отсутствие значительных погрешностей, возникающих вследствие влияния окружающего воздуха на воду в установке из-за разности температур. Для этого проведены дополнительные измерения без образцов грунта. Начальная температура воды была принята 10 °С, при

этом температура окружающего воздуха составила 23 °С. Время фиксации динамики температуры воды в установке выбрано как наибольшее значение во всех проведенных экспериментах, а именно 20 мин. Результаты измерений представлены на рис. 6.

Исходя из полученных результатов, определено, что за данный период погрешность в измерениях составила 4,2%, поэтому для дальнейших расчетов ей можно пренебречь.

Далее в программной среде Microsoft Excel была получена формула определения температуры воды с учетом параметров мерзлого грунта, а также итоги регрессионной статистики (табл. 1). Полученная формула представлена ниже:

$$T_{в.г} = 0,3 + T_{в.н} - 12,1 \cdot P_r + 0,014 \cdot T_r - 0,174 \cdot t_r, \text{ } ^\circ\text{C},$$

где  $T_{в.н}$  – температура воды на начальный момент расчетов, °С;  $P_r$  – отношение объема обнажаемых грунтов к объему воды, м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup>;  $T_r$  – средняя температура обнажаемого грунта, °С;  $t_r$  – расчетное время, ч.

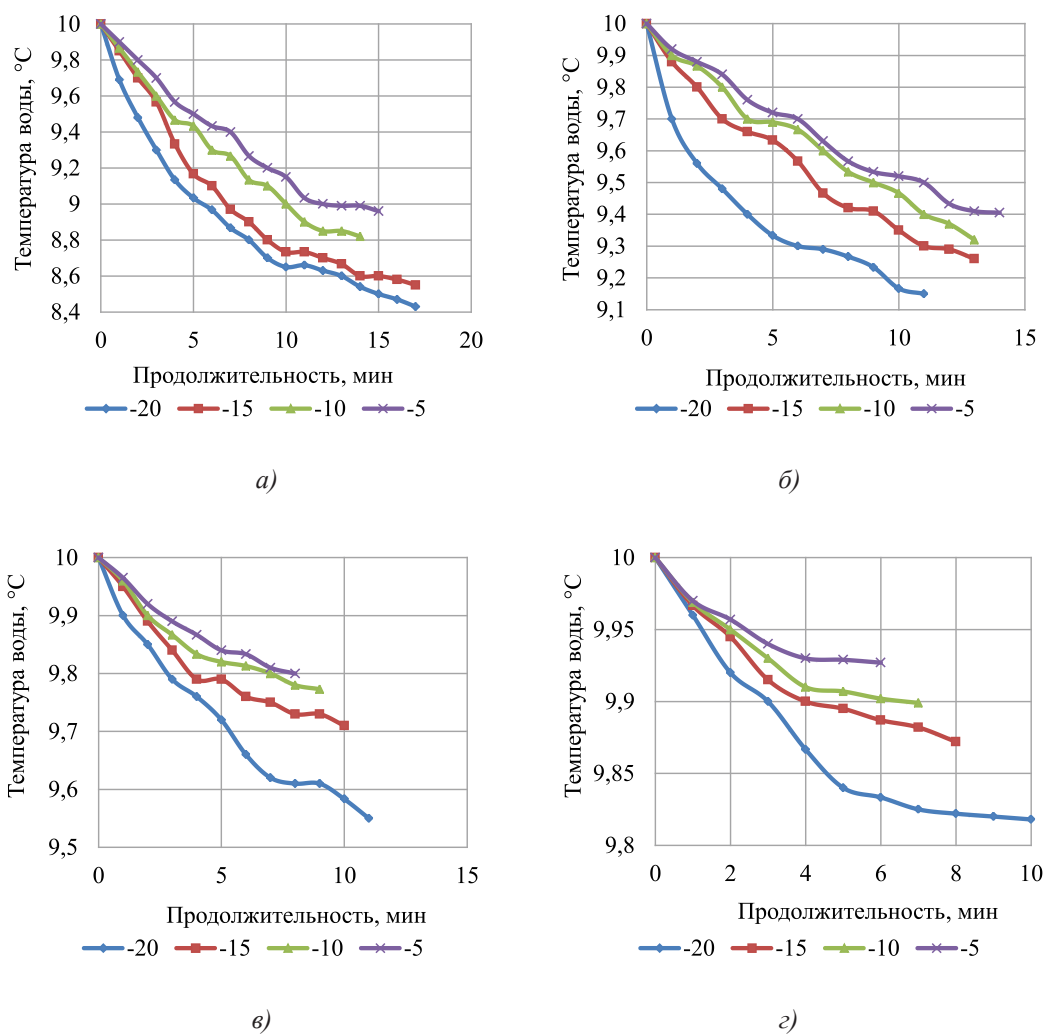


Рис. 5. Изменение температуры воды в установке в зависимости от времени измерения при наличии образцов грунта кубической формы с длиной стороны (см): а – 4, б – 3, в – 2, г – 1

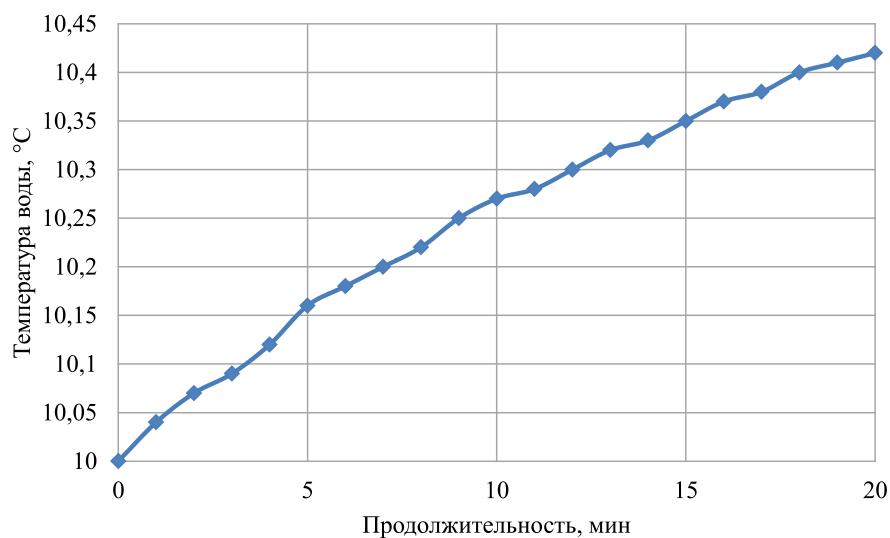


Рис. 6. Изменение температуры воды в установке

Таблица 1

## Итоги регрессионной статистики

| Показатели              | Значение |
|-------------------------|----------|
| Множественный R         | 0,998    |
| R-квадрат               | 0,997    |
| Нормированный R-квадрат | 0,997    |
| Стандартная ошибка      | 0,137    |
| Наблюдения              | 644      |

Таблица 2

## Значения коэффициента изменения температуры воды в дражном разрезе с учетом обнажаемого грунта

| Месяц<br>Драга | 1    | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    | 9    | 10   | 11   | 12   |
|----------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 50             | 0,51 | 0,62 | 0,83 | 0,91 | 0,96 | 0,98 | 0,98 | 0,98 | 0,98 | 0,95 | 0,86 | 0,72 |
| 80             | 0,54 | 0,69 | 0,85 | 0,91 | 0,96 | 0,98 | 0,99 | 0,98 | 0,98 | 0,95 | 0,89 | 0,76 |
| 150            | 0,66 | 0,83 | 0,88 | 0,96 | 0,98 | 0,99 | 0,99 | 0,99 | 0,99 | 0,98 | 0,92 | 0,83 |
| 250            | 0,71 | 0,9  | 0,94 | 0,97 | 0,99 | 0,99 | 1    | 1    | 0,99 | 0,99 | 0,95 | 0,85 |
| 380            | 0,72 | 0,92 | 0,96 | 0,98 | 0,99 | 0,99 | 1    | 1    | 1    | 0,99 | 0,97 | 0,89 |

## Заклучение

С помощью полученной математической модели, пользуясь значениями, представленными на рис. 1 и значениями температуры грунта [7, 8], определена температура воды в условных дражных разрезах, расположенных в рассматриваемом районе. Введем понятие коэффициента изменения температуры воды в дражном разрезе в зависимости от параметров обнажаемого грунта, равный отношению температуры воды в разрезе при обнажении грунтов к исходной температуре воды. Результаты представлены в табл. 2.

Следует отметить, что обнажаемый мерзлый грунт значительно снижает температуру воды в дражном разрезе, поэтому необходимо заранее предохранять подготовленные к выемке пески от промерзания. На сегодняшний день известен целый ряд таких способов, например укладка теплоизолирующих покрытий, затопление подготовленных запасов и другие.

Таким образом, полученная математическая модель дает возможность обосновать продолжительность добычного сезона работы драги в течение года. Также полученные результаты позволят скорректировать ежемесячную производительность драги, исходя из климатических условий региона.

## Список литературы / References

1. Ершов В.А. Целенаправленное преобразование россыпных месторождений при дражной разработке // Горная промышленность. 2010. № 5. С. 70–72.

Ershov V.A. Purposeful transformation of alluvial deposits in dredge design // Mining industry Journal. 2010. №. 5. P. 70–72 (in Russian).

2. Кисляков В.Е., Нафиков Р.З., Катыхшев П.В. Повышение производительности драг в условиях отрицательной температуры // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2017. № 4. С. 4–9.

Kislyakov V.E., Nafikov R.Z., Katyshev P.V. Productivity increase of drag in the conditions of subfreezing temperature // Vestnik Magnitogorskogo gosudarstvennogo texnicheskogo universiteta im. G.I. Nosova. 2017. № 4. P. 4–9 (in Russian).

3. Гуляев В.А. Теплотехника: учебник. СПб.: «РАПП», 2009. 352 с.

Gulyaev V.A. Heat engineering: textbook. SPb.: «RAPP», 2009. 352 p. (in Russian).

4. Брюханов О.Н., Шевченко С.Н. Тепломассообмен: учебник. М.: НИЦ ИНФРА-М, 2013. 464 с.

Bryukhanov O.N., Shevchenko S.N. Heat and mass transfer: a textbook. M.: NICz INFRA-M, 2013. 464 p. (in Russian).

5. Винников С.Д., Викторова Н.В. Физика вод суши: учебник. СПб.: РГТУ, 2009. 430 с.

Vinnikov S.D., Viktorova N.V. Physics of land waters: textbook. SPb.: RGTU, 2009. 430 p. (in Russian).

6. Протасьев М.С. Ресурсы поверхностных вод СССР. Том 17. Лено-Инди́гирский район. Л.: Гидрометеоздат, 1972. 651 с.

Protas'ev M.S. Surface water resources of the USSR. Volume 17. The Leno-Indigirsk district. L.: Hydrometeoizdat, 1972. 651 p. (in Russian).

7. Климат почвы и его регулирование [Электронный ресурс]. URL: [http://elibrshu.ru/files\\_books/pdf/img-217150939.pdf](http://elibrshu.ru/files_books/pdf/img-217150939.pdf) (дата обращения: 24.09.2018).

Soil climate and its regulation [Electronic resource]. URL: [http://elibrshu.ru/files\\_books/pdf/img-217150939.pdf](http://elibrshu.ru/files_books/pdf/img-217150939.pdf) (date of access: 24.09.2018) (in Russian).

8. Геотермальные теплонасосные системы теплоснабжения и эффективность их применения в климатических условиях России [Электронный ресурс]. URL: [https://www.abok.ru/for\\_spec/articles.php?nid=3685](https://www.abok.ru/for_spec/articles.php?nid=3685) (дата обращения: 15.10.2018).

Geothermal heat pump heating systems and the efficiency of their use in the climatic conditions of Russia [Electronic resource]. URL: [https://www.abok.ru/for\\_spec/articles.php?nid=3685](https://www.abok.ru/for_spec/articles.php?nid=3685) (date of access: 15.10.2018) (in Russian).

УДК 622

**ТЕОРИЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЛИНЕАРИЗОВАННЫХ МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОРОД И ГРУНТОВ ПО ИХ ОБЪЕМНОМУ СОСТАВУ****<sup>1</sup>Кравчук А.С., <sup>2</sup>Смалюк А.Ф., <sup>3</sup>Славашевич С.И., <sup>4</sup>Мисников В.А.**<sup>1</sup>*Белорусский государственный университет, Минск, e-mail: ask\_belarus@inbox.ru;*<sup>2</sup>*Белорусский национальный технический университет, Минск;*<sup>3</sup>*ОАО «БЕЛАРУСЬКАЛИЙ», Солигорск;*<sup>4</sup>*НПUP «Институт горного дела», Солигорск*

Впервые предлагается использовать структурно-феноменологический подход, основанный на построении иерархической модели усреднения механических характеристик, для расчета НДС различных по размеру фрагментов земной толщи. Установлено, что отличительной особенностью уравнений состояния горной породы в рамках теории упругости является отсутствие известной связи между эффективными модулем сдвига, модулем Юнга и коэффициентом Пуассона. Впервые предложен метод теоретической оценки линеаризованных механических свойств горных пород или почв для трех независимых параметров (модуля Юнга почвы, модуля сдвига, коэффициента Пуассона). В работе впервые получены эффективные уравнения динамики горной породы в перемещениях на основе упругих уравнений состояния в среднем изотропной среды с тремя независимыми эффективными модулями, имеющими одинаковые значения во всех трех направлениях. Установлено, что структура уравнений полностью сохраняется такой же, как и в однородном случае для однородного тела с точностью до замены деформаций, напряжений и перемещений на средние по представительному объему горной породы или почвы величины. При этом в качестве усредненных упругих характеристик необходимо использовать независимо полученные средние значения по Хиллу модуля Юнга, модуля сдвига, коэффициента Пуассона и плотности. Установлено, что теоретическое определение эффективной скорости распространения волны в горном массиве существенно зависит от всех трех параметров (эффективных модуля Юнга, модуля сдвига и коэффициента Пуассона). Исследования, изложенные в данной статье, позволяют определять эффективные свойства пород и почв по результатам подбора значений модуля Юнга горного массива по измеренным перемещениям уже существующего объекта.

**Ключевые слова:** эффективные механические характеристики горной породы, упругое изотропное тело с тремя независимыми модулями, механика композиционных материалов, геомеханика

**THEORY OF DETERMINATION OF LINEARIZED MECHANICAL CHARACTERISTICS OF ROCKS AND SOILS BY THEIR VOLUME COMPOSITION****<sup>1</sup>Kravchuk A.S., <sup>2</sup>Smaluk A.F., <sup>3</sup>Slavashevich S.I., <sup>4</sup>Misnikov V.A.**<sup>1</sup>*Belarusian State University, Minsk, e-mail: ask\_belarus@inbox.ru;*<sup>2</sup>*Belarusian National Technical University, Minsk;*<sup>3</sup>*JSC «BELARUSKALIY», Soligorsk;*<sup>4</sup>*NPUP «Institute of Mining», Soligorsk*

A structural-phenomenological approach based on a hierarchical model of averaging mechanical characteristics for calculating the stress-strain state of various fragments of the Earth's strata is proposed. The distinctive feature of the equations of state of a rock within the framework of the elasticity theory is the absence of a known connection between the effective shear modulus, Young's modulus, and Poisson's ratio. A method for a theoretical evaluation of linearized mechanical properties of rocks or soils for three independent parameters (soil Young's modulus, shear modulus, Poisson's ratio) is proposed. The effective equations of rock dynamics in displacements were obtained on the basis of elastic equations of state in an average isotropic medium with three independent effective modules having the same values in all three directions. The structure of the equations is completely preserved the same as in the homogeneous case with up to the replacement of deformations, stresses and displacements with averaged values over the representative volume of the rock or soil. As the averaged elastic characteristics is necessary to use independently obtained Hill's average values on the of the Young's modulus, shear modulus, Poisson's ratio and density. The theoretical definition of the effective wave velocity in the rocks or soils significantly depends on all three parameters (effective Young modulus, shear modulus, and Poisson's ratio). The studies allow us to determine the effective properties of rocks and soils based on the results of selection of values of the Young's modulus of a rock or soil for displacements of already existing object.

**Keywords:** effective mechanical characteristics of the rock, elastic isotropic body with three independent modules, mechanics of composite materials, geomechanics

Методика определения механических свойств пород и грунтов должна в определенном виде учитывать геологический состав горной породы на любой глубине, так как состав породы обычно обладает большим разнообразием и разбросом свойств

компонент породы по механическим характеристикам. Поэтому в настоящее время общепринятым является описание механических свойств пород и грунтов как квазиизотропных, т.е. сред изотропных в среднем. Обоснованием этого заключения является



прямая аналогия между структурой горной породы или почвы и структурой композиционных материалов [1].

Однако, несмотря на это уже устоявшееся представление о механике горных пород, как одного из вариантов механики композиционных материалов, на текущий момент не существует четких рекомендаций по использованию тех или иных методик оценки средних механических характеристик представительного объема породы или грунта по их составу. Это связано прежде всего с тем, что до недавнего времени попросту не было создано даже удовлетворительного математического аппарата теоретического усреднения свойств многокомпонентных смесей. Только после появления основополагающих работ [2, 3], которые довели до логического конца методику Хилла, основанную на оценках Фойгта и Рейсса, стало возможно говорить о создании целостной инженерной методики, как расчетного прогнозирования эффективных свойств горных массивов и почв, так и обоснованного применения этих усреднений в расчетах в геомеханике.

Разработанная в рамках проекта программы союзного государства «Недра» методика позволит отказаться от испытаний горной породы для выяснения механических характеристик, а ограничиться выяснением объемных долей компонент, присутствующих в породе (сухих песка, глины, камня, органических включений и отдельно объема воды) по результатам бурения. Используя механические характеристики каждой из компонент в отдельности, можно будет по результатам определения их объемных долей вычислить прогнозируемые физические значения. В связи с разнообразием свойств перечисленных компонент на этом этапе создания модели следует ограничиться линейным квазиупругим приближением уравнения состояния как грунта или породы, так и их компонент, предполагая, что даже вода является упругой и ее коэффициент Пуассона ориентировочно равен 0,45.

Впервые в рамках предложенной методики предлагается использовать структурно-феноменологический подход, основанный на построении иерархической модели усреднения механических характеристик, используемых их для расчета НДС различных по размеру фрагментов земной толщи. Так для расчета оседаний дневной поверхности необходимо усреднять механические характеристики по всему объему

толщи породы над выработкой, а для расчета НДС слоя соли над выработкой для повышения точности расчета целесообразно выполнять усреднение механических характеристик исключительно по геологическому составу солевого пласта с заменой веса породы над выделенным фрагментом солевого пласта соответствующей распределенной нагрузкой.

Предлагаемая авторами методика является обобщением уже известных результатов, полученных в работах [4–6], где по факту продемонстрирован метод определения эффективных квазиизотропных характеристик всего горного массива над выработкой по результатам обобщения измеренных вертикальных сдвижений существующего объекта без определения концентраций компонент на разных горизонтах.

В рамках построения общей теории квазиупругого поведения горных пород, при анализе литературных источников был установлено [4–6], что эффективный модуль сдвига для горного массива не является вычисляемой величиной через эффективные модуль упругости и коэффициент Пуассона, а требует отдельного определения для достижения необходимой точности совпадения расчетных величин оседания поверхности с экспериментально полученными на уже существующих объектах.

Например, при усреднении механических характеристик всей массы горной породы для определения сдвижения дневной поверхности (самой иерархически крупной модели) будем исходить из закона Кулона – Мора, определяющего пластическое поведение материала горной породы на поверхностях пластического сдвига [7, 8]:

$$\tau = \sigma \cdot \operatorname{tg}(\alpha) + c,$$

где  $\tau$ ,  $\sigma$  – величины касательных и нормальных напряжений,  $\alpha$  – угол внутреннего трения,  $c$  – сцепление.

Приняв, что в толще породы, удаленной как от поверхности, так и от выработки, исследователь имеет дело с одноосным напряженным состоянием, создаваемым силой тяжести породы, выделим ромбовидный элемент (рис. 1). Можно утверждать, что касательные напряжения, действующие на границе выделенного ромбовидного элемента (рис. 1), ориентированного вдоль направления первого главного напряжения (единственного отличного от нуля напряжения, действующего в толще), с достаточной точностью не зависят от деформаций, изменяющих углы при вершинах указанного эле-

мента (рис. 1), а следовательно, не зависят от деформаций сдвига. В вычислительном смысле это означает, что для самой иерархически крупной модели следует уменьшить значение эффективного модуля сдвига  $\langle G \rangle$  для всей толщи до незначительной по сравнению с отношением  $\frac{\langle E \rangle}{2 \cdot (1 + \langle \nu \rangle)}$  (где  $\langle E \rangle$  – эффективного модуля Юнга,  $\langle \nu \rangle$  – эффективный коэффициент Пуассона), например до 5 % от отношения  $\frac{\langle E \rangle}{2 \cdot (1 + \langle \nu \rangle)}$  (но не более 10 %, как это установлено в [4–6]).

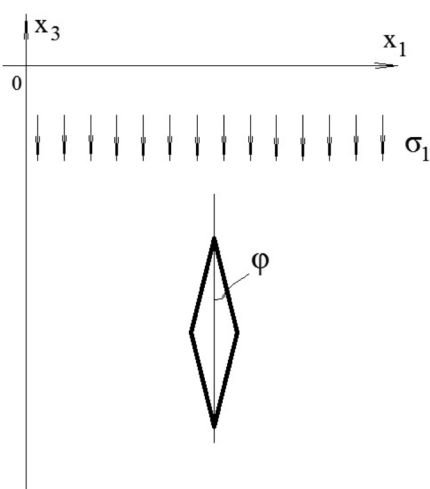


Рис. 1. Выделение ромбовидного элемента горной породы в области однородного распределения напряжений, которая удалена как от дневной поверхности, так и от выработки

Поэтому, на взгляд авторов, получивших аналогичные результаты для расчетов сдвижения дневной поверхности для существующей горизонтальной выработки на Солигорском месторождении, в общую методику решения геомеханических задач необходимо внести существенные изменения в отличие от машиностроения:

- либо при вычислении сдвижения дневной поверхности (иерархически самой крупной модели) считать, что эффективный модуль сдвига всей толщи породы малой величиной по сравнению с эффективным модулем Юнга;

- либо в случае иерархического моделирования относительно малого фрагмента горной породы (например, вокруг выработки) считать эффективный модуль сдвига породы или почвы величиной независимо

определяемой из экспериментальных данных наравне с эффективным модулем Юнга и коэффициентом Пуассона;

- использовать для расчетов напряженного состояния горного массива и/или почвы с помощью стандартного программного обеспечения эффективную ортотропную модель с тремя одинаковыми эффективными модулями по всем направлениям, т.е. в этой модели эффективные модули Юнга, сдвига и коэффициент Пуассона являются независимо определяемыми, но одинаковыми величинами для всех трех направлений.

В связи с этим в известную методику определения эффективных характеристик композиционных сред [2, 3] внесены упрощения, позволяющие как довести методику до инженерного уровня, не сильно потеряв в точности определения механических характеристик горного массива, так и использовать ее для определения трех независимых упругих характеристик горных массивов – эффективных модуля Юнга, модуля сдвига и коэффициента Пуассона.

На основе разработанной авторами методики [2, 3] в данной статье выведены уравнения Ламе динамики горного массива для решения задач в смысле средних по представительному объему породы напряжений и перемещений. Установлено, что теоретическое определение эффективной скорости распространения волны в горном массиве существенно зависит от всех трех параметров (эффективных модуля Юнга, модуля сдвига и коэффициента Пуассона).

#### Геометрические предположения

Данная работа полностью опирается на аналогию между горной породой или грунтом и композиционным в среднем изотропным телом, так как композиционный материал с зернистой структурой полностью соответствует составу грунта или горной породы в Беларуси. Именно поэтому в основе данного исследования лежат результаты авторов, полученные для композиционных тел и сред [2, 3]. Основным отличием данной работы является использование результатов линеаризации нелинейной диаграммы деформирования компонент горной породы или грунта, а также упрощенное приближение эффективных механических характеристик горных пород и грунтов с использованием приближения Хилла, которое, как установлено авторами, также является достаточно точным относительно приближения Кравчука – Тарасюка [2, 3].

Рассмотрим пространственную декартову систему координат с осями  $Ox_i$  ( $i=1,3$ ). Предполагается, что горная порода или грунт занимает объем  $V$ , а точка  $x \in V$  имеет три координаты  $x=(x_1, x_2, x_3)$ . Через функцию  $u_i(x, t)$  ( $i=\overline{1,3}$ ) обозначим перемещения точки  $x$  горной породы или грунта вдоль соответствующей оси  $Ox_i$  (проекцию на указанное направление) в момент времени  $t$ . Отметим, что при выводе всех уравнений геомеханики исследователь использует для произвольной точки  $x \in V$  описанный вокруг нее элементарный объем  $dV = dx_1 \times dx_2 \times dx_3$  (где  $dx_i$  – приращение вдоль оси  $Ox_i$ ).

#### Линеаризация диаграммы деформирования

Предполагается, что известна наибольшая деформация горной породы или грунта  $\varepsilon_{np}$ , исходя из предварительных оценочных расчетов. Таким образом, задан отрезок  $[0, \varepsilon_{np}]$  на оси деформации. Тогда нелинейное поведение  $f_k$  каждой компоненты породы или грунта с номером  $k$  ( $k=\overline{1, n}$ , где  $n$  – количество установленных компонент) при деформации на отрезке  $[0, \varepsilon_{np}]$  приближается линейной функцией с секущим модулем (рис. 2).

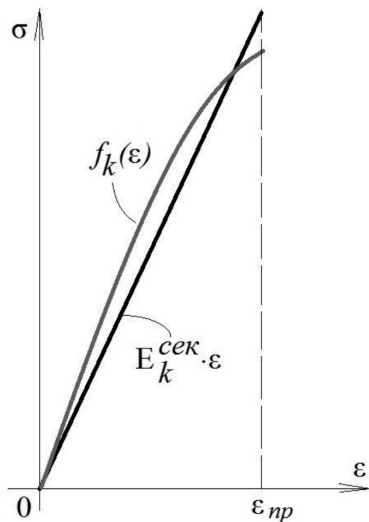


Рис. 2. Линеаризация нелинейного поведения грунта

Таким образом, предполагается, что к началу применения данной методики уже определены все секущие модули  $E_k^{сек}$  компонент породы или грунта, а также определены их коэффициенты Пуассона  $\nu_k$  и модуль сдвига  $G_k^{сек}$ .

#### Особенности вывода уравнений для горной породы с использованием объемных долей компонент

Будем называть представительным объемом горной породы наименьший объем, в котором физические характеристики остаются в среднем равными физическим характеристикам всего объема горного массива.

В отличие от сплошной среды уравнения не будут верны непосредственно при предельном переходе  $dV \rightarrow 0$ , так как в предлагаемой теории деформирования горных пород представительный объем горной породы  $dV \neq 0$ . Но, с другой стороны, он бесконечно мал по сравнению со всем исследуемым объемом  $V$ . Точнее,  $\sqrt[3]{dx_1 \cdot dx_2 \cdot dx_3}$  (характерный размер представительного объема) мал по сравнению с наименьшим характерным объемом фрагмента горного массива. Отметим, что во всем объеме горного массива и в элементарном представительном объеме  $dV$  концентрации компонент (объемные доли) равны  $\gamma_k$  (где  $k$  ( $k=\overline{1, n}$ ) – номер компоненты, при этом выполнено условие нормировки  $\sum_{k=1}^n \gamma_k = 1$ ).

Представительный  $dV$  объем горной породы будем называть макроточкой.

Очевидно, что для каждой компоненты представительного объема неоднородного многокомпонентного твердого тела должны быть известны ее плотность  $\rho_k$ , модуль Юнга  $E_k^{сек}$ , коэффициент Пуассона  $\nu_k$ , модуль сдвига  $G_k^{сек}$ .

При использовании данных гипотез план вывода уравнений для геомеханических объектов полностью сохраняется с точностью до замены понятия элементарного объема на представительный объем.

Отметим также, что в смысле формулировки объемных долей  $\gamma_k$  их следует рассматривать также как дискретную случайную величину присутствия компоненты породы или грунта с номером  $k$  в точке  $x \in V$ .

Обозначим через  $\sigma_{ij}^k(x)$  и  $\varepsilon_{ij}^k(x)$  ( $i=\overline{1,3}$ ,  $j=\overline{1,3}$ ) дискретные значения напряжений и деформаций на  $k$ -й компоненте горного массива в представительном объеме. Домножая на  $\gamma_k$  и суммируя по  $k$ , получаем средние по реализации композиции напряжения и деформации (матожидания дискретных случайных величин):

$$\begin{aligned} \langle \sigma_{ij}(x) \rangle &= \sum_{k=1}^n \gamma_k \cdot \sigma_{ij}^k(x), \\ \langle \varepsilon_{ij}(x) \rangle &= \sum_{k=1}^n \gamma_k \cdot \varepsilon_{ij}^k(x). \end{aligned} \quad (1)$$

Таким образом, стационарность обеспечивается требованием воспроизведения концентраций на всех уровнях объема от представительного  $dV$  до общего  $V$ . Эргodicность обеспечивается равенством среднего по реализации (1) среднему по представительному объему:

$$\langle \sigma_{ij}^k(x) \rangle = \frac{1}{\iiint_{(dV)} dx dy dz} \cdot \iiint_{(dV)} \sigma_{ij}^k(x) dx dy dz, \quad (2)$$

$$\langle \epsilon_{ij}^k(x) \rangle = \frac{1}{\iiint_{(dV)} dx dy dz} \cdot \iiint_{(dV)} \epsilon_{ij}^k(x) dx dy dz.$$

*Основные формулы  
для  $k$ -й компоненты горной породы*

Соотношения Коши для деформаций всех включений из  $k$ -ого однородного изотропного материала (компоненты) имеют вид [3, 6]:

$$\epsilon_{ii}^k = u_{i,i}^k \quad (i = \overline{1,3}), \quad (3)$$

$$\epsilon_{ij}^k = u_{i,j}^k + u_{j,i}^k \quad (i \neq j, i = \overline{1,3}, j = \overline{1,3}),$$

где  $\epsilon_{ij}^k$  ( $i = \overline{1,3}, j = \overline{1,3}$ ) – компоненты деформаций по Коши,  $u_i^k$  – проекции вектора перемещений для компоненты горной породы с номером  $k$ , при этом  $u_{i,j}^k = \frac{\partial u_i^k}{\partial x_j}$  ( $i = \overline{1,3}, j = \overline{1,3}$ ).

Для изотропных тел соотношения обобщенного закона Гука известны из курса сопротивления материалов. В принятых выше обозначениях в развернутой форме связь между компонентами тензора напряжений и деформациями по Коши имеет вид [2, 3, 6]:

$$\sigma_{11}^k = \frac{1}{E_k^{\text{сек}}} (\sigma_{11}^k - \nu_k \cdot (\sigma_{22}^k + \sigma_{33}^k)),$$

$$\sigma_{22}^k = \frac{1}{E_k^{\text{сек}}} (\sigma_{22}^k - \nu_k \cdot (\sigma_{33}^k + \sigma_{11}^k)),$$

$$\sigma_{11}^k = \frac{E_k^{\text{сек}}}{(1 + \nu_k) \cdot (1 - 2 \cdot \nu_k)} (\epsilon_{11} \cdot (1 - \nu_k) + \nu_k \cdot (\epsilon_{22} + \epsilon_{33})),$$

$$\sigma_{22}^k = \frac{E_k^{\text{сек}}}{(1 + \nu_k) \cdot (1 - 2 \cdot \nu_k)} (\epsilon_{22} \cdot (1 - \nu_k) + \nu_k \cdot (\epsilon_{11} + \epsilon_{33})),$$

$$\sigma_{33}^k = \frac{E_k^{\text{сек}}}{(1 + \nu_k) \cdot (1 - 2 \cdot \nu_k)} (\epsilon_{33} \cdot (1 - \nu_k) + \nu_k \cdot (\epsilon_{11} + \epsilon_{22})),$$

$$\sigma_{ij}^k = G_k^{\text{сек}} \cdot \epsilon_{ij}, \quad (i \neq j, i = \overline{1,3}, j = \overline{1,3}).$$

$$\epsilon_{33}^k = \frac{1}{E_k^{\text{сек}}} (\sigma_{33}^k - \nu_k \cdot (\sigma_{22}^k + \sigma_{11}^k)), \quad (4)$$

$$\epsilon_{ij}^k = \frac{1}{G_k^{\text{сек}}} \sigma_{ij}^k \quad (i \neq j, i = \overline{1,3}, j = \overline{1,3}),$$

где  $\sigma_{ii}^k$  ( $i = \overline{1,3}$ ) – нормальные напряжения,  $\sigma_{ij}^k$  ( $i \neq j, i = \overline{1,3}, j = \overline{1,3}$ ) – касательные напряжения.

Одними из основных уравнений механики твердого тела является система уравнений совместности, которая содержит шесть уравнений [3, 6]:

$$\epsilon_{ii,jj}^k + \epsilon_{jj,ii}^k - \epsilon_{ij,ij}^k = 0 \quad (i, j = 1, \dots, 3, i \neq j), \quad (5)$$

$$(\epsilon_{ij,m}^k - \epsilon_{jm,i}^k + \epsilon_{mi,j}^k)_{,i} - 2 \cdot \epsilon_{ii,jm}^k = 0,$$

$$(i, j, k = 1, \dots, 3, i \neq j \neq m).$$

Уравнения движения элементарного объема твердого тела с постоянной плотностью  $\rho$  можно записать в виде

$$\sum_{j=1}^3 \sigma_{ij,j}^k - \rho_k \cdot \ddot{u}_i^k = 0 \quad (i = 1, \dots, 3), \quad (6)$$

$$\text{где } \ddot{u}_i^k = \frac{\partial^2 u_i^k}{\partial t^2}.$$

*Эффективный обобщенный закон Гука  
для модели в среднем изотропной  
горной породы или почвы*

На первом шаге используем гипотезу Фойгта о том, что при простейшем нагружении в макроточке горной породы имеет место однородная деформация [2, 3, 6], т.е. для любой компоненты параллелепипеда верны соотношения:  $\epsilon_{ij}^k = \epsilon_{ji}^k$  ( $i = \overline{1,3}, j = \overline{1,3}$ ). Запишем закон Гука (4) для  $k$ -й компоненты элементарного параллелепипеда в виде

Для нахождения эффективных характеристик по Фойгту определим средние значения напряжений  $\langle \sigma_{ij} \rangle^V$  ( $i = \overline{1,3}$ ,  $j = \overline{1,3}$ ), действующих на все компоненты горной породы, с помощью статистического усреднения дискретных случайных величин  $\sigma_{ij}^k$  ( $i = \overline{1,3}$ ,  $j = \overline{1,3}$ ) (7):

$$\begin{aligned}\langle \sigma_{11} \rangle^V &= \sum_{k=1}^n \gamma_k \cdot \sigma_{11}^k = \frac{\langle E^{\text{cek}} \rangle^V}{(1 + \langle v \rangle^V) \cdot (1 - 2 \cdot \langle v \rangle^V)} (\epsilon_{11} \cdot (1 - \langle v \rangle^V) + \langle v \rangle^V \cdot (\epsilon_{22} + \epsilon_{33})), \\ \langle \sigma_{22} \rangle^V &= \sum_{k=1}^n \gamma_k \cdot \sigma_{22}^k = \frac{\langle E^{\text{cek}} \rangle^V}{(1 + \langle v \rangle^V) \cdot (1 - 2 \cdot \langle v \rangle^V)} (\epsilon_{22} \cdot (1 - \langle v \rangle^V) + \langle v \rangle^V \cdot (\epsilon_{11} + \epsilon_{33})), \\ \langle \sigma_{33} \rangle^V &= \sum_{k=1}^n \gamma_k \cdot \sigma_{33}^k = \frac{\langle E^{\text{cek}} \rangle^V}{(1 + \langle v \rangle^V) \cdot (1 - 2 \cdot \langle v \rangle^V)} (\epsilon_{33} \cdot (1 - \langle v \rangle^V) + \langle v \rangle^V \cdot (\epsilon_{11} + \epsilon_{22})), \\ \langle \sigma_{ij} \rangle^V &= \langle G^{\text{cek}} \rangle^V \cdot \epsilon_{ij}, \quad (i \neq j, \quad i = \overline{1,3}, \quad j = \overline{1,3}).\end{aligned}\quad (8)$$

где усредненные значения по Фойгту  $\langle E^{\text{cek}} \rangle^H$  и  $\langle v \rangle^V$  в (8) определяются выражениями

$$\langle E^{\text{cek}} \rangle^V = \left( \sum_{k=1}^n \frac{\gamma_k \cdot E_k^{\text{cek}}}{1 + v_k} \cdot \sum_{k=1}^n \frac{\gamma_k \cdot E_k^{\text{cek}}}{1 - 2v_k} \right) / \left( \sum_{k=1}^n \frac{\gamma_k \cdot E_k^{\text{cek}}}{(1 + v_k) \cdot (1 - 2v_k)} \right), \quad (9)$$

$$\langle v \rangle^V = \left( \sum_{k=1}^n \frac{\gamma_k \cdot E_k^{\text{cek}} \cdot v_k}{(1 + v_k) \cdot (1 - 2v_k)} \right) / \left( \sum_{k=1}^n \frac{\gamma_k \cdot E_k^{\text{cek}}}{(1 + v_k) \cdot (1 - 2v_k)} \right), \quad (10)$$

$$\langle G^{\text{cek}} \rangle^V = \sum_{k=1}^n \gamma_k \cdot G_k^{\text{cek}}. \quad (11)$$

Далее применим гипотезу Рейсса о том, что при простейшем нагружении в представительном объеме горной породы или грунте имеет место однородное напряженное состояние [2, 3, 6], т.е. для любой компоненты выбранного параллелепипеда верны соотношения:  $\sigma_{ij}^k = \sigma_{ij}$  ( $i = \overline{1,3}$ ,  $j = \overline{1,3}$ ). Подставляя их в (4), запишем закон Гука для  $k$ -й компоненты элементарного параллелепипеда:

$$\begin{aligned}\epsilon_{11}^k &= \frac{1}{E_k^{\text{cek}}} (\sigma_{11} - v_k \cdot (\sigma_{22} + \sigma_{33})), \quad \epsilon_{22}^k = \frac{1}{E_k^{\text{cek}}} (\sigma_{22} - v_k \cdot (\sigma_{11} + \sigma_{33})), \\ \epsilon_{33}^k &= \frac{1}{E_k^{\text{cek}}} (\sigma_{33} - v_k \cdot (\sigma_{11} + \sigma_{22})), \\ \epsilon_{ij}^k &= \frac{1}{G_k^{\text{cek}}} \cdot \sigma_{ij}, \quad (i \neq j, \quad i = \overline{1,3}, \quad j = \overline{1,3}).\end{aligned}\quad (12)$$

Для нахождения эффективных характеристик по Рейссу определим средние значения деформаций  $\langle \epsilon_{ij} \rangle^R$  ( $i = \overline{1,3}$ ,  $j = \overline{1,3}$ ) по всем компонентам горной породы в элементарном параллелепипеде с помощью статистического усреднения дискретных случайных величин  $\epsilon_{ij}^k$  ( $i = \overline{1,3}$ ,  $j = \overline{1,3}$ ) (12):

$$\begin{aligned}\langle \epsilon_{11} \rangle^R &= \sum_{k=1}^n \gamma_k \cdot \epsilon_{11}^k = \frac{1}{\langle E^{\text{cek}} \rangle^R} (\sigma_{11} - \langle v \rangle^R \cdot (\sigma_{22} + \sigma_{33})), \\ \langle \epsilon_{22} \rangle^R &= \sum_{k=1}^n \gamma_k \cdot \epsilon_{22}^k = \frac{1}{\langle E^{\text{cek}} \rangle^R} (\sigma_{22} - \langle v \rangle^R \cdot (\sigma_{11} + \sigma_{33})), \\ \langle \epsilon_{33} \rangle^R &= \sum_{k=1}^n \gamma_k \cdot \epsilon_{33}^k = \frac{1}{\langle E^{\text{cek}} \rangle^R} (\sigma_{33} - \langle v \rangle^R \cdot (\sigma_{11} + \sigma_{22})),\end{aligned}\quad (13)$$



$$\langle \epsilon_{ij} \rangle^R = \frac{1}{\langle G^{\text{сек}} \rangle^R} \sigma_{ij}, (i \neq j, i = \overline{1,3}, j = \overline{1,3}),$$

где усредненные значения  $\langle E \rangle^R$  и  $\langle v \rangle^R$  в (21)–(24) определяются выражениями

$$\langle E^{\text{сек}} \rangle^R = 1 / \left( \sum_{k=1}^n \frac{\gamma_k}{E_k^{\text{сек}}} \right), \quad (14)$$

$$\langle v \rangle^R = \left( \sum_{k=1}^n \frac{\gamma_k \cdot v_k}{E_k^{\text{сек}}} \right) / \left( \sum_{k=1}^n \frac{\gamma_k}{E_k^{\text{сек}}} \right), \quad (15)$$

$$\langle G^{\text{сек}} \rangle^R = \left( \sum_{k=1}^n \frac{\gamma_k}{G_k^{\text{сек}}} \right)^{-1}. \quad (16)$$

Как установлено в работах [2, 3, 6], эффективное приближение свойств композиционных материалов для практических целей может с достаточной точностью ограничиваться вычислением приближения Хилла модуля Юнга  $\langle E^{\text{сек}} \rangle^H$ , модуля сдвига  $\langle G^{\text{сек}} \rangle^H$  и коэффициента Пуассона  $\langle v \rangle^H$ , полученных как среднее арифметическое значение (9)–(11), а также (14)–(16):

$$\begin{aligned} \langle E^{\text{сек}} \rangle^H &= \frac{1}{2} (\langle E^{\text{сек}} \rangle^V + \langle E^{\text{сек}} \rangle^R), \\ \langle v \rangle^H &= \frac{1}{2} (\langle v \rangle^V + \langle v \rangle^R), \\ \langle G^{\text{сек}} \rangle^H &= \frac{1}{2} (\langle G^{\text{сек}} \rangle^V + \langle G^{\text{сек}} \rangle^R). \end{aligned} \quad (17)$$

*Эффективные уравнения неразрывности деформаций и движения элементарного объема в среднем изотропной упругой горной породе*

Целью исследования данного раздела является обоснование того, что с помощью вычисленных эффективных значений можно решать геомеханические задачи.

Отметим также, что в силу линейности решаемой задачи для горной породы или грунта в рамках построенной модели любую динамическую задачу для весоного массива породы или почвы можно представить как простую суперпозицию решения динамической задачи для невесоной среды с механическими характеристиками породы и статической задачи для весоного слоя с теми же механическими характеристиками.

Поэтому в данном разделе рассматриваются уравнения динамики только для не-

весомого тела с механическими характеристиками породы.

Не повторяя известные результаты работы [3], посвященной механике композиционных тел, можно записать, что для представительного объема в среднем изотропной модели горной породы или грунта уравнения совместности деформаций для эффективных деформаций  $\langle \epsilon_{ij} \rangle$  принимают вид

$$\begin{aligned} \langle \epsilon_{ii} \rangle_{,jj} + \langle \epsilon_{jj} \rangle_{,ii} - \langle \epsilon_{ij} \rangle_{,ij} &= 0 \\ (i, j = 1, \dots, 3, i \neq j), \end{aligned} \quad (18)$$

$$\left( \langle \epsilon_{ij} \rangle_{,m} - \langle \epsilon_{jm} \rangle_{,i} + \langle \epsilon_{mi} \rangle_{,j} \right)_{,i} - 2 \cdot \langle \epsilon_{ii} \rangle_{,jm} = 0,$$

$$(i, j, m = 1, \dots, 3, i \neq j \neq m).$$

Уравнения движения для эффективных напряжений  $\langle \sigma_{ij} \rangle$ , вычисленных для представительного объема, приобретут вид [3]:

$$\sum_{j=1}^3 \langle \sigma_{ij} \rangle_{,j} - \langle \rho \rangle^H \cdot \frac{\partial^2 \langle u_i \rangle}{\partial t^2} \approx 0, (i = 1, \dots, 3), \quad (19)$$

где эффективную плотность породы или грунта по Хиллу  $\langle \rho \rangle^H$  можно определить по формуле

$$\langle \rho \rangle^H = \frac{1}{2} \left( \sum_{k=1}^n \gamma_k \cdot \rho_k + \left( \sum_{k=1}^n \frac{\gamma_k}{\rho_k} \right)^{-1} \right).$$

*Эффективные уравнения динамики для горной породы или грунта*

Уравнения (18) и (19) в совокупности с (17) позволяют методически просто повторить вывод уравнений динамики для породы или грунта с учетом дополнительного неопределенного параметра  $\langle G^{\text{сек}} \rangle^H$  (модуля сдвига) по аналогии с эффективными уравнениями композиционной среды [2, 3].

Опустим вывод эффективных уравнений в напряжениях Бельтрами – Митчелла и продемонстрируем влияние третьего свободного параметра  $\langle G^{\text{сек}} \rangle^H$  на уравнения Ламе.

Для вывода эффективных динамических уравнений Ламе теории упругости горной в среднем изотропной породы с тремя независимыми параметрами,  $\langle E^{\text{сек}} \rangle^H$ ,  $\langle G^{\text{сек}} \rangle^H$  и  $\langle v \rangle^H$  в дальнейшем понадобятся обратные соотношения, когда напряжения выражены через деформации по Коши [3]:

$$\langle \sigma_{ii} \rangle \approx \frac{\langle E^{\text{сек}} \rangle^H}{(1 + \langle v \rangle^H)} \cdot \langle \epsilon_{ii} \rangle + \langle \lambda^{\text{сек}} \rangle^H \cdot \langle \Theta \rangle (i = 1, \dots, 3), \quad (20)$$

$$\langle \sigma_{ij} \rangle \approx \langle G^{\text{cek}} \rangle^H \cdot \langle \epsilon_{ij} \rangle \quad (i \neq j, \quad i, j = 1, \dots, 3),$$

$$\langle \Theta \rangle = \langle \epsilon_{11} \rangle + \langle \epsilon_{22} \rangle + \langle \epsilon_{33} \rangle = \frac{1 - 2 \cdot \langle \nu \rangle^H}{\langle E^{\text{cek}} \rangle^H} (\langle \sigma_{11} \rangle + \langle \sigma_{22} \rangle + \langle \sigma_{33} \rangle) = \frac{1}{\langle K^{\text{cek}} \rangle^H} \cdot \langle \sigma \rangle,$$

где

$$\langle \lambda^{\text{cek}} \rangle^H = \frac{\langle \nu \rangle^H \cdot \langle E^{\text{cek}} \rangle^H}{(1 + \langle \nu \rangle^H) \cdot (1 - 2 \cdot \langle \nu \rangle^H)}, \quad \langle K^{\text{cek}} \rangle^H = \frac{\langle E^{\text{cek}} \rangle^H}{3 \cdot (1 - 2 \cdot \langle \nu \rangle^H)}.$$

Используя эффективные уравнения равновесия (19), эффективные уравнения обобщенного закона Гука в форме (20), а также очевидную связь средних по представительному объему (в смысле операций (1) и (2)) деформаций и перемещений в виде

$$\langle \epsilon_{ii} \rangle = \langle u_i \rangle_{,i} \quad (i = \overline{1,3}), \quad \langle \epsilon_{ij} \rangle = \langle u_i \rangle_{,j} + \langle u_j \rangle_{,i} \quad (i \neq j, \quad i = \overline{1,3}, \quad j = \overline{1,3}),$$

можно получить эффективные уравнения Ламе, совершенно аналогично известной системе для однородного изотропного материала [3], которые можно записать с использованием оператора Лапласа в виде

$$\left( \langle \lambda^{\text{cek}} \rangle^H + \langle G^{\text{cek}} \rangle^H \right) \langle \Theta \rangle_{,i} + \langle G^{\text{cek}} \rangle^H \cdot \Delta \langle u_i \rangle + \left( \frac{\langle E^{\text{cek}} \rangle^H}{1 + \langle \nu \rangle^H} - 2 \cdot \langle G^{\text{cek}} \rangle^H \right) \cdot \langle u_i \rangle_{,ii} -$$

$$- \langle \rho \rangle^H \cdot \frac{\partial^2 \langle u_i \rangle}{\partial t^2} = 0. \quad (21)$$

Эта система уравнений может быть получена из соответствующей системы уравнений Ламе для упругого ортотропного материала, в котором по всем трем направлениям положены одинаковые, но независимые 3 коэффициента упругости  $\langle E^{\text{cek}} \rangle^H$ ,  $\langle G^{\text{cek}} \rangle^H$  и  $\langle \nu \rangle^H$ .

Совершенно аналогичный результат можно получить и для динамических уравнений Бельтрами – Митчелла, которые в данном случае также будут прямым следствием уравнений упругого ортотропного тела, решаемых всеми известными программами конечноэлементного анализа.

*Определение скорости распространения волн в горных породах и почвах, имеющих в качестве независимых три параметра упругости*

Отметим, что получение стандартного волнового уравнения, как это делалось в [3], невозможно. Однако можно использовать подход, изложенный в [9].

Предварительно продифференцируем каждое уравнение (21) по соответствующей координате  $x_i$  и сложим результаты:

$$\left( \langle \lambda^{\text{cek}} \rangle^H + 2 \cdot \langle G^{\text{cek}} \rangle^H \right) \Delta \langle \Theta \rangle_{,ii} +$$

$$+ \left( \frac{\langle E^{\text{cek}} \rangle^H}{1 + \langle \nu \rangle^H} - 2 \cdot \langle G^{\text{cek}} \rangle^H \right) \cdot \sum_{i=1}^3 \langle \epsilon_{ii} \rangle_{,ii} - \langle \rho \rangle^H \cdot \frac{\partial^2 \langle \Theta \rangle}{\partial t^2} = 0. \quad (22)$$

Применим метод разделения переменных для изучения волнового уравнения (22). Пусть  $\epsilon_{ii}(\mathbf{x}, t)$  можно представить в виде

$$\epsilon_{ii}(\mathbf{x}, t) = \epsilon_{ii}^0(\mathbf{x}) \cdot \varphi(t), \quad (23)$$

где

$$\epsilon_{ii}^0(\mathbf{x}) = - \left( \frac{\Lambda}{2\pi} \right)^2 \cdot \epsilon_{ii,jj}^0(\mathbf{x}), \quad (24)$$

$\varphi(t)$  – безразмерная функция времени,  $\Lambda$  – максимальная длина объемной волны.

Подставляя (23) и (24) в (22), получаем дифференциальное уравнение для  $\varphi(t)$  в виде

$$\ddot{\varphi}(t) + \langle B \rangle^2 \cdot \varphi(t) = 0,$$

где  $\langle B \rangle$  – эффективная циклическая частота колебаний породы или грунта, квадрат которой определяется уравнением

$$\langle B \rangle^2 = \frac{1}{\langle \rho \rangle^H} \left( \langle \lambda^{\text{сек}} \rangle^H + 2 \cdot \langle G^{\text{сек}} \rangle^H + 3 \cdot \left( \frac{\langle E^{\text{сек}} \rangle^H}{1 + \langle \nu \rangle^H} - 2 \cdot \langle G^{\text{сек}} \rangle^H \right) \right) \cdot \left( \frac{2\pi}{\Lambda} \right)^2.$$

В этом случае эффективная скорость распространения объемной волны  $\langle \nu \rangle$  будет определяться уравнением

$$\langle \nu \rangle = B \cdot \frac{\Lambda}{2\pi} = \sqrt{\frac{1}{\langle \rho \rangle^H} \left( \langle \lambda^{\text{сек}} \rangle^H + 2 \cdot \langle G^{\text{сек}} \rangle^H + 3 \cdot \left( \frac{\langle E^{\text{сек}} \rangle^H}{1 + \langle \nu \rangle^H} - 2 \cdot \langle G^{\text{сек}} \rangle^H \right) \right)}.$$

Учитывая, гипотезу о том, что  $\langle G \rangle / \left( \frac{\langle E \rangle}{2 \cdot (1 + \langle \nu \rangle)} \right) \approx 0,05$  [4–6] можно получить, для геомеханических расчетов всего массива над выработкой следует использовать другую формулу определяющую эффективную скорость волны в горной породе  $\langle \nu \rangle^{\text{geo}}$  с учетом специфического пластического состояния массива, соответствующего закону Мора-Кулона на некотором удалении от поверхности Земли и границы выработки:

$$\langle \nu \rangle^{\text{geo}} \approx \sqrt{\frac{1}{\langle \rho \rangle^H} \left( \langle \lambda^{\text{сек}} \rangle^H + 3 \cdot \frac{\langle E^{\text{сек}} \rangle^H}{1 + \langle \nu \rangle^H} \right)}.$$

Необходимо отметить, что найденные приближения скоростей распространения объемной волны в горной породе основаны на линеаризованных уравнениях состояния и той гипотезе, что эффективный секущий модуль Юнга  $\langle E^{\text{сек}} \rangle^H$  и эффективный секущий модуль сдвига  $\langle G^{\text{сек}} \rangle^H$ , вычисленные по реализации линеаризованных законов деформирования компонент породы или почвы, совпадают с достаточной точностью с секущими линеаризующими модулями, полученным прямым испытанием представительного объема породы или почвы.

### Заключение

Впервые предложен метод теоретической оценки линеаризованных механических свойств горных пород или почв для трех независимых параметров (модуля Юнга почвы, модуля сдвига, коэффициента Пуассона). Метод основан на линеаризации диаграммы деформирования каждой из

компонент и на применении оценки Хилла упругих свойств горной породы или почвы, по аналогии с механикой композиционных, в среднем изотропных материалов.

В работе получены эффективные уравнения динамики горной породы в перемещениях на основе упругих уравнений состояния в среднем изотропной среды с тремя независимыми эффективными модулями, имеющими одинаковые значения во всех трех направлениях. Установлено, что структура уравнений полностью сохраняется такой же, как и в однородном случае для однородного тела с точностью до замены деформаций, напряжений и перемещений на средние по представительному объему горной породы или почвы величины. При этом в качестве усредненных упругих характеристик необходимо использовать полученные средние значения по Хиллу (17) модуля Юнга, модуля сдвига, коэффициента Пуассона и плотности (19).

Установлено, что теоретическое определение эффективной скорости распространения волны в горном массиве существенно зависит от всех трех параметров (эффективных модуля Юнга, модуля сдвига и коэффициента Пуассона). Ошибка определения эффективной скорости для изотропного материала (для двух независимых параметров упругости) в 1,5 раза превосходит ошибку гипотезы о вычисляемости модуля сдвига через модуль Юнга и коэффициент Пуассона и, например, на проволоке из чугунов может достигать 30% [10].

Результаты данных исследований позволяют решать задачи геомеханики и строительства с помощью стандартного конечноэлементного обеспечения, например ANSYS.

Установлено, что при решении задач геомеханики, когда модуль Юнга, коэффициент Пуассона и модуль сдвига не связаны между собой известными соотношениями, в стандартных программах конечноэлементных расчетов следует пользоваться моделью ортотропного материала, однако следует задавать упругие характеристики в различных направлениях наборами из трех одних и тех же независимых значений (модуля Юнга, коэффициента Пуассона и модуля сдвига).

Исследования, изложенные в данной статье, позволяют определять эффективные свойства пород и почв по результатам подбора значений модуля Юнга горного массива на уже существующем объекте и использовать эти результаты в качестве прогноза при проектировании соседних аналогичных объектов, так как в этом случае при подборе значений инженер будет фактически выполнять теоретическое определение эффективных линеаризованных свойств горной среды по результатам наблюдений поведения объекта, находящегося в сходных условиях эксплуатации.

#### Список литературы / References

1. Петроченков Р.Г. Оценка физико-технических свойств горных пород и строительных композитов на их основе. Часть 2. Деформационные свойства горных пород и композитов в квазиизотропном приближении свойств их составляющих. М.: МГУ, 2000. 111 с.
2. Tarasjuk I.A., Kravchuk A.S. Evaluation of the physico-technical properties of rocks and building composites based on them. Part 2. Deformation properties of rocks and composites in the quasi-isotropic approximation of the properties of their components. M.: MGGU, 2000. 111 p. (in Russian).
3. Тарасюк И.А., Кравчук А.С. Вычисление эффективных параметров упругости в среднем изотропных композиционных тел в случае записи закона Гука для тензора деформаций по Коши // APRIORI. Серия: Естественные и технические науки. 2015. № 3 [Электронный ресурс]. URL: <http://apriori-journal.ru/seria2/3-2015/Tarasjuk-Kravchuk.pdf> (дата обращения: 17.10.2018).
4. Tarasjuk I.A., Kravchuk A.S. Calculation of the effective elastic parameters of the average isotropic composite bodies in the case of Hooke's law for the Cauchy strain tensor // APRIORI. Serija: Estestvennye i tehicheskie nauki. 2015. № 3 [Electronic resource]. URL: <http://apriori-journal.ru/seria2/3-2015/Tarasjuk-Kravchuk.pdf> (date of access: 17.10.2018) (in Russian).
5. Кравчук А.С., Кравчук А.И. Эффективные уравнения динамики композиционного твердого в среднем изотропно-упругого тела // Вестник Бурятского государственного университета. Математика, информатика. 2018. № 2. С. 63–76. DOI: 10.18101/2304-5728-2018-2-63-76.
6. Kravchuk A.S., Kravchuk A.I. Effective equations of the dynamics of a composite solid for average isotropic elastic body // Vestnik Burjatskogo gosudarstvennogo universiteta. Matematika, informatika. 2018. № 2. P. 63–76 (in Russian).
7. Гавриленко Ю.Н., Маланчук Е.О., Мотылев И.В. Численное моделирование процессов сдвижения над короткими лавами с межлавым целиком // Научные труды УкрНДМИ НАН Украины. № 3. 2008. С. 52–60.
8. Gavrilenko Ju.N., Malanchuk E.O., Motylev I.V. Numerical simulation of displacement processes over short lavas with a full head // Nauchnye trudy UkrNDMI NAN Ukrainy. № 3. 2008. P. 52–60 (in Russian).
9. Строкова Л.А. Моделирование оседания поверхности при проходке туннеля щитовым способом // Известия Томского политехнического университета. 2008. Т. 312. № 1. С. 45–50.
10. Strokov L.A. Simulation of surface subsidence during tunneling using shield method // Izvestija Tomsogo politehnicheskogo universiteta. 2008. T. 312. № 1. P. 45–50 (in Russian).
11. Гавриленко Ю.Н. Численное моделирование процессов сдвижения массива горных пород и земной поверхности методом конечных элементов в объемной постановке // Физико-технические проблемы горного производства. 2001. № 3. С. 12–25.
12. Gavrilenko Ju.N. Numerical modeling of the displacement of an array of rocks and the earth's surface using the finite element method in a volumetric formulation // Fiziko-tehnicheskie problemy gornogo proizvodstva. 2001. № 3. P. 12–25 (in Russian).
13. Садовская О.В., Садовский В.М. Математическое моделирование в задачах механики сыпучих сред. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2008. 368 с.
14. Sadovskaja O.V., Sadovskiy V.M. Mathematical modeling in problems of mechanics of flowing media. M.: FIZMATLIT, 2008. 368 p. (in Russian).
15. Певзнер М.Е., Иофис М.А., Попов В.Н. Геомеханика. М.: МГУ, 2008. 438 с.
16. Pevzner M.E., Iofis M.A., Popov V.N. Geomechanics. M.: MGGU, 2008. 438 p. (in Russian).
17. Кравчук А.С., Кравчук А.И., Смалюк А.Ф. Пространственные уравнения механики композиционного твердого тела для моделей вязкоупругости, содержащих в одномерном случае два упругих и один вязкий элемент // Инженерный вестник Дона. 2018. № 3 [Электронный ресурс]. URL: [ivdon.ru/magazine/ archive/n3y2018/5155](http://ivdon.ru/magazine/archive/n3y2018/5155) (дата обращения: 17.10.2018).
18. Kravchuk A.S., Kravchuk A.I., Smaljuk A.F. Spatial equations of the mechanics of a composite solid for viscoelasticity models containing, in the one-dimensional case, two elastic and one viscous element // Inzhenernyj vestnik Dona. 2018. № 3 [Электронный ресурс]. URL: [ivdon.ru/magazine/ archive/n3y2018/5155](http://ivdon.ru/magazine/ archive/n3y2018/5155) (дата обращения: 17.10.2018) (in Russian).
19. Модуль упругости Юнга и сдвига, коэффициент Пуассона значения (таблица). Сайт InfoTables.ru [Электронный ресурс]. URL: <http://infotables.ru/fizika/295-uprugie-svoystva-tel> (дата обращения: 17.10.2018).
20. Module of elasticity of Jung and shift, Poisson's coefficient of value (table). Website InfoTables.ru [Electronic resource]. URL: <http://infotables.ru/fizika/295-uprugie-svoystva-tel> (date of access: 17.10.2018) (in Russian).

УДК 504.453(574)

## ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ ВОДОСБОРНОГО БАСЕЙНА РЕКИ ИШИМ НА ТЕРРИТОРИИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН В УСЛОВИЯХ ВЕСЕННЕГО ПОЛОВОДЬЯ ЗА ПЕРИОД 2002–2017 ГГ.

Мезенцева О.В., Ломакина С.С.

ФГБОУ ВО «Омский государственный педагогический университет», Омск,

e-mail: mezolga@yandex.ru, svetik.lighting@mail.ru

Обеспеченность Республики Казахстан важнейшим стратегическим ресурсом – пресной водой – низкая. С недостаточной водообеспеченностью связана острота водной проблемы, у которой несколько граней. Во-первых, водные ресурсы невелики, так как страна расположена в аридной зоне Евразии. Во-вторых, главным источником водоснабжения являются поверхностные воды. Но забирать из них можно меньше половины имеющихся ресурсов. Кроме этого, запасы пресных вод крайне неравномерно размещены на территории страны. Их величина сильно меняется по годам в зависимости от климатических условий. Также главные водные артерии страны являются трансграничными. За последние 10 лет на территории Северного Казахстана в бассейне р. Ишим участились случаи резкого увеличения стока воды в период весеннего половодья, и в результате наводнений 2014 и 2016 гг. некоторым населенным пунктам в бассейне реки Ишим был нанесен значительный экономический ущерб. В целях установления потенциальных причин данного явления выявлены геоэкологические и физико-географические особенности водосбора данной реки, при этом более подробно рассмотрен режим реки с акцентом на период половодья. Осложняет ведение хозяйства и то, что Акмолинская область (бассейн р. Ишим, правый приток р. Иртыш) за последние 10 лет страдает от паводков практически ежегодно. Равнинный рельеф, плодородие почвы и благоприятные климатические условия способствуют развитию сельского хозяйства на данной территории, однако ежегодные наводнения существенно тормозят социально-экономическое развитие данного аграрного региона, а геоэкологический мониторинг водосборной территории р. Ишим и ее притоков является актуальной задачей.

**Ключевые слова:** половодье, расход воды, корреляция, годовое количество осадков, водосборный бассейн

## GEOECOLOGICAL MONITORING OF THE CATCHMENT BASIN OF THE ISHIM RIVER IN THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN DURING THE SPRING FLOOD FOR THE PERIOD OF 2002–2017

Mezentseva O.V., Lomakina S.S.

Omsk State Pedagogical University, Omsk, e-mail: mezolga@yandex.ru, svetik.lighting@mail.ru

Kazakhstan has low availability of the most important strategic resource – fresh water. The lack of water protection is associated with the severity of the water problem, which has several facets. First, water resources are small, because the country is located in the arid zone of Eurasia. Secondly, the main source of water supply is surface water. But you can take from them less than half of the available resources. In addition, freshwater reserves are extremely unevenly distributed throughout the country. Their size varies greatly from year to year depending on climatic conditions. Also, the main water arteries of the country are transboundary. Over the past 10 years, in the territory of Northern Kazakhstan in the basin of the Ishim river there have been frequent cases of a sharp increase in water flow during the spring flood, and as a result of the floods in 2014 and 2016, some localities in the Ishim basin suffered significant economic damage. In order to establish the potential causes of this phenomenon, the geoecological and physico-geographical features of the catchment of this river were identified, and the regime of the river was considered in more detail with an emphasis on the flood period. Complicating the management and the fact that the Akmola region (the Ishim river basin, the right tributary of the Irtysh river) has been suffering from floods almost every year over the past 10 years. The flat terrain, soil fertility and favorable climatic conditions contribute to the development of agriculture in this area, however, annual floods significantly impede the socio-economic development of this agrarian region. And geo-ecological monitoring of the catchment area of the Ishim and its tributaries is an urgent task.

**Keywords:** flood, water consumption, correlation, annual precipitation, catchment basin

Наводнение – это сложное явление, на которое могут влиять факторы, связанные с природными, социально-экономическими и климатическими тенденциями. Влияние климата на формирование стока половодья может быть доминирующим фактором во многих речных бассейнах, даже если при этом наблюдается существенное антропогенное влияние. Так, увеличение интенсивности осадков может стать причиной катастрофических наводнений. В зависимости от площа-

ди затопления и нанесенного материального ущерба выделяют наводнения низкие, высокие, выдающиеся и катастрофические.

В последние полтора десятилетия на территории Северного Казахстана увеличались случаи весенних наводнений, которые по повторяемости можно отнести к низким (малым) наводнениям, характерным для равнинных рек. Согласно классификации, периодичность таких наводнений – один раз в 10–15 лет, при этом заливаются во-



дой не более 10% земель, расположенных в низких местах [1]. Как правило, низкие наводнения не связаны со значительными материальными потерями и человеческими жертвами. Однако затопления территорий на некоторых притоках р. Ишим стали повторяться чаще и приводят к затоплению больших площадей в долинах рек, что связано с необходимостью частичной эвакуации населения и материальных ценностей.

Вопросу изучения гидрологических особенностей территории бассейна р. Ишим посвящено много исследований, при этом часто норма стока приводится исходя из многолетних данных за период до 1990–2000 гг., тем самым современное состояние рек и их изменения не учитываются. Научная новизна исследования заключается в проведении анализа гидролого-климатических данных за период с 2002 по 2016 г., а также в составлении гидрографов и графиков, основанных на актуальных данных.

Цель исследования: провести анализ гидрологических и климатических данных за последние 16 лет для бассейна р. Ишим в пределах Северного Казахстана и выявить влияние факторов стока на сток половодья в отдельные годы за 2002–2017 гг.

## Материалы и методы исследования

В качестве основных методов использовались: эколого-географический анализ для выявления особенностей водосборного бассейна р. Ишим, картографический метод и метод ГИС-технологий для составления карт рельефа и анализа гидрографической сети региона. При обработке материала использовались возможности расшифровки дистанционных снимков с помощью ArcGIS 10.1. Также для составления картографического материала и его анализа использованы космические снимки и топографические карты, полученные с помощью приложения SASPlanet. Характеристика стока основывается на анализе данных за 16 лет. Основными источниками информации послужили данные режимных наблюдений РГП «Казгидромет» Министерства энергетики Республики Казахстан на гидропостах в бассейне р. Ишим на территории Северного Казахстана, полученные в результате официального запроса [2, 3]. Расчет и обработка цифровых данных о расходе воды и годовом количестве осадков проводились в программном средстве MicrosoftExcel.

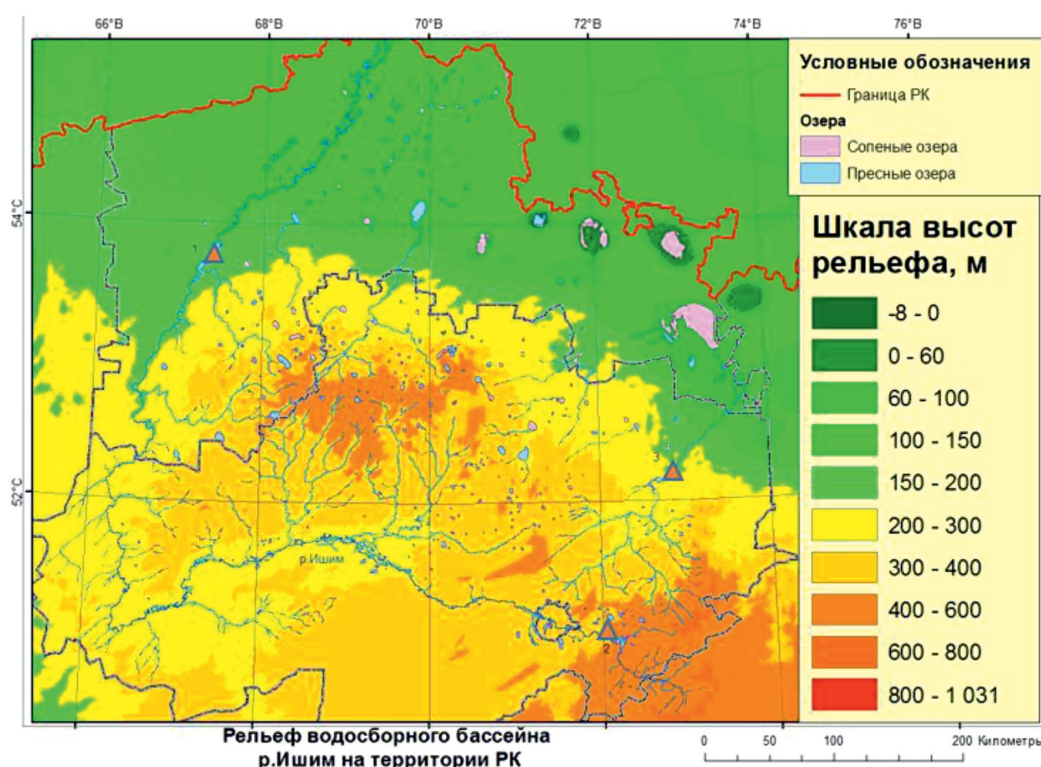


Рис. 1. Рельеф водосборного бассейна р. Ишим

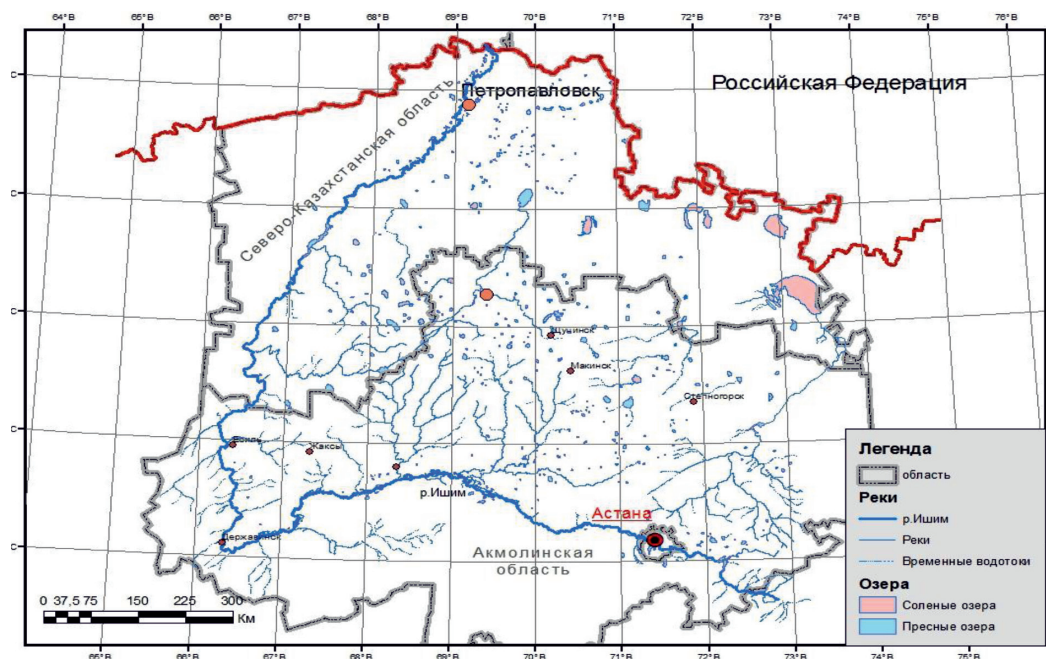


Рис. 2. Гидрографическая сеть бассейна р. Ишим

### Результаты исследования и их обсуждение

В ходе проведенного геоэкологического мониторинга бассейна р. Ишим на территории Северного Казахстана были определены геоэкологические и физико-географические особенности водосбора – общий наклон рельефа водосборного бассейна оказывает влияние на формирование различий в характеристике участков реки в верхнем и среднем течении. Различия в рельефе представлены на рис. 1.

Согласно карте рельефа водосборного бассейна р. Ишим на территории Республики Казахстан, наибольшие высотные отметки сконцентрированы на возвышениях Сарыарки, охватывающих северную часть Акмолинской области. Именно отсюда берут начало крупные правые притоки р. Ишим, которые впадают в нее в среднем течении (рис. 2). Далее к северу, ниже по течению, река протекает по низменной территории, с отметками высот 60–150 м. Крупных притоков на данной территории Северо-Казахской равнины река не получает. Именно здесь, в низинной части бассейна, формируется ряд озер (Силетытениз, Жалаулы, Калибек, Теке, Улькен-Караой и др.), которые имеют ряд общих особенностей: бессточность, мелководность, резкие

изменения уровней и объемов воды в течение года, повышенная минерализация воды в отдельные периоды. Озера севера Казахстана пресные, однако имеется значительное количество и засоленных озер. Состав солей и степень засоления самые различные – от слегка солоноватых и горьковатых до очень горьких озер, дающих в сухие годы самосадочную соль [4].

Как видно на рис. 1 и 2, наибольшая густота притоков наблюдается справа по течению р. Ишим. Самыми значительными притоками по водности и длине являются реки Колутон, Жабай, Терисаккан и др. Длина реки в пределах Северного Казахстана составляет 1400 км. На реке и ее притоках функционируют 3 водохранилища – Вячеславское и Сергеевское с объемом 0,4 и 0,7 км<sup>3</sup> соответственно, Селетинское на реке Силеты (правый приток р. Ишим) – с объемом 0,4 км<sup>3</sup>.

Ишим относится к типу рек со смешанным и преимущественно снеговым питанием, дающим более 80% годового стока. В связи с исключительной ролью снега в процессе формирования поверхностного стока основной фазой водного режима является резко выраженное весеннее половодье, начало которого обычно приходится на 10–12 апреля, а пик – на третью декаду апреля, и характеризуется длинной устой-

чивой меженью. В г. Астане до появления Вячеславского водохранилища оно началось в среднем 10 апреля, пик проходил 16 апреля, а заканчивалось половодье 20 мая. В отдельные годы начало весеннего пика уровней отмечалось и в конце марта, и в конце апреля. Пик иногда проходил уже в самом начале апреля (1944, 1961 гг.), а в поздние весны он бывал только в первых числах мая. Заканчивалось половодье и в конце апреля (1961 г.), и в конце июня (1949 г.) [5]. По данным за последние 16 лет пик наводнения все чаще приходится на первую декаду апреля (2007, 2014 гг.). На рис. 3 представлена динамика расхода воды за 2014 г. [2].

Большая внутригодовая неравномерность режима стока (рис. 3) характерна для рек засушливого Казахстана и сопряжена со значительной многолетней изменчивостью стока. Годовые объемы стока в многоводный год могут превышать сток маловодного года более чем в 100 раз. Спад половодья растягивается до середины июля. Весенний снеговой сток, проходящий на реках со второй половины марта до третьей декады апреля, составляет в среднем около 90 %

годового стока. У временных водотоков удельный вес стока весеннего сезона в годовом цикле достигает 97–100 %. Длительность половодья колеблется в среднем от 10 до 30 дней.

Одной из особенностей многолетнего хода стока р. Ишим является тенденция группировки многоводных и маловодных лет, что значительно осложняет его использование в народном хозяйстве. Данная тенденция прослеживается на одном из притоков р. Ишим – реке Жабай с гидропостом в устье р. Жабай. Для подтверждения данные представлены на рис. 4 [3].

Анализ данных гидрографа за период 2002–2016 гг. показал, что максимальный расход воды 45 м<sup>3</sup>/с пришелся на 2014 г., а минимальный расход воды сохранялся в течение 3 лет: 2006, 2008, 2009 гг. (от 3,29 м<sup>3</sup>/с до 3,79 м<sup>3</sup>/с). Таким образом, разница расхода воды между многоводным и маловодным годами составляет порядка 41,71 м<sup>3</sup>/с. Полученные данные позволяют выделить за последние 15 лет многоводные годы – 2002 г., 2014 г. – и маловодный период – с 2006 по 2013 г.



Рис. 3. Гидрограф стока за 2014 г., построенный по средним месячным значениям

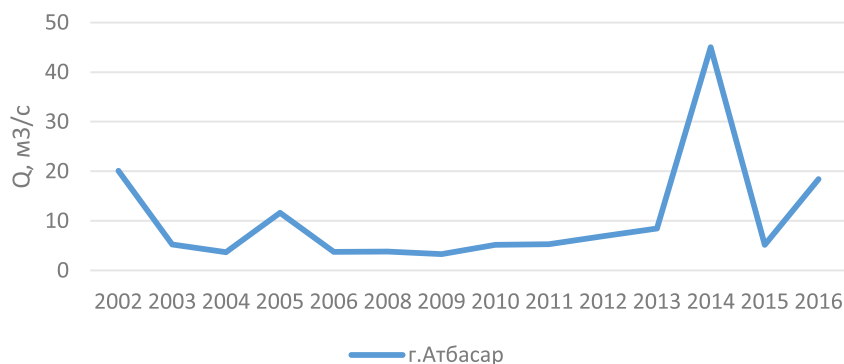


Рис. 4. Изменчивость годового стока р. Ишим за период 2002–2016 гг.

Годовое количество осадков за период 2002–2017 гг.

| Год  | Сумма осадков, мм | Количество осадков умеренно-засушливой степи, мм | Год  | Сумма осадков, мм |
|------|-------------------|--------------------------------------------------|------|-------------------|
| 2002 | 303,2             | 300–330                                          | 2010 | 185,8             |
| 2003 | 306,8             | 300–330                                          | 2011 | 287,9             |
| 2004 | 237,5             | 300–330                                          | 2012 | 256,5             |
| 2005 | 329               | 300–330                                          | 2013 | 513,5             |
| 2006 | 320,3             | 300–330                                          | 2014 | 299,4             |
| 2007 | 246,2             | 300–330                                          | 2015 | 404,2             |
| 2008 | 258,7             | 300–330                                          | 2016 | 359,7             |
| 2009 | 294,2             | 300–330                                          | 2017 | 282,7             |

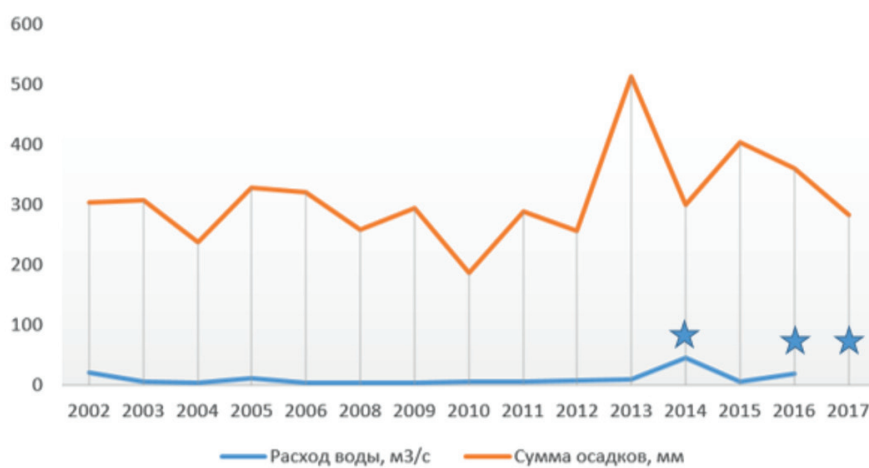


Рис. 5. Корреляция среднего за год расхода воды и количества выпавших осадков за период 2002–2017 гг.

Климатические показатели (осадки, влажность воздуха) на территории водосбора изменяются незначительно, но имеет место различие условий осеннего увлажнения, зимнего промерзания и интенсивности весеннего снеготаяния, что оказывает влияние на уровни половодья в отдельные годы [6]. За исследуемый период существенно изменялось годовое количество осадков в районе г. Атбасар, расположенного на правом берегу р. Ишим в его среднем течении. Можно отметить некоторые отклонения количества осадков от нормы, характерной для степной зоны, где расположено среднее течение р. Ишим.

Согласно данным [3], максимальное количество осадков пришлось на 2013 г. и 2015 г. – 513,5 мм/год и 404,2 мм/год соответственно. Эти показатели превышают среднюю норму примерно на 100–200 мм. Минимальное количество зафиксировано в 2010 г. – 185,8 мм/год, что почти в 2 раза ниже среднего многолетнего показателя.

В целях выявления прямой зависимости многоводных и маловодных лет от количества выпавших осадков, целесообразно провести корреляцию между средним за год расходом воды и годовым количеством осадков (рис. 5).

Анализируя вышеприведенные данные, можно увидеть значительные колебания в годовом количестве осадков за рассмотренный период. При этом на графике отмечены годы, в которые отмечалось значительное повышение уровня воды в период весеннего половодья, приводящее к затоплению жилых территорий (2014, 2016, 2017). Как правило, этим годам предшествовали годы с повышенным количеством выпадения осадков, например, годовая сумма осадков 2013 г. – 513,5 мм/год, и в 2014 г. средний расход воды 45 м<sup>3</sup>/с). Однако, сравнивая данные между расходом воды и количеством осадков в маловодные периоды, отмечены и некоторые различия.



### Заключение

Проведенный анализ позволяет выделить за последние 16 лет многоводные годы – 2002, 2014, 2016 гг., и маловодный период – с 2006 по 2013 г. При этом каждый многоводный год сопровождается сильными паводками на отдельных участках бассейна. Установлены существенные колебания годового количества осадков и отсутствие какой-либо тенденции осадков. Зафиксированы резкие отклонения осадков от нормы в пределах степной зоны.

В ходе работы показано, что наводнения в период весеннего половодья на р. Ишим и ее притоках в пределах Северного Казахстана зависят от особенностей водосбора. Строение гидрографической сети в значительной мере обусловлено характером рельефа поверхности бассейна р. Ишим: равнинность бассейна на севере с повышением отметок высот в центре определила основное направление стока. Полученные результаты планируется использовать при проведении дальнейшего анализа и выявления причин паводковых ситуаций в период весеннего половодья на равнинной территории Северного Казахстана.

### Список литературы / References

1. Геопортал ИВМ СО РАН. Институт вычислительного моделирования СО РАН, Красноярск [Электронный ресурс]. URL: <http://gis.krasn.ru/blog/freshet/terms> (дата обращения: 20.11.2018).
2. Среднемесячный расход воды: официальное письмо РГП «Казгидромет» Министерства энергетики Республики Казахстан от 23.10.2018 г. № 13-09/3186.  
Average monthly water consumption an official letter of RSE «Kazgidromet» of the Ministry of Energy of the Republic of Kazakhstan dated 10.23.2018. № 13-09 / 3186 (in Russian).
3. Гидрологическая и метеорологическая информация: официальное письмо РГП «Казгидромет» Министерства энергетики Республики Казахстан от 19.11.2018 г. № 13-09/3491.  
Hydrological and meteorological information: an official letter of the RSE «Kazhydromet» of the Ministry of Energy of the Republic of Kazakhstan dated 11.19.2018. № 13-09 / 3491 (in Russian).
4. Какпанова А.К., Кажмуратова А.Т., Жолболсынова А.С. О солевом балансе озер Северо-Казахстанской области // Вестник КартГУ, Серия: Биология. Медицина. География. 2012. № 3(67). С. 75–81.  
Kakpanova A.K., Kazhmuratova A.T., Zholbolsynova A.S. About salt balance of lakes of the North-Kazakhstan region // Bulletin of the University. Series: Biology. Medicine. Geography. 2012. № 3 (67). P. 75–81 (in Russian).
5. Шибуттов М.М. Проект водоохранных зон и полос реки Ишим (краткий итоговый отчет). Алматы, 2004. С. 6–7.  
Shibutov M.M. The project of water protection zones and strips of the Ishim river (short final report). Almaty, 2004. P. 6–7 (in Russian).
6. Мезенцева О.В., Волковская Н.П. Пространственно-временная изменчивость гидролого-климатических факторов формирования максимальных уровней воды на реке Ишим // Успехи современного естествознания. 2018. № 8. С. 166–171.  
Mezentseva O.V., Volkovskaya N.P. Spatio-temporal variability of hydrological and climatic factors of formation of maximum water levels on the Ishim river // Advances in current natural sciences. 2018. № 8. P. 166–171 (in Russian).



УДК 551.578.4:504.05/.06(571.62)

## О РЕЗУЛЬТАТАХ ХИМИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА СНЕЖНОГО ПОКРОВА ХАБАРОВСКА

**Новороцкая А.Г.***Институт водных и экологических проблем ДВО РАН, Хабаровск, e-mail: novag59@mail.ru*

В работе представлены результаты проведенной снегосъемки и анализа химического состава снежного покрова на территории г. Хабаровска за зимний сезон 2017–2018 гг. Дана оценка состояния атмосферного воздуха в крупном промышленном центре Приамурья в зоне влияния выбросов: предприятий теплоэнергетики – ТЭЦ-1, 2, 3, нефтеперерабатывающего завода и автотранспорта, в рекреационной зоне (парки «Динамо» и ЦПКО, «Детский» санаторий), на льду и в долине р. Амур по следующим параметрам: величине pH, удельной электропроводности, концентрациям главных ионов ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ), биогенных ( $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{HPO}_4^{2-}$ ,  $\text{SiO}_2$ ) и взвешенных веществ, величинам: показателя относительной кислотности ( $\text{pH/pNH}_4$ ) и минерализации, типу химического состава снежного покрова. За зимний сезон в снежном покрове накоплено (в  $\text{т/км}^2$ ) от 1,040 до 4,114 растворимых минеральных веществ, на долю веществ хозяйственного генезиса в среднем пришлось до 81,5% от общего количества солей. Среднее поступление водорастворимых минеральных веществ – 2,494  $\text{т/км}^2$ , в том числе в виде  $\text{SO}_4^{2-}$  – 23,4%;  $\text{NO}_3^-$  – 13,4%,  $\text{NH}_4^+$  – 3,9% соответственно, что составило 45% от общего количества выпавших солей. Вклад ионов аммония и нитрат-ионов в суммарное содержание минерального азота в СП составил 38–62% и 37–61%, нитрит-ионов – от 0,02 до 0,08% соответственно. В снежном покрове отмечено превышение предельно допустимой концентрации по ионам аммония до 2 раз в среднем и 3 раз максимально.

**Ключевые слова:** снежный покров, ПДК, тип химического состава, минерализация, главные ионы и биогенные вещества, загрязнение, Хабаровск

## ON THE RESULTS OF CHEMICAL MONITORING OF SNOW COVER OF Khabarovsk

**Novorotskaya A.G.***Institute of Water and Ecology Problems, Far Eastern Branch, Russian Academy of Sciences,  
Khabarovsk, e-mail: novag59@mail.ru*

The paper presents the results of snow survey and analysis of the chemical composition of snow cover in the territory of Khabarovsk for the winter season 2017–2018. An assessment of the state of atmospheric air in the large industrial center of the Amur region in the zone of influence of emissions from thermal power plants – TPP-1, 2, 3, oil refinery and motor transport, in the recreation zone (Dynamo and Central Recreation and Leisure parks, Detsky health resort), on ice and in the valley the Amur River on the following parameters: pH, specific conductivity, concentrations of major ions ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ), biogenic ( $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{HPO}_4^{2-}$ ,  $\text{SiO}_2$ ) and suspended substances; on the following values: relative acidity index ( $\text{pH/pNH}_4$ ) and mineralization, the type of chemical composition of snow cover. During the winter season, snow cover accumulated (in  $\text{t/km}^2$ ) from 1,040 to 4,114 soluble mineral substances, and the share of substances of economic genesis amounted to 81.5% of the total amount of salts in average. The average intake of water-soluble mineral substances is 2.494  $\text{t/km}^2$ , including in the form of  $\text{SO}_4^{2-}$  – 23.4%;  $\text{NO}_3^-$  – 13.4%,  $\text{NH}_4^+$  – 3.9%, respectively, which accounted for 45% of the total amount of salts. The contribution of ammonium ions and nitrate ions to the total content of mineral nitrogen in snow cover was 38–62% and 37–61%, and nitrite ions – from 0.02 to 0.08%, respectively. In the snow cover, the maximum permissible concentration for ammonium ions was up to 3 times maximum.

**Keywords:** snow cover, the maximum permissible concentration, type of chemical composition, mineralization, major ions and biogenic substances, pollution, Khabarovsk

Снежный покров (СП) – естественный планшет-накопитель аэрозольных веществ, в котором происходит аккумуляция и консервация атмосферных выпадений. СП является индикатором не только состояния атмосферы, но и загрязнения почвы и объектов гидросферы [1 – 3]. Интерес к исследованию химического состава СП возрос с 1970-х гг. [2]. В дальневосточном регионе лишь единицы исследователей серьезно занимаются изучением СП [1, 4, 5]. Заслуживают внимания работы по исследованию в СП: органического и неорганического углерода [3, 6], органических компонентов: нефтепродуктов [4, 6], фенолов [4], углево-

дородов: ациклических (н-алканов), ароматических [3, 6] и полициклических ароматических (ПАУ) [3, 7] в г. Хабаровске и на территории Большехецирского заповедника. ПАУ представляют серьезную опасность, из-за их воздействия на живые организмы (канцерогенного, мутагенного и тератогенного) [7]. Результаты по водорастворимым минеральным компонентам СП (главным ионам и биогенным веществам), взвешенным веществам приведены в [1, 8].

В Хабаровском крае со сложными климатическими условиями и длительными снежными зимами (период залегания снега от 4,5 и более месяцев) исследование химического

состава СП приобретает особую актуальность, так как 80% населения городов в крае проживает в условиях высокого и очень высокого уровня загрязнения атмосферного воздуха. Город Хабаровск – крупный административный центр РФ с площадью 386 км<sup>2</sup> и населением 618 150 чел. человек. Основные стационарные источники загрязнения атмосферы в городе – предприятия теплоэнергетики (ТЭЦ-1, 3) и нефтепереработки (Хабаровский НПЗ). Доля автотранспорта – 45% от суммарного выброса загрязняющих веществ. В г. Хабаровске по данным администрации на конец 2017 г. зарегистрировано более 222 тыс. автомобилей. Уровень загрязнения воздуха в городе – повышенный за счет бенз(а)пирена и формальдегида, из основных примесей атмосфера больше всего загрязнена взвешенными веществами и диоксидом азота. В 2014 и 2015 гг. изменились гигиенические нормативы по формальдегиду и фенолу соответственно, что не отражает реальный уровень загрязнения воздуха [9]. В атмосфере г. Хабаровска отмечен рост в 4–5 раз концентраций летучих ароматических углеводородов, в основном в результате деятельности нефтеперерабатывающего завода, а также автостоянок и автозаправок [10].

В зимний период в г. Хабаровске создаются наиболее неблагоприятные метеоусловия для рассеивания загрязняющих веществ – преобладают юго-западные, западные (70–80%) и северо-восточные ветры (11%) с наибольшей повторяемостью слабых ветров – 17–24%, с наибольшим количеством штилей в году – 14% [11]. Из-за близкого географического расположения города и сопредельной территории КНР с высоким экономическим ростом и загрязнением атмосферы не исключен трансграничный перенос атмосферных примесей на Дальний Восток РФ в соответствии с розой ветров [1, 6].

Цель работы – интегральная оценка состояния атмосферного воздуха в г. Хабаровске по химическому составу СП.

Задачи: исследование химического состава СП в промышленных, парковых зонах и в районе интенсивного движения автотранспорта в г. Хабаровске, количественная оценка поступления растворимых минеральных веществ за зимний сезон 2017–2018 гг., в том числе в виде кислотообразующих форм, минерального азота, веществ антропогенного генезиса с последующим определением наиболее загрязненных участков, выявление возможного трансграничного переноса со стороны КНР.

## Материалы и методы исследования

Отобрано 9 интегральных проб СП (минимум по 10–15 колонок каждая) снегомерным цилиндром ВС-43 на всю его мощность в полиэтиленовые пакеты в период максимального влагозапаса в СП в соответствии с ISO 5667 – 1.2 (2006, 1991) [7] и [12] 13–14 марта 2018 г. на следующих площадках (станциях) г. Хабаровск: правый берег р. Амур (ст. 1), центр города, зона воздействия автотранспорта (ст. 2), на льду р. Амур (ст. 3), санаторий «Детский» (ст. 4); районы парков: «ЦПКО» (Центральный парк культуры и отдыха) (ст. 5), «Динамо» (ст. 6); районы ТЭЦ-1 (ст. 7), ТЭЦ-2 (ст. 8), ТЭЦ-3 (ст. 9) (рис. 1).

Проведена снегосъемка: измерялась высота ( $h$ , см), рассчитывались плотность ( $d$ , г/см<sup>3</sup>) и влагозапас ( $P$ , мм) СП. Образцы СП плавилась при комнатной температуре в закрытой стеклянной посуде (объем проб составил не менее 2,5–3,0 дм<sup>3</sup> в соответствии с [12]), фильтровались под вакуумом через ядерные фильтры с размером пор 0,45 мкм и подвергались химическому анализу на следующие показатели: величина pH, удельная электропроводность (УЭП), главные ионы ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ), биогенные ( $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{HPO}_4^{2-}$ ,  $\text{SiO}_2$ ) и взвешенные вещества (ВВ) по [12].



Рис. 1. Схема отбора проб снежного покрова в г. Хабаровске (составлена С.И. Левшиной)

Рассчитаны: суммарная концентрация ионов натрия и калия, величина минерализации ( $M$ ) как сумма всех определенных при анализе минеральных веществ, средневзвешенные (далее – средние) по-

казатели СП (с учетом ст. 2). Корреляционный анализ проведен с помощью программы EXCEL-2016. Для выявления зон загрязнения и оценки состояния СП использовались индикаторы экологического состояния СП [1]. Физико-химические характеристики СП сравнивались с условно-фоновыми показателями – для территории Эворон-Чукчагирской низменности по данным 1976–1980 гг. [13] и с предельно допустимыми концентрациями вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения (ПДК) [14] из-за отсутствия нормативных документов по ПДК для СП. При определении типа химического состава СП использовалась классификация О.А. Алекина [15]. Подробно методы, методики, расчетные формулы, данные по условно-фоновой территории приведены в работе [8].

#### Результаты исследования и их обсуждения

Результаты химического состава (и усредненные данные) СП г. Хабаровска представлены в табл. 1, 2.

Химический состав СП в основном – сульфатно-кальциевый второго типа ( $S_{II}^{Ca}$ ), изредка – сульфатно-кальциево-магний-второго типа ( $S_{II}^{Ca, Mg}$ ) (ст. 5), для СП, отобранного у автодороги – хлоридно-натриевый третьего типа ( $Cl_{III}^{Na}$ ) (ст. 2), что объяснялось использованием реагентов в качестве антиобледенителей дорог.

Максимальные показатели М, ВВ и УЭП отмечены в СП в зоне влияния выбросов

автотранспорта (ст. 2), которые превысили средние величины (без учета данных ст. 2) по г. Хабаровску в 3 и 4 раза (рис. 2). В СП ст. 2 также наблюдались наибольшие концентрации  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $NO_2^-$ ,  $HCO_3^-$ ,  $Cl^-$ ,  $NO_3^-$  и  $SiO_2$ , которые составили 1,7; 2,0; 2,4; 2,2; 8,7 и 1,3 раза от средних величин соответственно. Не исключена потеря доли хлоридов натрия и калия СП за счет их хорошей растворимости в результате начавшегося снеготаяния (при отрицательной температуре воздуха). Наибольшие величины М СП промышленной зоны отмечены для района ТЭЦ-3 (ст. 9) (28,1 мг/дм<sup>3</sup>) – до 1,3 раз средних и 4,9 условно-фоновых единиц. Высокие показатели М характерны и для СП парковых зон: 22,1 и 25,7 мг/дм<sup>3</sup> для станций 5 и 6 соответственно (рис. 1, 2).

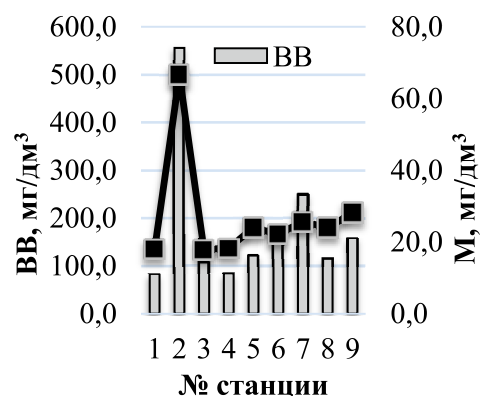


Рис. 2. Содержание взвешенных веществ и величина минерализации снежного покрова, мг/дм<sup>3</sup>

Таблица 1

Интегральные показатели химического состава снежного покрова г. Хабаровска и результаты снегосъемки, март 2018 г. (n = 9)

| pH                | УЭП, мкСм/см       | М, мг/дм <sup>3</sup> | ВВ, мг/дм <sup>3</sup> | pH/pNH <sub>4</sub> | h, см       | d, г/см <sup>3</sup> | P, мм        |
|-------------------|--------------------|-----------------------|------------------------|---------------------|-------------|----------------------|--------------|
| 4,96–6,64<br>5,40 | 14,8–100,3<br>30,7 | 17,9–66,5<br>25,9     | 83,3–555,9<br>172,0    | 1,1–1,6<br>1,3      | 26–56<br>43 | 0,17–0,26<br>0,22    | 58–134<br>96 |

Примечание: здесь и далее над чертой – минимальное и максимальное значение, под чертой – средневзвешенное значение, n – количество проб.

Таблица 2

Содержание главных ионов и биогенных веществ в снежном покрове г. Хабаровска, март 2018 г., мг/дм<sup>3</sup> (n = 9)

| Компонент        |                  |                               |                 |                               |                              |                              |                                    |                   |
|------------------|------------------|-------------------------------|-----------------|-------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------------|-------------------|
| Ca <sup>2+</sup> | Mg <sup>2+</sup> | HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> | Cl <sup>-</sup> | SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> | NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> | NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> | HPO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (P) | SiO <sub>2</sub>  |
| 1,4–3,1<br>1,9   | 0,4–1,9<br>0,8   | 2,7–8,7<br>4,3                | 1,9–22,7<br>4,2 | 4,81–8,02<br>6,06             | 0,59–1,51<br>1,01            | 2,42–5,11<br>3,48            | 0,037–0,381<br>0,154               | 0,37–0,69<br>0,53 |

Минимальные величины рН СП обнаружены для ст. 8, 4, 1 и 2 (ниже 5,60, характерной для незагрязненных атмосферных осадков): от 4,96 до 5,13, средняя величина рН для района исследований (без учета пробы СП на ст. 2) – 5,37, что характеризует сдвиг рН в сторону кислой среды. Максимальные значения рН СП (до 6,64; 6,33) отмечены для промышленной зоны района ТЭЦ-1, ТЭЦ-3, что вполне естественно, так как защелачивание СП происходит в результате взаимодействия с золой топлива. Среди парков следует выделить парк «Динамо», находящийся в центре города, в зоне влияния выбросов автотранспорта, и характеризующийся большим загрязнением СП ионами аммония (до 3 ПДК), чем «ЦПКО», где обнаружена более значительная концентрация нитрат-ионов в СП (4,37 мг/дм<sup>3</sup>). Район санатория «Детский», находящегося в северной части г. Хабаровска, по физико-химическим показателям нельзя принять в качестве фонового района. Несмотря на минимальное содержание нитрат-ионов в СП ст. 4 величина М СП составила до 3,2 условно-фоновых единиц, содержание ионов аммония – до 1,9 ПДК. Концентрация  $\text{NH}_4^+$  в СП на всех станциях наблюдения – выше ПДК (рис. 3), в среднем – до 2 раз [14]. По величине показателя относительной кислотности СП (рН/р $\text{NH}_4$ ), которая изменялась от 1,1 (ст. 1) до 1,6 (ст. 7) (при среднем показателе – 1,3), атмосферу г. Хабаровска на станциях 1, 3, 4, 8 можно охарактеризовать как слабо подверженную, а на ст. 2, 5, 6, 7, 9, как подверженную непосредственному влиянию хозяйственной деятельности [1]. Более низкие величины: М СП, показателя относительной кислотности (рН/р $\text{NH}_4$ ) зимнего сезона 2017–2018 гг. по сравнению с показателями для прошлого года объяснялись гидрометеорологическими особенностями периодов наблюдений.

Минеральные соединения азота в СП представлены  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NO}_2^-$ . Вклад ионов аммония и нитрат-ионов в суммарное содержание минерального азота в СП составил 38–62% и 37–61%, нитрит-ионов – от 0,02 до 0,09% соответственно. Вклад нитрит- и нитрат-ионов в зимний сезон 2016–2017 гг. был выше: 0,03–7,7% и 37–85% соответственно. За зимний сезон наблюдений поступило (в т/км<sup>2</sup>) от 0,074 (ст. 3) до 0,227 (ст. 5), в среднем – 0,151 минерального азота.

Максимальная концентрация ортофосфат-ионов обнаружена в СП ст. 9, что

связано с использованием угля в качестве ископаемого топлива на ТЭЦ-3, минимальные – в СП ст. 1, 3. Содержание  $\text{HPO}_4^{2-}$  в СП соответствовало таковому в СП и атмосферных осадках во время лесных пожаров [13].

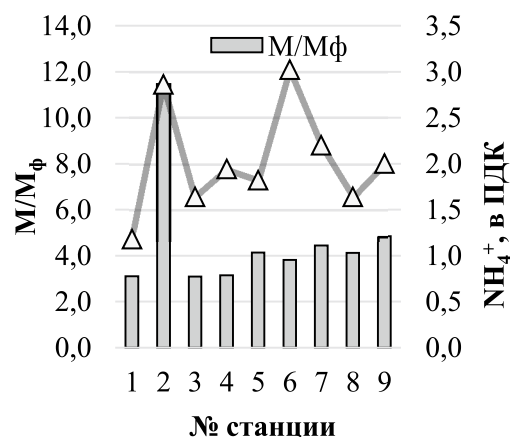


Рис. 3. Величины минерализации снежного покрова г. Хабаровска в условно-фоновых ( $M_{\text{ф}}$ ) единицах и содержание ионов аммония в СП в ПДК

Концентрация ВВ в СП зимнего сезона 2017–2018 гг. выше прошлогоднего значения в 1,3 раза, минимальное содержание ВВ отмечено в СП станций 1, 3 за счет преобладающих ветров по долине р. Амур, максимальное – в зоне влияния ТЭЦ-1 – ст. 7. Выбросы автотранспорта в центре города привели к локальному максимальному загрязнению СП ВВ – на ст. 2 содержание пыли в СП в 4 раза выше среднего значения.

За исследованный зимний сезон в СП накоплено (в т/км<sup>2</sup>) от 1,040 (станция 3) до 4,114 (станция 2) (рис. 4), в среднем – 2,494 т/км<sup>2</sup> растворимых минеральных веществ. В основном из атмосферы в СП поступали соли главных ионов (80%), доля биогенных веществ составила 20%, кислотообразующих форм:  $\text{SO}_4^{2-}$  – 23,4%;  $\text{NO}_3^-$  – 13,4%; ионов аммония – около 4%. До 81,5% от общего количества солей в СП в среднем пришлось на долю веществ хозяйственного генезиса. Полученные количественные характеристики согласовывались с данными для сезона 2016–2017 гг. Несмотря на более низкую величину М СП на фоне снижения поступления нитрат-ионов в 1,1 раза по сравнению с прошлым сезоном доля поступления сульфат-ионов и ионов аммония в СП за исследованный период возросла в 1,6 и 1,1 раз.



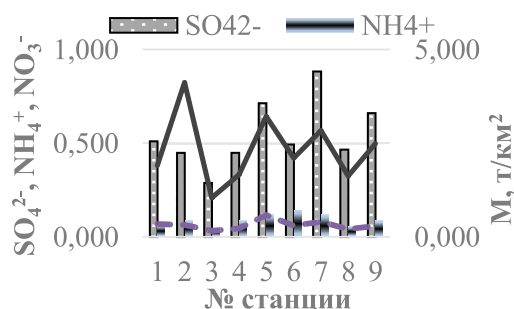


Рис. 4. Поступление сульфат-, нитрат-ионов, ионов аммония, минеральных веществ в СП г. Хабаровска за зимний сезон 2017–2018 гг., т/км<sup>2</sup>

Значимые величины коэффициентов корреляции ( $r$ ) характеризовали тесную связь между параметрами (табл. 3). Из таблицы видно, что влагозапас в СП зависит от высоты СП, а величины УЭП, М СП – в основном определяются содержанием почти всех компонентов кроме сульфат-, орто-фосфат-ионов и ионов аммония. Величины  $r$  подтверждают вышеизложенные

данные по поступлению растворимых минеральных веществ из атмосферы в СП за зимний сезон.

Более детальную количественную характеристику (в том числе пылевую нагрузку и пр.) для исследованной территории по химическому составу СП на данном этапе исследования рассчитать не представилось возможным из-за отсутствия гидрометеорологической информации, в частности по датам образования устойчивого СП и его схода, датам перехода среднесуточных температур воздуха через  $0^{\circ}\text{C}$  и  $-5^{\circ}\text{C}$  весной, осенью и зимой соответственно для расчета длительности зимнего сезона, сумм выпавших атмосферных осадков как в зимний, так и в предзимний период года, что чрезвычайно важно для понимания процессов выведения примесей из атмосферы. В официальных источниках МПР Хабаровского края [9] с 2017 г. отсутствует информация о климатических особенностях года, что затрудняет выявление роли метеорологических факторов в формировании химического состава СП.

Таблица 3

Расчетные значения коэффициентов парной корреляции ( $r$ )

|                                     | h           | P     | pH          | УЭП         | Na <sup>+</sup> +<br>K <sup>+</sup> | Ca <sup>2+</sup> | Mg <sup>2+</sup> | NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> | NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> | HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> | HPO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> | SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> | Cl <sup>-</sup> | NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> | SiO <sub>2</sub> | M |
|-------------------------------------|-------------|-------|-------------|-------------|-------------------------------------|------------------|------------------|------------------------------|------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|-------------------------------|-----------------|------------------------------|------------------|---|
| h                                   | 1           |       |             |             |                                     |                  |                  |                              |                              |                               |                                |                               |                 |                              |                  |   |
| P                                   | <b>0,85</b> | 1     |             |             |                                     |                  |                  |                              |                              |                               |                                |                               |                 |                              |                  |   |
| pH                                  | 0,25        | 0,45  | 1           |             |                                     |                  |                  |                              |                              |                               |                                |                               |                 |                              |                  |   |
| УЭП                                 | -0,53       | -0,40 | 0,32        | 1           |                                     |                  |                  |                              |                              |                               |                                |                               |                 |                              |                  |   |
| Na <sup>+</sup> +<br>K <sup>+</sup> | -0,55       | -0,40 | 0,22        | <b>0,99</b> | 1                                   |                  |                  |                              |                              |                               |                                |                               |                 |                              |                  |   |
| Ca <sup>2+</sup>                    | -0,51       | -0,42 | 0,21        | <b>0,78</b> | <b>0,80</b>                         | 1                |                  |                              |                              |                               |                                |                               |                 |                              |                  |   |
| Mg <sup>2+</sup>                    | -0,23       | -0,16 | 0,54        | <b>0,92</b> | <b>0,89</b>                         | <b>0,73</b>      | 1                |                              |                              |                               |                                |                               |                 |                              |                  |   |
| NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>        | -0,24       | -0,26 | 0,55        | <b>0,68</b> | 0,57                                | 0,54             | <b>0,75</b>      | 1                            |                              |                               |                                |                               |                 |                              |                  |   |
| NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>        | -0,23       | -0,14 | 0,60        | 0,65        | 0,52                                | 0,21             | <b>0,67</b>      | <b>0,83</b>                  | 1                            |                               |                                |                               |                 |                              |                  |   |
| HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>       | -0,32       | -0,25 | 0,54        | <b>0,93</b> | <b>0,89</b>                         | <b>0,81</b>      | <b>0,97</b>      | <b>0,79</b>                  | 0,65                         | 1                             |                                |                               |                 |                              |                  |   |
| HPO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>      | 0,33        | 0,13  | 0,53        | 0,30        | 0,22                                | 0,38             | 0,48             | 0,56                         | 0,36                         | 0,56                          | 1                              |                               |                 |                              |                  |   |
| SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>       | -0,13       | -0,14 | 0,53        | 0,47        | 0,42                                | 0,61             | 0,65             | 0,47                         | 0,30                         | 0,59                          | 0,34                           | 1                             |                 |                              |                  |   |
| Cl <sup>-</sup>                     | -0,57       | -0,43 | 0,19        | <b>0,99</b> | <b>1,00</b>                         | <b>0,78</b>      | <b>0,87</b>      | 0,60                         | 0,55                         | <b>0,88</b>                   | 0,22                           | 0,37                          | 1               |                              |                  |   |
| NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>        | -0,13       | 0,13  | 0,57        | <b>0,77</b> | <b>0,80</b>                         | 0,61             | <b>0,83</b>      | 0,43                         | 0,41                         | <b>0,82</b>                   | 0,27                           | 0,41                          | <b>0,76</b>     | 1                            |                  |   |
| SiO <sub>2</sub>                    | 0,03        | 0,03  | <b>0,75</b> | <b>0,70</b> | 0,63                                | 0,50             | <b>0,86</b>      | <b>0,75</b>                  | <b>0,70</b>                  | <b>0,88</b>                   | <b>0,73</b>                    | 0,55                          | 0,61            | <b>0,74</b>                  | 1                |   |
| M                                   | -0,49       | -0,36 | 0,34        | <b>0,99</b> | <b>0,99</b>                         | <b>0,83</b>      | <b>0,94</b>      | 0,66                         | 0,58                         | <b>0,95</b>                   | 0,32                           | 0,52                          | <b>0,98</b>     | <b>0,82</b>                  | <b>0,71</b>      | 1 |

Примечание. Табличные значения:  $r = 0,67$ ,  $P = 0,95$ ,  $f = 7$ , где  $P$  – достоверность,  $f$  – степени свободы ( $f = n - 2$ ), **жирным** шрифтом выделены значимые значения  $r$ .



Таким образом, можно заключить, что на формирование химического состава снежного покрова г. Хабаровска оказывали влияние газопылевые выбросы от стационарных и передвижных источников, что проявилось в повышении концентраций сульфат-ионов, ионов аммония в снегу, в закислении и защелачивании снежного покрова, в увеличении содержания взвешенных веществ (пыли). Влияние антропогенной деятельности на снежный покров отразилось в возрастании величины его минерализации до 4,9 условно-фоновых единиц и превышении ПДК по ионам аммония до 3 раз максимально. За зимний сезон 2017–2018 гг. в снегу накоплено в среднем около 2,5 т/км<sup>2</sup> растворимых минеральных веществ, доля веществ антропогенного генезиса составила более 80%. Не исключены: трансграничный перенос загрязняющих веществ со стороны КНР в соответствии с розой ветров в зимний период и вероятность поступления загрязняющих веществ в почвенный покров и в воды р. Амур в весенний период при снеготаянии.

#### Список литературы / References

- Новороцкая А.Г. Химический состав снежного покрова как индикатор экологического состояния Нижнего Приамурья: автореф. дис. ... канд. географ. наук. Хабаровск, 2002. 24 с.  
Novorotskaya A.G. The chemical composition of snow cover as an indicator of the ecological state of the Lower Amur region: avtoref. dis. ... kand. geograf. nauk. Khabarovsk, 2002. 24 p. (in Russian).
- Калманова В.Б. Экологическое состояние снежного покрова как показатель качества урбанизированной среды (на примере г. Биробиджана) // Современные проблемы науки и образования. 2015. № 2–2 [Электронный ресурс]. URL: <http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=21525> (дата обращения: 09.12.2018).  
Kalmanova V.B. The ecological condition of the snow cover as an indicator of the quality of the urban environment (by the example of Birobidzhan) // Sovremennyye problemy nauki i obrazovaniya. 2015. № 2–2 [Electronic resource]. URL: <http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=21525> (date of access: 09.12.2018) (in Russian).
- Левшина С.И. Распределение органических веществ в поверхностных водах и снежном покрове территории государственного природного заповедника «Большехехирский» // Водные и экологические проблемы, преобразование экосистем в условиях глобального изменения климата: сборник докладов Всероссийской конференции (Хабаровск, 29 сентября – 3 октября 2014 г.). Хабаровск: ИВЭП ДВО РАН, 2014. С. 104–107.  
Levshina S.I. Organic matter distribution in surface waters and snow cover in the Bolshehekhtsirsky state nature reserve // Water and Ecological Problems, Ecosystems Transformations under the Global Climate Change: All-Russia Conference Proceedings (Khabarovsk, September 29 – October 3, 2014). Khabarovsk: IWEP FEB RAS, 2014. P. 104–107 (in Russian).
- Levshina S. Petroleum products and phenols in snow cover in Khabarovsk, southern Russian Far East Water, Air, & Soil Pollution. 2012. vol. 223. no 6. P. 3553–3563. DOI: 10.1007/s11270-012-1136-2.
- Калманова В.Б. Исследование техногенного загрязнения атмосферного воздуха г. Биробиджана // Современные проблемы регионального развития: тезисы VII Всероссийской научной конференции (Биробиджан, 9–11 октября 2018 г.) / Под ред. Е.Я. Фрисмана. Биробиджан: ИКАРП ДВО РАН, ФГБУ ВО «ПГУ им. Шолом-Алейхема», 2018. С. 11–15. DOI: 10.31433/978-5-904121-22-8-2018-11-15.  
Kalmanova V.B. The study of technogenic pollution of atmospheric air of the city of Birobidzhan // Present Problems of Regional Development: Materials of the VII All-Russian Scientific Conference (Birobidzhan, October 09–11, 2018), edited by E.Ya. Frisman. Birobidzhan: ICARP FEB RAS, FSBEI HPE «Sholom-Aleichem PSU», 2018. P. 11–15 (in Russian).
- Левшина С.И. Органические вещества в снежном покрове территории государственного природного заповедника «Большехехирский» в период аномально снежной зимы // Регионы нового освоения: Современное состояние природных комплексов и вопросы их охраны: сборник материалов конференции с международным участием (г. Хабаровск, 11–14 октября 2015 г.). Хабаровск: ИВЭП ДВО РАН, 2015. С. 184–186.  
Levshina S.I. Organic matter in the Snow Cover in Time of Anomalous Snowy Winter in the Bolshehekhtsirsky State Wildlife Reserve // Regions of New Development: Current State of Natural Complexes and the Problems of their Protection: conference with International Participation Proceedings (Khabarovsk, October 11–14, 2015). Khabarovsk: IWEP FEB RAS, 2015. P. 184–188 (in Russian).
- Левшина С.И. Загрязнение снежного покрова территории Большехехирского государственного природного заповедника полициклическими ароматическими углеводородами // Природные опасности, современные экологические риски и устойчивость экосистем: VII Дружининские чтения: материалы Всероссийской конференции с международным участием. (Хабаровск, 2–5 октября 2018 г.). Хабаровск: ООО «Омега-пресс», 2018. С. 228–231.  
Levshina S.I. Polycyclic aromatic hydrocarbon (pah) pollution in snow of the Bol'shehekhtsirsky state nature reserve area // Natural hazards, modern environmental risks and ecosystem resilience: VII Dmzhinin's Readings: the Scientific Conference Proceedings (Khabarovsk, October 2–5, 2018). Khabarovsk: ООО Omega-Press, 2018. P. 228–231 (in Russian).
- Новороцкая А.Г. Эколого-глицохимические критерии оценки состояния атмосферы г. Хабаровск // Современные научные исследования и инновации. 2016. № 12 [Электронный ресурс]. URL: <http://web.snauka.ru/issues/2016/12/75274> (дата обращения: 09.12.2018).  
Novorotskaya A.G. Glaciochemical criteria assessment of Khabarovsk atmosphere conditions // Sovremennyye nauchnyye issledovaniya i innovatsii. 2016. № 12 [Electronic resource]. URL: <http://web.snauka.ru/issues/2016/12/75274> (date of access: 09.12.2018) (in Russian).
- Государственный доклад о состоянии и об охране окружающей среды Хабаровского края в 2017 году / под ред. А.Б. Ермолина. Воронеж: ООО «Фаворит», 2018. 250 с.  
State report on the state and protection of the environment of the Khabarovsk Territory in 2017 / ed. A.B. Ermolin. Voronezh: ООО «Favorit», 2018. 250 p. (in Russian).
- Подпенко Е. Чем мы дышим? Опасен ли воздух в Хабаровске? [Электронный ресурс]. URL: <https://habinfo.ru/chem-my-dyshim-opasen-li-vozdush-v-habarovske/> (дата обращения 10.12.2018).  
Podpenko E. What do we breathe? Is the air in Khabarovsk dangerous? [Electronic resource]. URL: <https://habinfo.ru/chem-my-dyshim-opasen-li-vozdush-v-habarovske/> (date of access 10.12.2018) (in Russian).
- Новороцкий П.В. Экологические аспекты загрязнения атмосферного воздуха Хабаровска. Препринт: ИВЭП ДВО РАН, Хабаровск, 1993. 43 с.  
Novorotsky P.V. Environmental aspects of air pollution in Khabarovsk. Preprint: IWEP FEB RAS, Khabarovsk, 1993. 43 p. (in Russian).
- Руководство по контролю загрязнения атмосферы. РД 52.04.186-89. М., 1991. 556 с. (ред. от 11.02.2016).  
Guidelines for the control of air pollution. RD 52.04.186-89. M., 1991. 556 p. (red. ot 11.02.2016) (in Russian).
- Иванов А.В., Кашин Н.П. Лесные пожары и многолетняя изменчивость химического состава атмосферных осадков и снежного покрова // Гидрохимические материалы. 1989. № 95. С. 3–14.  
Ivanov V.V., Kashin N.P. Forest fires and long-term variability of the chemical composition of precipitation and snow cover // Hydrochemical materials. 1989. № 95. P. 3–14 (in Russian).
- Приказ Минсельхоза России от 13.12.2016 № 552 «Об утверждении нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения» (Зарегистрировано в Минюсте России 13.01.2017 № 45203).  
Order of the Ministry of Agriculture of Russia dated December 13, 2016 № 552 «On approval of water quality standards for water bodies of fisheries significance, including standards for maximum permissible concentrations of harmful substances in waters of water bodies of fisheries value» (Zaregistrirovano v Minyuste Rossii 13.01.2017 № 45203) (in Russian).
- Алекин О.А. Основы гидрохимии. Л.: ГИМИЗ, 1970. 444 с.  
Alekin O.A. Basics of hydrochemistry. L.: GIMIZ, 1970. 444 p. (in Russian).

УДК 622.753

## ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЗМА РАЗРУШЕНИЯ МЕРЗЛЫХ ГЛИНИСТЫХ ПОРОД В ВОДНОЙ СРЕДЕ

Рочев В.Ф., Мельников А.Е.

*Технический институт (филиал) Северо-Восточного федерального университета  
имени М.К. Аммосова, Нерюнгри, e-mail: viktor-rochev74@mail.ru*

Наличие глинистых примесей оказывает отрицательное влияние на весь процесс обогащения минерального сырья: уменьшается эффективность грохочения и дробления, ухудшаются условия транспортировки и т.д. Для удаления глинистых примесей – основного источника образования шламов – в схему обогащения п.и. необходимо включить операцию предварительного дезинтегрирования. Дезинтегрирование сырья с целью диспергирования глинистых включений является трудоемкой операцией, зависящей от физических и физико-химических свойств глин. В результате разработки золотоносных россыпных месторождений главным образом применяется дражная технология и способы, связанные с применением оборудования, использующего в качестве разрушающего фактора воду. Приведенные технологии рассчитаны на добычу мелкой и средней крупности полезного ископаемого. При этом мелкодисперсные ценные породы смываются вместе с водой, а крупные самородочные материалы перемещаются в отвалы. Для разупрочнения мерзлого глинистого материала, в котором находится большое количество минерального сырья, используются механические способы разработки. Здесь все технологические операции связаны с размывом водой пород и их транспортировкой; доставкой смытых песков по траншее бульдозерами к приемному бункеру гидроэлеватора или землессоса; размывом песков струей гидромонитора на гидровашерде с выносом галечной породы в отвал; транспортировкой оставшегося материала на обогатительные установки с помощью землессосов или гидроэлеваторов и укладкой хвостов обогатительной установки в выработанное пространство. Низкая способность дезинтеграции горной породы является главным недостатком действия данных аппаратов, что приводит к потере ценного компонента. Исходя из этого, предварительное разупрочнение мерзлых глинистых горных пород приведет к резкому снижению дезинтеграции при подготовке добытого сырья к дальнейшей переработке. В связи с этим является актуальной разработка методов управления разрушением мерзлых дисперсных горных пород, основанных на процессах их дезинтеграции при контакте с водой. Решение этой задачи позволит оптимизировать открытый способ разработки мерзлых осадочных горных пород.

**Ключевые слова:** минеральное сырье, дезинтеграция, песчано-глинистые породы, обогащение, месторождение, золото, ценный компонент

## INVESTIGATION OF THE MECHANISM OF DESTRUCTION OF THE FROZEN CLAY ROCKS IN THE AQUATIC ENVIRONMENT

Rochev V.F., Melnikov A.E.

*Technical Institute (branch) of North-Eastern Federal University named after M.K. Ammosov,  
Neryungri, e-mail: viktor-rochev74@mail.ru*

The presence of clay impurities have a negative influence on the entire process of mineral processing: reduced the effectiveness of screening and crushing, worsening conditions of transportation, etc. For removing clay impurities, the main source of sludge formation in flowsheet p. I. must include a pre-operation desantirovaniya. Disintegrating of raw materials for the purpose of dispersion of clay inclusions is a time-consuming operation, depending on the physical and physico-chemical properties of clays. As a result of the development of gold placer deposits mainly used dredge technology and hydro-mechanical method of mining of valuable Sands. In these methods, gold particles with a size of less than 0.1 mm are not extracted, but are removed into dumps together with the waste rock. In addition, the disintegration of clay material mainly uses mechanical methods of influence on the gold – bearing mineral raw materials with the use of the most famous disintegrating devices of hydraulic erosion-cradle and scrubbers of various types, which are not highly efficient and are used for the reason that they provide high throughput. The low ability of rock disintegration is the main disadvantage of these devices, which leads to the loss of a valuable component. On this basis, the preliminary softening of frozen clay rocks will lead to a sharp decrease in the energy intensity of the process of preparing the extracted raw materials for enrichment. In this regard, it is urgent to develop methods for controlling the destruction of frozen dispersed rocks, based on the processes of their disintegration in contact with water. The solution of this problem will optimize the open method of development of frozen sedimentary rocks.

**Keywords:** mineral raw materials, disintegration, sand and clay rocks, enrichment, Deposit, gold, valuable component

В природе, в горных породах, происходят различные физические процессы. Кроме того в горных породах как в талом, так и в мерзлом состоянии наблюдается химически связанная вода, которая находится в порах и трещинах. При этом ионы воды будут иметь положительный заряд. Двигаясь по порам горной породы, вода

будет увеличивать их, забирая при этом из горной породы отрицательные ионы и в конечном итоге преобразовываться в электрический ток. Исходя из этого, нужно экспериментально исследовать данный эффект, при нахождении горной породы в водной среде, где она подвергается разрушению.

Исследуя процесс разрушения мерзлых глинистых пород в водной среде, авторы работы [1] пришли к выводу, что на поверхности горной породы возникают напряжения из-за перепада температуры на поверхности образца. Но, в этом случае из-за разности температур между водой и мерзлым образцом горная порода должна разрушиться с большой скоростью. По результатам экспериментальных исследований было выявлено, что этого не происходит [2], и как показали исследования других ученых [3, 4], вода в осадочных породах находится в неподвижном состоянии.

Авторами [1] была высказана гипотеза, о существовании неизвестного механизма разрушения поверхности мерзлого глинистого материала, проявляющегося в определенных условиях. Данный механизм был назван «автотерминирующим», так как при разрушении наблюдаются аномалии зависимости температуры пород от коэффициента линейного расширения, влажности, температуры воды. Исходя из вышесказанного, интенсивность разрушения пород будет определяться двумя параметрами: деформацией и глубиной. Однако исследования пород с низким содержанием глинистой составляющей показали, что аномалии коэффициента линейного расширения существенного влияния на процесс дезинтеграции поверхности образца не оказывают.

Кроме того, влияние данных параметров на разрушение глинистых пород при нахождении в воде объясняются разными механизмами.

Цель исследования: исследовать механизм разрушения мерзлых глинистых пород в водной среде.

#### Материалы и методы исследования

Комплексная реализация цели и вытекающие из нее задачи осуществлялись с использованием анализа литературных данных, обобщением известных результатов исследований, постановки и проведение экспериментальных исследований, обработку экспериментальных данных с привлечением методов математической статистики.

Изучение механизма разрушения мерзлых дисперсных пород при помещении в водную среду основывалось на измерении электрических потенциалов естественного электрического поля в образцах (ЕЭП). Экспериментальные исследования выполнялись по методике, изложенной в работе [1]. Эксперимент по ЕЭП, возни-

кающих в процессе разрушения мерзлых дисперсных пород, состоял из следующих основных этапов [5].

Из глины и песка изготавливались образцы с влажностью 30% и удельным электрическим сопротивлением воды  $\rho_{\text{ж}} = 60$  Ом·м. Соотношение глины и песка – 35% и 65% соответственно. Изготовленные образцы замораживались при температуре  $-17...-20^{\circ}\text{C}$ . После замораживания испытываемый материал в течение 48 ч выдерживался в климатической камере с температурой  $-3...-5^{\circ}\text{C}$  [5]. Затем образцы помещались в ванну с водой, температура которой поддерживалась  $+10^{\circ}\text{C}$ , или воздушную среду. Далее в водной ванне или воздушной среде в образцах и на их поверхности проводилось измерение разности потенциалов ЕЭП по различным схемам.

В первом случае (способ градиента потенциалов) в образец вмораживались два электрода [6]. Электрод *M* располагался в центральной части образца, электрод *N* – в 10 мм от ближайших его граней. Измерения разности потенциалов  $\Delta U$  между электродами регистрировались непрерывно в течение нескольких минут регистрирующим блоком после погружения в воду или воздушную среду с положительной температурой (рис. 1).

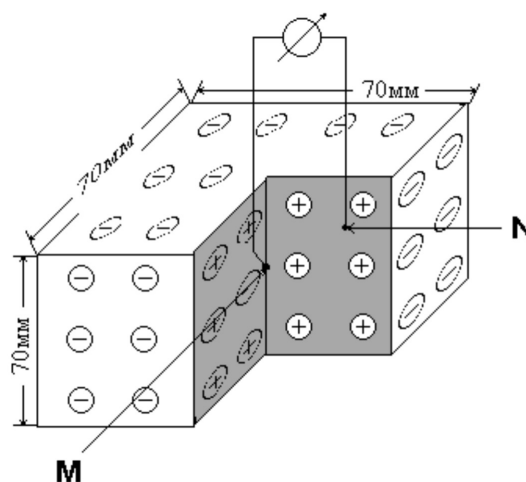


Рис. 1. Схема измерения естественного электрического поля способом градиента

Во втором случае (способ потенциалов) в образец вмораживался один электрод *M*, а электрод *N* на максимальном удалении от образца «заземлялся» в емкости с водой, в которой находился образец с электродом *M* (рис. 2).

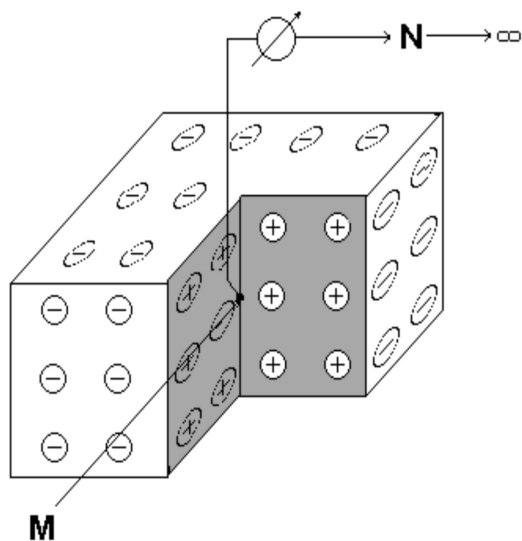


Рис. 2. Схема измерения естественного электрического поля способом потенциала

### Результаты исследования и их обсуждение

В результате проведенных экспериментов установлено, что ЕЭП в водонасыщенных образцах песчано-глинистых пород образуются на начальных стадиях при их замораживании. Данный эффект объясняется тем, что в мерзлом образце кроме льда присутствует незамерзшая вода и между ними образуется межфазный потенциал.

С момента перемещения образца из климатической камеры с отрицательной температурой в воздушную среду с положительной температурой до момента полного

протаивания образца происходит изменение разности потенциалов ЕЭП (рис. 3).

При погружении мерзлого песчано-глинистого образца в воду на внешней его поверхности наблюдается отрицательный электрический потенциал, а внутри образца — положительный. По-видимому, образование таких полей связано с фильтрационными потенциалами (ФП), возникающими в результате проникновения воды по капиллярам в образец с большой скоростью.

При прохождении жидкости через горные породы в определенных условиях возникают потенциалы фильтрации. Механизм возникновения ФП в образцах пород представляется следующим образом.

На поверхности раздела капилляра с раствором электролита (в данном случае — незамерзающая вода) образуется двойной электрический слой. Внешняя часть его сформирована диффузионным слоем ионов. Причем для меньшей концентрации раствора толщина его больше [3]. При погружении замороженного образца в воду между концами капилляра создается разность давлений, тем самым при прохождении через капилляр жидкость увлекает часть ионов диффузного слоя, разности потенциалов, складываются в общее электрическое поле.

Таким образом, сам капилляр приобретает положительный заряд, а на его конце с большим давлением возникает отрицательный потенциал. В общем случае поры в образце можно рассматривать как систему капилляров, в каждой из которых происходит процесс аналогичный описанному. При проникновении воды в мерзлый образец возникающие в каждом отдельно взятом капилляре электрокинетические

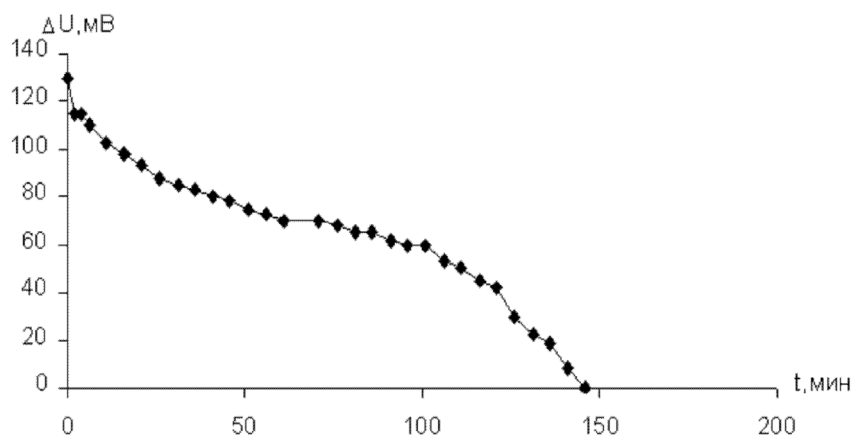


Рис. 3. Изменение разности потенциалов ЕЭП в песчано-глинистом мерзлом образце в воздушной среде



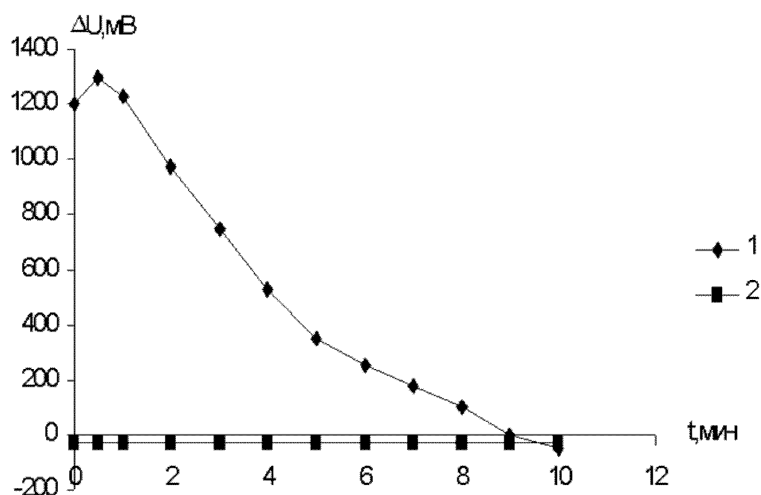


Рис. 4. Зависимость разности потенциалов  $\Delta U_{AB}$  мерзлых (1) и талых (2) песчано-глинистых образцов в водной среде от времени

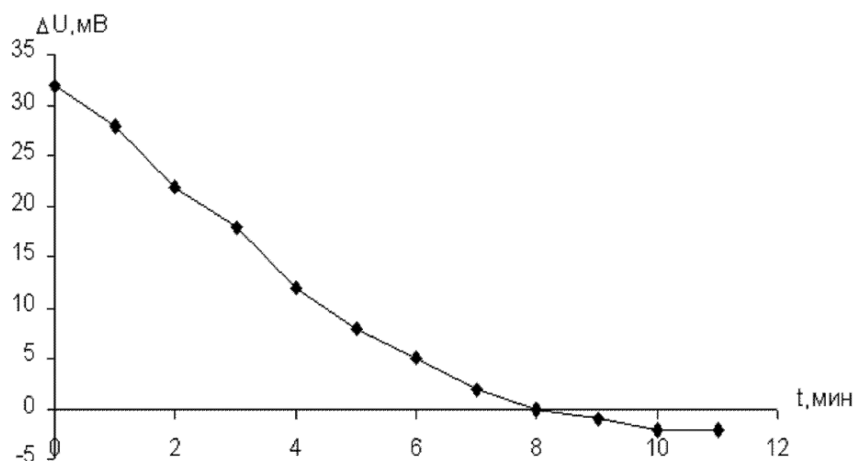


Рис. 5. Изменение разности потенциалов ЕЭП мерзлого песчано-глинистого образца в водном растворе хлористого натрия

Измерение потенциалов собственной поляризации дисперсных мерзлых пород в случае, когда в образец вмораживались два электрода, позволило охарактеризовать некоторые изменения электрических полей, возникающие при погружении образцов в водную среду. Так, по мере оттаивания образца уменьшается положительная разность потенциалов между электродами  $M$  и  $N$  (рис. 4, график 2). При достижении границы раздела твердой и жидкой фазы электрода  $N$  – разность потенциалов равна 0 (рис. 4, график 1).

В тот момент, когда электрод  $N$  оказывается на внешней поверхности образца, увеличивается отрицательный потенциал,

так как внешняя часть образца обладает значительным отрицательным зарядом. При помещении талого песчано-глинистого образца в водную среду, описанного в работах [7, 8] изменения разности потенциалов не наблюдалось. По-видимому, поры образца заполнены водой и проникновения воды с большой скоростью в образец не происходит, поэтому наблюдаемая разность потенциалов небольшая (рис. 4, график 2), не меняющаяся за время эксперимента.

Для более полного понимания процесса фильтрации при размораживании мерзлого образца в одном из экспериментов был применен водный раствор хлористого натрия с концентрацией 30 г/л (рис. 5).



В этом случае при фильтрационном движении воды происходит химическое разделение содержащихся в ней ионов, тем самым значительно снижается разность потенциалов ЕЭП между электродами.

### Выводы

Характеристики разности электрических потенциалов собственной поляризации мерзлых дисперсных грунтов позволяют получить информацию о некоторых механизмах их дезинтеграции в водной и воздушной средах с различными условиями. Метод может быть весьма успешно применен при анализе изменений температуры в горной породе при ее оттаивании. Исследования подтверждают гипотезу об «автотерминации» процесса разрушения мерзлых песчано-глинистых пород.

### Список литературы / References

1. Изаксон В.Ю., Самохин А.В., Яковлев В.Л., Вычужин Т.А. Эффект автотерминирующего разрушения в водной среде поверхностного слоя мерзлых глинистых пород: Препринт. Якутск: ЯНЦ СО АН СССР, 1990. 40 с.

Isakson V.Y., Samokhin A.V., Yakovlev V.L., Vychezhin T.A. Effect autoterminals destruction in the aquatic environment of the surface layer of frozen clay rocks: Preprint. Yakutsk: YANTS so an SSSR, 1990. 40 p. (in Russian).

2. Рочев В.Ф. Разрушение мерзлых песчано-глинистых горных пород в водной среде, под воздействием химических полей // Журнал по итогам XXIII-ой Международная научной конференции «Потенциал современной науки». Липецк: ООО «Максимал ИТ», 2016. С. 13–17.

Rochev V.F. the Destruction of frozen sandy-clayey rocks in a water environment, under the influence of chemical fields //

Journal at the end of «XXIII-th international scientific conference «the Potential of modern science». Lipetsk: ООО «Максимал ИТ», 2016. P. 13–17 (in Russian).

3. Пендин В.В., Подборская В.О., Дубина Т.П. Мерзлотоведение: учебное пособие. М.: Лань, 2017. 172 с.

Pendin V.V., Podborskaya V.O., Dubina T.P. Permafrost Study. Textbook. M.: LAN, 2017. 172 p. (in Russian).

4. Harris S., Brouckov A., Guodong C. Geocryology: Characteristics and Use of Frozen Ground and Permafrost Landforms. M.: CRC Press, 2018. 810 p.

5. Гриб Н.Н., Сясько А.А., Качаев А.В., Никитин В.М. Экспериментальные исследования механизма разрушения мерзлых песчано-глинистых пород в водной среде методом естественного электрического поля // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. 2007. № 7. С. 122–125.

Grib N.N., Syasko A.A., Kachaev A.V., Nikitin V.M. Experimental study of the mechanism of destruction of the frozen sandy-clayey rocks in the aquatic environment using the natural electric field // News of the Higher Institutions. Mining Journal. 2007. № 7. P. 122–125 (in Russian).

6. Захаров Е.В., Курилко А.С. Энергетические показатели разрушения горных пород и их зависимость от температурного фактора // Наука и образование. 2009. № 1. С. 19–25.

Zakharov E.V., Kurilko A.S. Energy indicators of rock destruction and their dependence on the temperature factor // Science and education. 2009. № 1. P. 19–25 (in Russian).

7. Рамазанов А.Э., Эмиров С.Н. Барическая и температурная зависимость теплопроводности осадочных горных пород // Известия РАН. Серия физическая. 2012. Т. 76. № 10. С. 1283–1287.

Ramazanov A.E., Emirov S.N. Baric and temperature dependence of thermal conductivity of sedimentary rocks // Izvestiya ran. Series physical. 2012. Vol. 76. № 10. P. 1283–1287 (in Russian).

8. Kotov P.I., Roman L.T., Tsarapov M.N. Express-methods for forecast thawing soils settlement // Book of Abstracts of EUCOP4 – 4th European Conference on Permafrost, 18–21 June 2014. Vol. 1. Evora, Portugal, 2014. 399 p.

УДК 551.5(470.64)

**УТИЛИЗАЦИЯ ТВЕРДЫХ БЫТОВЫХ ОТХОДОВ И ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ (НА ПРИМЕРЕ КАБАРДИНО-БАЛКАРСКОЙ РЕСПУБЛИКИ)****Татаренко Н.В., Паштова Л.Р., Емузова Л.З., Дахова О.О.***ФГБОУ ВО «Кабардино-Балкарский государственный университет им. Х.М. Бербекова»,  
Нальчик, e-mail: tatarenko.nic@yandex.ru*

В работе изучено состояние атмосферного воздуха на полигонах твердых бытовых отходов девяти населенных пунктов Прохладненского района Кабардино-Балкарской Республики. В район исследования вошли 6 селений (Прималкинское, Ульяновское, Благовещенка, Алтуд, Карагач, Учебное) и 2 станицы (Прибрежная и Солдатская). Исследования проводились в апреле 2018 г. На объектах исследования в момент взятия проб определены температура воздуха, относительная влажность воздуха, скорость ветра, направление ветра, атмосферное давление и погодные условия. Установлено, что на объектах исследования скорость ветра достигала 2 м/с, температура воздуха около 10°C, относительная влажность воздуха 90%, а атмосферное давление составляло 718–722 мм рт. ст. В ходе исследований на несанкционированных полигонах Прохладненского района в свалочном газе определено содержание сероводорода, аммиака, диоксида серы и диоксида азота. В ходе исследований определено, что концентрации аммиака в свалочном газе на полигонах ТБО в станице Прибрежная и селениях Заречное, Алтуд, Карагач достигают 0,2 мг/м<sup>3</sup>, что соответствует значениям максимально разовой ПДК. Концентрации диоксида азота, диоксида серы и сероводорода на исследуемых полигонах не превышают ПДК. Проведенные исследования определили негативное влияние свалочного газа на растительный покров. Отмечено угнетение вегетационных органов растений (некрозы) и удушье корневой системы. Сравнительный анализ состояния атмосферного воздуха исследуемого района показал, что загрязнение атмосферного воздуха в изученном районе незначительно, концентрации аммиака, диоксида азота, диоксида серы и сероводорода не превышают максимально разовых ПДК.

**Ключевые слова:** твердые бытовые отходы, утилизация, мусор, анализ атмосферного воздуха, свалочный газ

**THE DISPOSAL OF SOLID WASTE AND ENVIRONMENTAL PROBLEMS IMPACT ON THE ENVIRONMENT (THE EXAMPLE OF KABARDINO-BALKARIAN REPUBLIC)****Tatarenko N.V., Pashtova L.R., Emuzova L.Z., Dakhova O.O.***Kabardino-Balkarian State University of Kh.M. Berbekov, Nalchik, e-mail: tatarenko.nic@yandex.ru*

The work studied the state of atmospheric air at landfills for municipal solid waste in nine settlements of the Prokhladnensky district of the Kabardino-Balkarian Republic. The study area included 6 villages (Primalkinskoye, Ulyanovskoye, Blagoveshchenka, Altud, Karagach, Uchebnoye) and 2 villages (Nearby and Soldatskoye). Studies were conducted in April 2018. The air temperature, relative air humidity, wind speed, wind direction, atmospheric pressure and weather conditions were determined at the test sites at the time of sampling. It was established that at the objects of study the wind speed reached 2 m / s, the air temperature was about 10°C, the relative air humidity was 90%, and the atmospheric pressure was 718-722 mm. Hg Art. In the course of the research, the content of hydrogen sulfide, ammonia, sulfur dioxide and nitrogen dioxide was determined in landfill gas at unauthorized landfills of the Prokhladnensky district. During the research it was determined that the concentration of ammonia in landfill gas at MSW landfills in the village of Pribrezhnaya and the villages of Zarechnoye, Altud, Karagach reach 0.2 mg / m<sup>3</sup>, which corresponds to the values of the maximum one-time MPC. Concentrations of nitrogen dioxide, sulfur dioxide and hydrogen sulfide in the test sites do not exceed the MPC. Studies have identified the negative impact of landfill gas on vegetation. The oppression of the vegetative organs of plants (necrosis) and the suffocation of the root system are noted. A comparative analysis of the state of the atmospheric air of the studied area showed that the air pollution in the studied area is insignificant; the concentrations of ammonia, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and hydrogen sulfide do not exceed the maximum one-time MPC.

**Keywords:** solid household waste, utilization, garbage, analysis of atmospheric air, landfill gas

Актуальной проблемой изучения малых и больших городов считается изучение проблемы утилизации твердых бытовых отходов (ТБО) и оценка их антропогенного воздействия на окружающую среду.

В научной литературе рассматривается много отечественных работ, посвященных проблеме утилизации ТБО. В работе [1] И.И. Щекин и П.А. Трубаев рассматривают ряд методов, применяемых при обращении с твердыми отходами, и способы их утилиза-

ции. В работах С.А. Кирсанова [2], М.А. Рузановой [3] описываются современные подходы и методы, технологии использования мирового и отечественного опыта, накопленного в области переработки твердых бытовых отходов. М.В. Кравцова, А.В. Васильев, Д.А. Волков и другие [4] проанализировали негативные факторы удаления твердых отходов, а также выявили степень отрицательного воздействия на человека, окружающую природную среду и их компоненты.

Таблица 1

Перечень санкционированных и несанкционированных свалок на территории КБР [5]

| Название района<br>(городского округа) | Общее число свалок |        |         |        | Площадь, га |         | Суммарное<br>накопление |
|----------------------------------------|--------------------|--------|---------|--------|-------------|---------|-------------------------|
|                                        | всего              | из них |         | всего  | из них      |         | тыс. куб. м             |
|                                        |                    | санк.  | несанк. |        | санк.       | несанк. |                         |
| Прохладный                             | 1                  | 1      | 0       | –      | –           | 0       | –                       |
| Баксан                                 | 1                  | 0      | 1       | 9,0    | 0           | 9,0     | 890,0                   |
| Баксанский                             | 13                 | 0      | 13      | 14,9   | 0           | 14,9    | 126,5                   |
| Зольский                               | 16                 | 0      | 16      | 36,1   | 0           | 36,1    | 154,5                   |
| Лескенский                             | 7                  | 0      | 7       | 16,0   | 0           | 7       | 49,4                    |
| Майский                                | 4                  | 0      | 4       | 26,9   | 0           | 26,9    | 537,2                   |
| Прохладненский                         | 18                 | 0      | 18      | 31,81  | 0           | 31,81   | 376,8                   |
| Терский                                | 18                 | 0      | 18      | 43,0   | 0           | 43,0    | 657,13                  |
| Урванский                              | 13                 | 1      | 12      | –      | –           | 12,7    | 36,95                   |
| Чегемский                              | 6                  | 0      | 6       | 12,1   | 0           | 12,1    | 609,95                  |
| Черекский                              | 6                  | 0      | 6       | 8,0    | 0           | 8,0     | 18,35                   |
| Эльбрусский                            | 11                 | 0      | 11      | 1,403  | 0           | 1,403   | 65,9                    |
| Итого по КБР                           | 114                | 2      | 112     | 202,91 | –           | 202,91  | 3522,68                 |

В России существует общепринятая практика обращения с твердыми отходами в форме хранения на полигонах, компостировании и сжигании [1–4]. При этом, как правило, не всегда дается комплексная геоэкологическая оценка современных свалок, их негативное влияние на компоненты окружающей среды. В процессе эксплуатации современных полигонов выделяемые свалочные газы могут представлять большую опасность для здоровья населения. Особое внимание следует уделить изучению такому вопросу, как несанкционированные свалки, число которых с каждым годом неуклонно растет.

В настоящее время на территории Кабардино-Балкарской Республики насчитывается 2 разрешенных и 112 несанкционированных полигона, общая площадь которых составляет 202,91 га (табл. 1). При этом ни один из несанкционированных полигонов не отвечает современным требованиям природоохранного законодательства. Более того, 80% несанкционированных свалок находятся в природоохранных зонах водоемов [5].

Цель исследования: оценка экологического состояния атмосферного воздуха на полигонах твердых бытовых отходов девяти населенных пунктов Прохладненского района Кабардино-Балкарской Республики.

#### Материалы и методы исследования

Основные метеорологические параметры состояния атмосферного воздуха

измерялись с помощью метеометра МЭС-200А. Отбор проб загрязняющих примесей в свалочном газе осуществлялся с помощью аспиратора АПВ-4-12В. Методика определения аммиака, диоксида азота, диоксида серы и сероводорода рассмотрена в [6–7].

*Методика определения концентрации аммиака* в образце основана на измерении оптической плотности окрашенных растворов при взаимодействии аммиака с реактивов Несслера. Оптическая плотность цветных растворов измеряется на фотоэлектрическом колориметре и анализируется на калибровочной зависимости оптической плотности раствора и количественного содержания аммиака в образце [6, 7].

*Методика определения концентрации оксида азота* основана на определении концентрации общего оксида и диоксида азота в выбросах, с помощью фотоколориметрического метода с использованием реагента Грисса. Измеренная оптическая плотность раствора и калибровочная зависимость определяется содержанием иона нитрита в анализируемом образце. При анализе образца газа остаточное давление в сосуде измеряется с помощью вакуумметра [7, 8].

*Методика определения диоксида серы* основана на определении концентрации двуокиси серы в атмосферном воздухе раствором формальдегида с образованием гидроксиметансульфоновой кислоты. При добавлении гидроксида натрия, гидроксиметансульфоновая кислота разлагается в формальдегид и S (IV). Эти вещества при

взаимодействии с парарозанилином образуют соединение, интенсивность которого определяет содержание диоксида серы фотометрическим методом. Построение калибровочной характеристики выражает зависимость разности оптических плотностей раствора для калибровки и нулевого раствора от массы двуокиси серы в образце.

*Методика определения сероводорода* в атмосферном воздухе основана на образовании метиленовой сини при взаимодействии сероводорода с п-аминодиметиланилином в кислой среде в присутствии трехвалентного железа и колориметрическом определении по стандартной шкале или с помощью фотоэлектроколориметра [6–8].

### Результаты исследования и их обсуждение

Изучение состояния атмосферного воздуха на полигонах твердых бытовых отходов проводилось в девяти населенных пунктах Прохладненского района Кабардино-Балкарской Республики. Выбор района исследования обусловлен, тем, что свалки населенных пунктов носят стихийный характер и являются несанкционированными. В район наших исследования вошли 6 селений (Прималкинское, Ульяновское, Благо-

вещенка, Алтуд, Карагач, Учебное) и 2 станции (Приближная и Солдатское). Пункты отбора проб представлены на рис. 1.

Исследования проводились в апреле 2018 г. Забор проб атмосферного воздуха производился с помощью аспиратора на полигонах вышеупомянутых населенных пунктов. Отобранные образцы подверглись дальнейшим лабораторным исследованиям. В свалочном газе на полигонах определялось содержание сероводорода, аммиака, диоксида серы и диоксида азота. Непосредственно после отбора проб на полигонах были установлены погодные условия. Основные метеорологические параметры в момент взятия проб представлены в табл. 2. На объектах исследования определялись температура воздуха, относительная влажность воздуха, скорость ветра, направление ветра, атмосферное давление и погодные условия. Установлено, что в момент взятия проб на объектах исследования скорость ветра достигала 2 м/с, температура воздуха около 10 °С, относительная влажность воздуха 90%, а атмосферное давление составляло 718–722 мм рт. ст.

Концентрации свалочных газов на полигонах ТБО Прохладненского района КБР представлены в табл. 3 и на рис. 2.

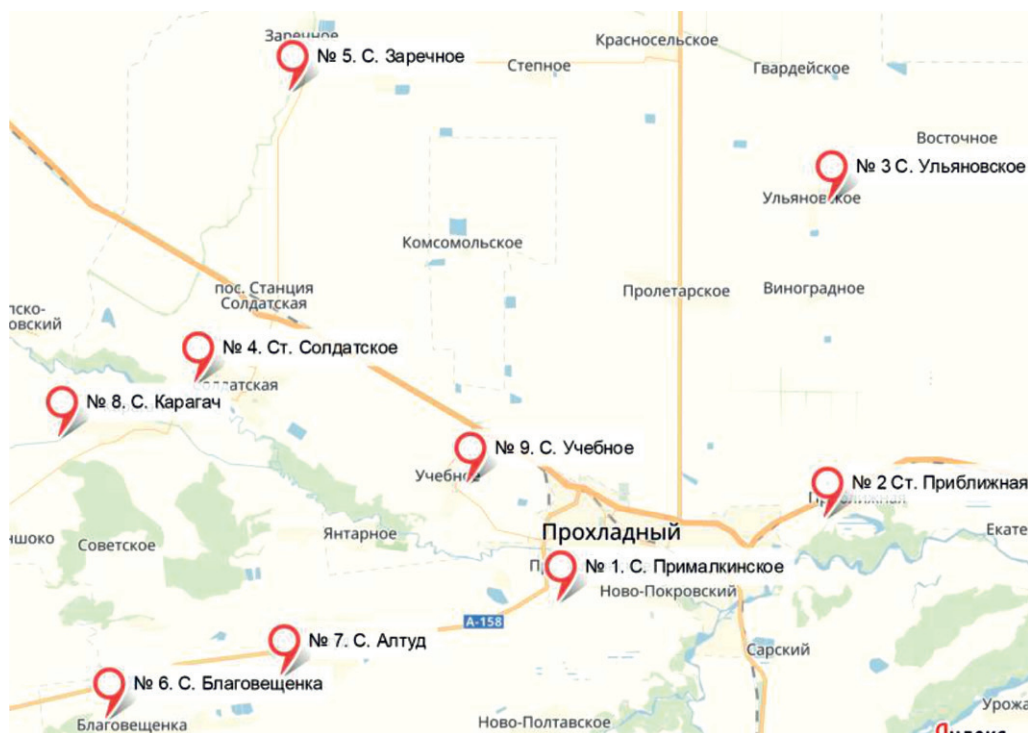


Рис. 1. Карта-схема. Пункты отбора проб на полигонах твердых бытовых отходов Прохладненского района

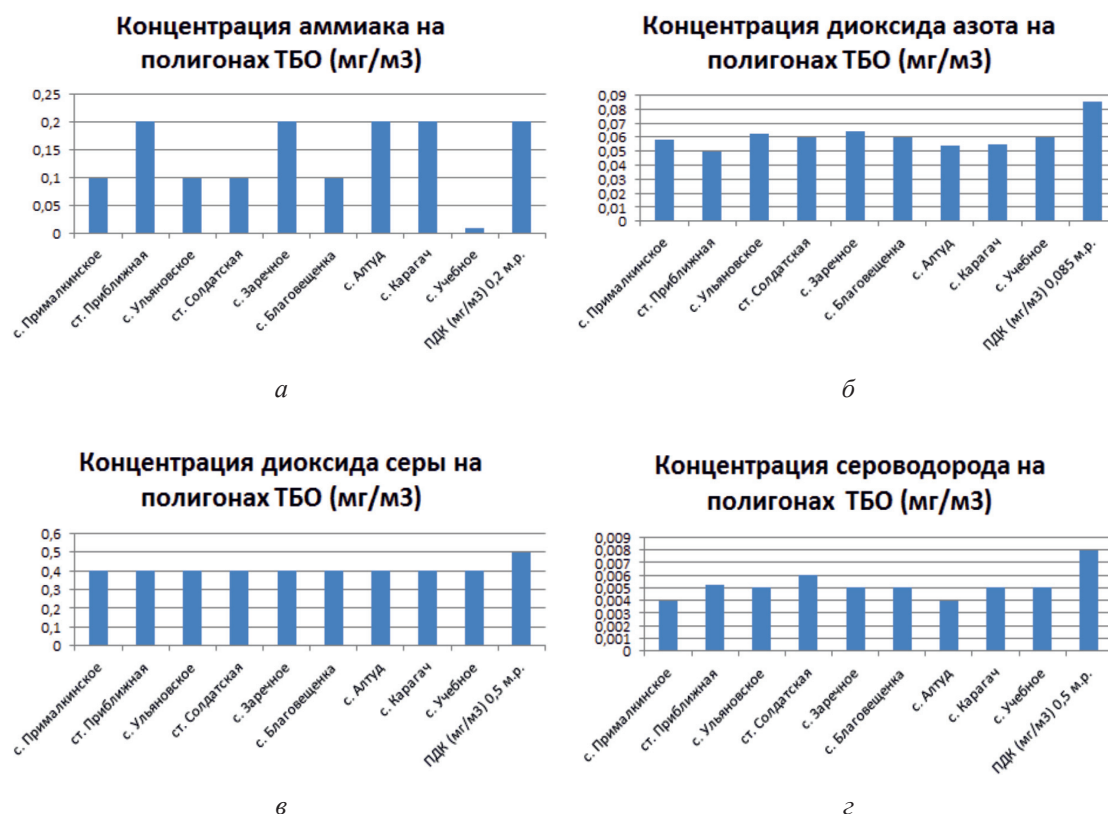


Рис. 2. Концентрации свалочных газов на полигонах ТБО Прохладненского района КБР (мг/м³): а – аммиака, б – диоксида азота, в – диоксида серы, г – сероводорода

Таблица 2

Основные метеорологические параметры в момент отбора проб

| № п/п | Место отбора      | Направление ветра | Скорость ветра, м/с | Температура воздуха, °С | Относит. влажность воздуха, % | Атм. давление мм рт. ст. | Погодные условия |
|-------|-------------------|-------------------|---------------------|-------------------------|-------------------------------|--------------------------|------------------|
| 1     | с. Прималякинское | юго-восточное     | 2                   | 10                      | 90                            | 722                      | ясно             |
| 2     | ст. Приближная    | северо-восточное  | 2                   | 10                      | 90                            | 720                      | ясно             |
| 3     | с. Ульяновское    | юго-восточное     | 2                   | 9                       | 90                            | 721                      | ясно             |
| 4     | ст. Солдатская    | северо-западное   | 2                   | 10                      | 90                            | 718                      | ясно             |
| 5     | с. Заречное       | юго-восточное     | 2                   | 10                      | 90                            | 720                      | ясно             |
| 6     | с. Благовещенка   | северо-западное   | 2                   | 10                      | 90                            | 720                      | ясно             |
| 7     | с. Алтуд          | юго-западное      | 2                   | 10                      | 90                            | 721                      | ясно             |
| 8     | с. Карагач        | юго-западное      | 2                   | 10                      | 90                            | 721                      | ясно             |
| 9     | с. Учебное        | юго-западное      | 2                   | 10                      | 90                            | 720                      | ясно             |

Анализ табл. 3 показывает, что на территории девяти населенных пунктов исследуемого района не наблюдается превышение максимально разовой концентрации ПДК аммиака, диоксида азота, диоксида серы и сероводорода. Однако, как видно на рис. 2, а, концентрации аммиака в свалочном газе на полигонах ТБО в станице Приближная и селениях Заречное, Алтуд и Ка-

рагач достигают 0,2 мг/м³, что соответствует значениям максимально разовой ПДК.

В ходе исследований было установлено негативное влияние свалочного газа на растительный покров. Накапливающийся газ в приземном слое почвенного покрова приводит к удушью корневой системы, угнетению вегетативных органов растений (некрозы) и снижению их продуктивности.



**Таблица 3**  
Опасные загрязнители в свалочном газе  
Прохладненского района КБР (мг/м<sup>3</sup>)

| 1. с. Прималкинское |               |              |             |
|---------------------|---------------|--------------|-------------|
| Аммиак              | Диоксид азота | Диоксид серы | Сероводород |
| 0,1                 | 0,058         | 0,4          | 0,004       |
| 2. ст. Приближная   |               |              |             |
| 0,2                 | 0,050         | 0,4          | 0,005       |
| 3. с. Ульяновское   |               |              |             |
| 0,1                 | 0,062         | 0,4          | 0,005       |
| 4. ст. Солдатская   |               |              |             |
| 0,1                 | 0,060         | 0,4          | 0,006       |
| 5. с. Заречное      |               |              |             |
| 0,2                 | 0,064         | 0,4          | 0,005       |
| 6. с. Благовещенка  |               |              |             |
| 0,1                 | 0,060         | 0,4          | 0,005       |
| 7. с. Алтуд         |               |              |             |
| 0,2                 | 0,054         | 0,4          | 0,004       |
| 8. с. Карагач       |               |              |             |
| 0,2                 | 0,055         | 0,4          | 0,005       |
| 9. с. Учебное       |               |              |             |
| 0,01                | 0,060         | 0,4          | 0,005       |

ПДК, (мг/м<sup>3</sup>): аммиак (0,2 м.р.); диоксид азота (0,085 м.р.); диоксид серы (0,5 м.р.); сероводород (0,008 м.р.).

### Заключение

В ходе проведенных исследований получены основные результаты:

1. Изучено состояние атмосферного воздуха на полигонах твердых бытовых отходов девяти населенных пунктов Прохладненского района Кабардино-Балкарской Республики.

2. В станице Приближная и селениях Заречное, Алтуд и Карагач Прохладненского района КБР концентрации аммиака в свалочном газе достигают 0,2 мг/м<sup>3</sup>, что соответствует значениям максимально разовой ПДК.

3. На полигонах твердых бытовых отходов селений Прималкинское, Ульяновское, Благовещенка, Алтуд, Карагач, Учебное, а также станиц Приближная и Солдатская содержание в воздухе диоксида азота составило соответственно: 0,050–0,064 мг/м<sup>3</sup>, диоксида серы 0,4 мг/м<sup>3</sup>, сероводорода

0,004–0,006 мг/м<sup>3</sup>, значения которых не превышают максимальных разовых ПДК.

*Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации в рамках реализации государственного задания (код проекта 1.9349.2017/7.8).*

### Список литературы / References

1. Щекин И.И., Трубаев П.А. Методы утилизации твердых бытовых отходов // В сборнике: Научные технологии и инновации. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2014. С. 247–250.
2. Schekin I.I., Trubaev P.A. Methods of disposal of solid household waste // In the collection: High technologies and innovations. Belgorod State Technological University V.G. Shukhov, 2014. P. 247–250 (in Russian).
3. Кирсанов С.А., Мустафин Г.В. Мировой и российский опыт утилизации твердых бытовых отходов // Вестник Омского университета. Серия: Экономика. 2014. № 2. С. 114–120.
4. Kirsanov S.A., Mustafin G.V. World and Russian experience in the disposal of solid waste // Bulletin of Omsk University. Series: Economy. 2014. № 2. P. 114–120 (in Russian).
5. Рузанова М.А. Основные способы утилизации и обезвреживания твердых бытовых отходов // Вестник Технологического университета. 2015. Т. 18. № 10. С. 219–221.
6. Ruzanova M.A. The main methods of disposal and disposal of solid waste. Bulletin of the Technological University. 2015. Vol. 18. № 10. P. 219–221 (in Russian).
7. Кравцова М.В., Васильев А.В., Волков Д.А., Башкиров Ю.Ю. Оценка экологических рисков в процессе утилизации твердых бытовых отходов // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2014. Т. 16. № 1–7. С. 1849–1857.
8. Kravtsova M.V., Vasiliev A.V., Volkov D.A., Bashkirov Yu. Yu. Environmental risk assessment in the process of disposal of solid household waste // Proceedings of the Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences. 2014. V. 16. № 1–7. P. 1849–1857 (in Russian).
9. Доклад о состоянии и охране окружающей среды в Кабардино-Балкарской Республике в 2017 году. Министерство природных ресурсов и экологии Кабардино-Балкарской Республики. Нальчик, 2018. 292 с.
10. Report on the state and protection of the environment in the Kabardino-Balkarian Republic in 2017. Ministry of Natural Resources and Ecology of the Kabardino-Balkarian Republic. Nalchik, 2018. 292 p. (in Russian).
11. ГОСТ 17.2.3.01 – 86. Охрана природы. Атмосфера. Правила контроля качества воздуха населенных пунктов. М.: Стандартинформ, 2005. 4 с.
12. Чибисова Н.В. Практикум по экологической химии: учеб. пособие. Калининград: Калинингр. унт, 1999. 94 с.
13. Chibisova N.V. Workshop on environmental chemistry: a manual. Kaliningr. unt. Kaliningrad, 1999. 94 p. (in Russian).
14. РД 52.04.186 – 89. Руководство по контролю загрязнения атмосферы (утв. Госкомгидрометом СССР 01.06.1989, Главным государственным санитарным врачом СССР 16.05.1989). 615 с.

УДК 528.873:004.932.2

## АЛГОРИТМ МОРФОЛОГИЧЕСКОГО АНАЛИЗА И ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОРЯДКОВ ВОДОТОКОВ НА ОСНОВЕ ЦИФРОВОЙ МОДЕЛИ РЕЛЬЕФА ДЛЯ РАЗРАБОТКИ ОТКРЫТЫХ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ

<sup>1,2</sup>Шевырëв С.Л.<sup>1</sup>Дальневосточный геологический институт ДВО РАН, Владивосток, e-mail: shevirev@mail.ru;<sup>2</sup>Дальневосточный федеральный университет, Владивосток

Наличие свободно распространяемой спутниковой цифровой модели рельефа (ЦМР) SRTM на большую часть территории земного шара делает этот источник дистанционных данных привлекательным для ведения широкого спектра прикладных и исследовательских работ. Методы автоматизированного распознавания и установления иерархии элементов эрозионной сети на основе SRTM применяются в географических информационных системах для оценки степени эрозионного расчленения территории, при неотектонических и ландшафтных реконструкциях, а также для прогноза минерально-сырьевых ресурсов и различного картоирования. Несмотря на активные темпы развития информационных технологий и методов анализа изображений в настоящее время, выделение гидросети и разбивка ее на генерации (порядки) водотоков все еще представляют собой нетривиальную задачу, решение которой осложнено недостатками цифровой основы и несовершенством применяемых алгоритмов распознавания или ограничениями их применения. Погрешности в определении абсолютных отметок и оставление на усмотрение пользователя ответственности за принимаемые решения также снижают достоверность результата. В настоящей работе на примере инструментария языка Python рассматривается предлагаемый автором простой и эффективный алгоритм дешифрирования гидросети и подсчет числа Стралера (порядка) водотока с использованием морфологической обработки, реализуемой в открытых системах научных расчетов без устанавливаемых пользователем пороговых значений. Формат вывода результата, включающий пространственную привязку, может быть использован для его компоновки в географических информационных системах (QGIS, ArcGIS и других).

**Ключевые слова:** морфологический анализ изображений, геоинформатика, цифровая модель рельефа, дистанционное зондирование Земли, число Стралера

## ALGORITHM OF MORPHOLOGICAL ANALYSIS AND IDENTIFICATION OF STREAM ORDER IN DIGITAL ELEVATION MODEL FOR DEVELOPMENT OF OPEN-SOURCE GEOINFORMATIC SYSTEMS

<sup>1,2</sup>Shevirev S.L.<sup>1</sup>Far East Geological Institute, Vladivostok, e-mail: shevirev@mail.ru;<sup>2</sup>Far Eastern Federal University, Vladivostok

Nowadays, the freely available satellite digital relief model (DRM) for the most part of the globe makes this source of remote sensing data affordable for the great variety of applied activities and the research. Methods of remote detecting of erosion network elements and establishing of their hierarchy are applicable for assessment of the erosion dissection grade, neotectonic and landscape reconstructions as well as for resource management and various mapping. Despite of rapid development of information technologies and image analysis recently, extraction of erosion network and dividing it into the generations (orders) remains challenging task, which is complicated by artifacts in digital relief model and shortcomings in current detection algorithms or by their limitations. Errors in absolute elevations and leaving decision making onto the user responsibility also decreases reliability of available methods. Given paper considers simple and efficient algorithm of erosion network detecting and computing of Strahler number with morphological threshold-less processing in open-source scientific computing environments on a sample of Python. Output result containing spatial reference could be used for its stacking in geographic information systems (QGIS, ArcGIS etc.).

**Keywords:** morphological image processing, geoinformatics, digital relief model, remote sensing of the Earth, Strahler number

Оперативность в принятии природо-пользовательских и природоохранных решений при освоении и эксплуатации территорий требует наращивания имеющегося вычислительного и методического аппарата. Данные цифровой радарной интерферометрической модели рельефа SRTM, полученной совместными усилиями NASA и ESA, представляют собой массив высот в метрах с пространственным разрешением до 90 м, распространяемый в виде фрагмен-

тов мозаики шириной 5×5 градусов и доступный на всю территорию планеты до 60 С.Ш. и до 54 Ю.Ш. [1, 2]. Компьютерная обработка и анализ SRTM является источником разнородной информации о территории покрытия, которая может быть извлечена из параметров рельефа, в том числе: устойчивость подстилающих пород к размыву, наличие неоднородностей и разрывов в массиве грунта, гидрологический режим рек и другие сведения.

Несмотря на доступность данных ЦМР широкому кругу исследователей, анализ эрозионной сети и определение порядков ее притоков по Стралеру [3], представляет собой нетривиальную задачу, успешное выполнение которой осложняется наличием артефактов SRTM и тем, что помимо рельефа, в качестве поверхности, отражающей радиоволны, могут выступать растительный слой и местные предметы. Целью настоящей работы является разработка альтернативного алгоритма дешифрирования эрозионной сети на основе SRTM с применением вычислительных средств с открытым исходным кодом. Для достижения поставленной цели необходимо решение задач: формирования потока обработки исходных данных; подбор необходимого математического аппарата для выполнения каждого этапа анализа, а также пробная имплементация алгоритма с разработкой программы-прототипа, выполняющей дешифрирование эрозионной сети по спутниковой ЦМР и ее экспорт в ГИС-совместимый формат.

#### Материалы и методы исследования

Для корректной постановки задач исследования необходимо принимать во внимание, что при описании эрозионной сети, выделяемой на спутниковой основе, речь идет не о буквальных «водотоках», а об их морфологическом выражении в цифровой модели рельефа – тальвегах, т.е. линиях, соединяющих наиболее пониженные участки эрозионной ложбины, вне зависимости от наличия или отсутствия в ней постоянного или временного потока воды.

В качестве существующих методов детектирования объектов эрозионной сети следует отметить: ручное дешифрирование; автоматизированное распознавание с помощью модуля Spatial Analysis ArcGIS [4–6], использование малоизвестного в отечественных исследованиях набора инструментов TopoToolbox проприетарной Mathworks Matlab [7], а также недавнюю разработку исследователей из Флоридского университета, использующую библиотеки Python Numpy (бесплатная программа, поддерживается сообществом) и ArcPy (лицензия ESRI) [8]. Основным недостатком перечисленных инструментов является их привязанность к проприетарным API Matlab и ArcGIS, ограничивающими их применением конечными пользователями. В связи с этим разрабатываемый алгоритм должен адекватно дешифрировать гидросеть с учетом вышеуказанных особенностей исход-

ных данных, разбивать детектированную сеть на притоки и определять их степень ветвления; желательно также не привязывать его имплементацию к коммерческой среде выполнения.

Сведения о распределении высот, представленные в модели SRTM, позволяют судить о морфологии отражающей поверхности и характеристиках подстилающего субстрата, обусловивших наблюдаемую картину. Эрозионное расчленение рельефа, его густота, степень и характер разветвленности свидетельствуют о постоянной или сезонной обводненности территории, а также о ее дренировании. Число Стралера позволяет установить иерархическую соподчиненность водотоков и порядок речных [3]. Этот параметр рассчитывается следующим образом: водотоки, не имеющие притоков, имеют первый порядок, те из них, в которые впадают исключительно водотоки первого порядка, имеют второй порядок, те, в которые впадает водоток второго порядка, имеют третий порядок и т.д.

Разрабатываемый алгоритм должен обладать необходимыми свойствами, включающими: имплементацию методик, описанных в открытых источниках, а также возможность выполнения проектируемых с ним приложений в свободных средствах программирования, средах и языках, что обеспечит повторяемость результатов. Адаптируемость алгоритма должна позволить применять его для анализа территорий, характеризующихся различными особенностями распределения высот. Кроме того, значения ошибок определения высот изображения, являющиеся особенностью SRTM [9], не должны оказывать существенного влияния на детектирование водотоков.

Существующие и описанные в литературе методы распознавания водотоков в самом общем случае сводятся к определению источников («точек начала течения»), мест впадения («точек слияния линейных водотоков друг с другом или с площадным водным объектом»). Применяется нахождение производных и градиентов поверхности рельефа, при этом водоток детектируется как область смены направления градиента поверхности рельефа  $\varphi$ :

$$\text{grad } \varphi = i \frac{\partial \varphi}{\partial x} + j \frac{\partial \varphi}{\partial y}$$

где  $i, j$  – масштабные коэффициенты.

Очевидная логичность данного метода при его практической реализации сталкивает-

ся с затруднением выделения границы направления градиента рельефа в «пойме», т.е. уплощённом днище ложбины эрозионного стока в связи с незначительным относительным перепадом высот, а также наличием помех для отражения: крон деревьев, кустарников и иных объектов. Этот факт снижает эффективность методов, основанных на выявлении направлений изменения высот модели, а также выявления границ градиента, а также делает привлекательными методы, основанные на анализе геометрии и морфологии радарной интерферометрической поверхности.

Предлагаемый алгоритм, использующий методы морфологического анализа, показан на схеме (рис. 1). Он включает два цикла, условно названных «последовательное затопление» и «поиск соседей».

В природе затопление речной долины приводит к формированию на ее участке водной поверхности, границы распространения которой повторяют очертания изолиний рельефа. При этом осевая линия этой поверхности, равноудалённая от изолиний, в начале затопления совпадает с руслом реки, а затем, по мере сокращения долины под водой, смещается к оси речной долины. При затоплении долин ее притоков схожая картина наблюдается и в них. При этом происходит естественное сглаживание небольших неровностей рельефа. Предлагаемая методология использует анализ эрозионной сети, выбор подмножества диапазона высот радарного изображения, морфологические операции утончения, наращивания и скелетизации. Указанные функции входят в библиотеку Scikit-image, предназначенную для анализа изображений в Python [10]. Выбор и маркирование отдельных водотоков осуществлялись с помощью операции `binary labels`, позволяющей присваивать уникальный идентификатор кластеру бинарно-го (черно-белого) изображения.

Тестовая имплементация алгоритма осуществлялась в открытой среде научного программирования Spyder на языке Python3 с использованием, помимо функций ядра Python, а также упоминавшейся выше библиотеки Scikit-image, библиотеки Numpy (численные расчёты) и gdal (Geographic data abstraction library), которые обеспечивают ввод, обработку и вывод численных данных с пространственной привязкой.

Алгоритм включает 4 функциональных блока, работа которых не требует указания пользователем каких-либо параметров, влияющих на результативность анализа, за исключением указания пути к файлу ис-

следуемого изображения (блок 1). Действия блока 2 выполняются циклически с шагом 1/10 перепада высот до достижения максимальной отметки и включают: «затопление», т.е. выбор и создание булевой матрицы для подмножества высот ЦМР, (2.1), морфологическое истончение *skimage.thin* (2.2), удаление части структурного рисунка, входящего в пределы предыдущих полей «затопления» (2.3), сохранение остаточного рисунка в матрице *нераспределенных водотоков* (2.4). По достижении максимальной высотной отметки осуществляется переход к блоку 3, минуя коррекцию массива нераспределенных водотоков с закрытием однопиксельных разрывов фрагментов водотоков, полученных при последовательном затоплении и очисткой структурного рисунка от ошибок дешифрирования («висящих водотоков»). Блок 3 включает поиск точек бифуркации рек и «истоков» водотоков первого порядка с помощью «подсчета соседей» (3.1), морфологическое наращивание (дилатансию) точек бифуркации с помощью дискового «структурного элемента» (3.2), разъединение дешифрированного рисунка в точках бифуркации (3.3), маркирование фрагментов гидросети (3.4) и выбор тех ее фрагментов, которым принадлежат точки начала, в качестве водотоков извлекаемого текущего порядка в матрицу порядков водотоков (МПВ) (3.5). После изъятия водотоков текущего порядка матрица нераспределенных водотоков нуждается в очистке от утолщений в точках бифуркации. Для этого применяется функция 3D скелетизации *skimage.skeletonize\_3d* (3.6). После этого текущий порядок водотоков увеличивается на 1 и происходит возврат к шагу 3.1. Цикл суперблока 3 завершается при отсутствии точек «истока», доступных для определения. Нераспределенному массиву водотоков присваивается последний достигнутый в процессе итераций порядок (число Стралера). В завершении реализующая алгоритм программа формирует и записывает в файл изображение порядка водотоков в формате с геопривязкой (GeoTiff).

#### Результаты исследования и их обсуждение

Применение описанного алгоритма позволило дешифрировать эрозионную сеть с использованием цифровой модели рельефа SRTM для тестового региона. Оценка качества работы модели производилась визуальным сопоставлением полученной крупномасштабной модели гидросети и фактических данных (рис. 2).



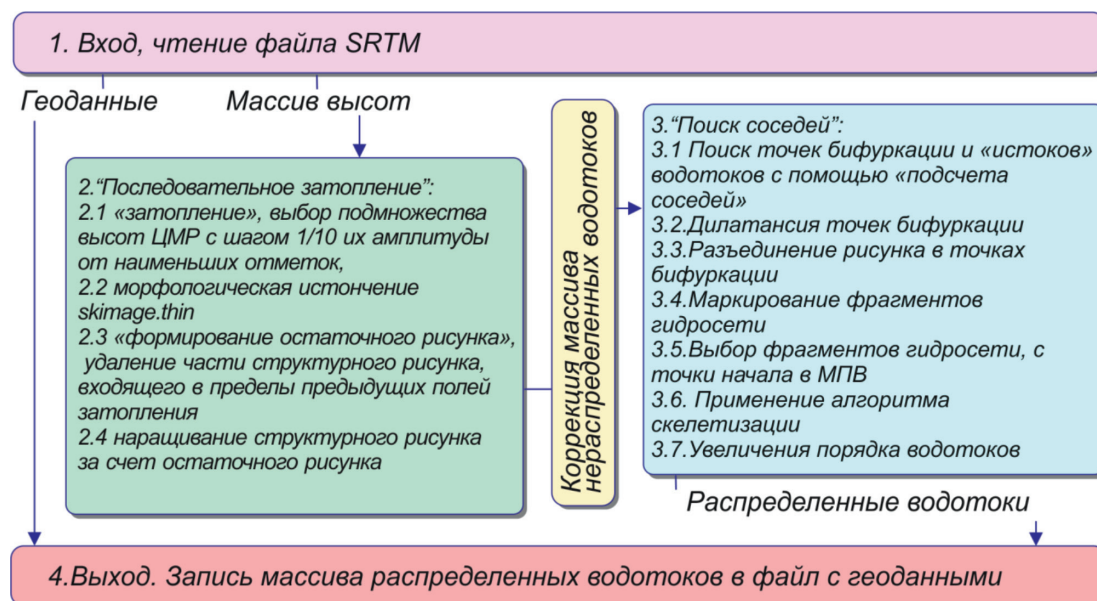


Рис. 1. Блок-схема предлагаемого алгоритма выделения сети водотоков

Результирующая матрица порядков водотоков позволяет охарактеризовать соответствие длин выделенных водотоков и их порядков. Идентифицированные точки бифуркации и «истоки» показаны в виде дополнительного растрового слоя (рис. 2, а). Они позволяют нагляднее представить работу алгоритма. Сопоставление результатов дешифрирования с фактическими данными позволяет говорить о его достаточной достоверности: точность выделения водотоков достигает 83 % процентов (в сопоставлении с глазомерным дешифрированием водотоков на том же участке). Вместе с тем используемый алгоритм не требует применения ресурсоемких коммерческих настольных продуктов, таких как ArcGIS. Интеграция алгоритма и библиотеки GDAL позволит получать в результате работы программы файл с географической привязкой, который можно включить в ГИС-проект.

Для тестового района (пересеченная горно-таежная местность, перепад высот до 997 м) было проведено сопоставление рассматриваемого алгоритма с ближайшим аналогом, дополнением Matlab TopoToolbox [7], результат работы которого показан на рис. 3. Необходимо отметить, что обоими алгоритмами, не требующими пользовательских действий при анализе, были допущены неточности в распознавании водотоков. Так, модуль TopoToolbox, несмо-

тря на высокую точность распознавания водотоков 1-го порядка, допустил разрывы в рисунке гидросети (рис. 3, а, цифры на схеме 1 и 2), что привело к снижению максимального распознанного им порядка (числа Стралера) для эрозионной сети (распознан 4-й, в действительности 5-й порядок). Морфологический алгоритм, предлагаемый нами, установил максимальный распознанный порядок верно, однако им неверно был оконтурен один из притоков (рис. 3, б, цифра на схеме 1), а также объединены в действительности разобщенные элементы гидросети (рис. 3, б, цифра на схеме 2).

Несмотря на то, что оба алгоритма вполне справились с поставленной задачей, для интерпретации результата дешифрирования важно верно определить максимальный порядок водотоков, что не вполне удалось сделать близкому аналогу. Выявленные несовершенства в работе предлагаемого нами алгоритма морфологического дешифрирования послужат основой для дальнейшего развития с целью создания на его основе прикладного программного обеспечения.

### Заключение

Рассмотрены особенности и преимущества морфологического анализа изображений для выделения рисунка эрозионной сети и сегментации порядков ее водотоков.



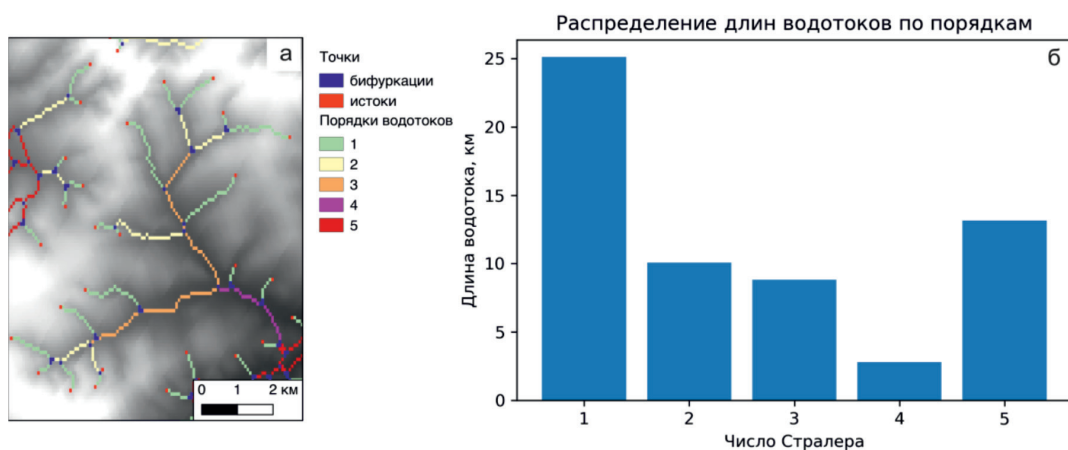


Рис. 2. ЦМР и выявленные с помощью прилагаемого алгоритма водотоки на тестовой площади (а), диаграмма распределения длин водотоков по их порядкам (числу Стралера) (б)

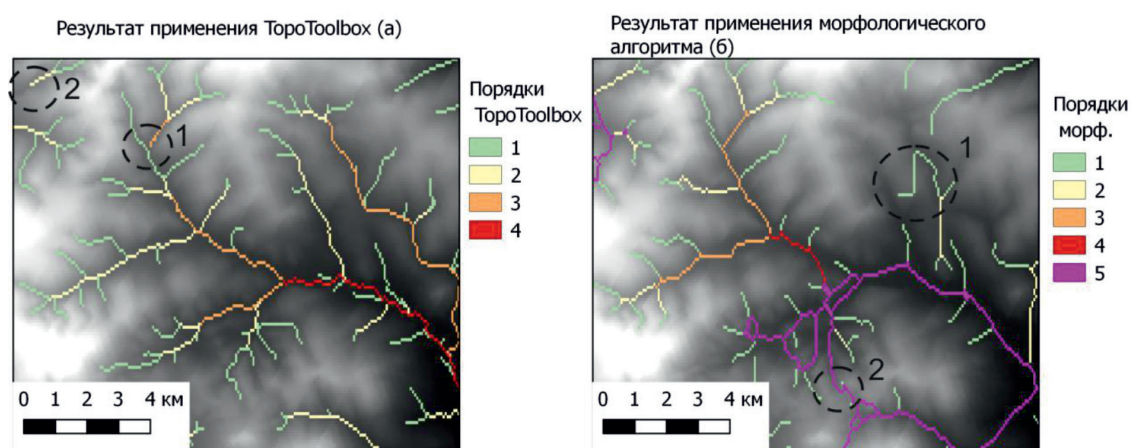


Рис. 3. Сопоставление результатов работы Matlab TopoToolbox (а) и рассматриваемого морфологического алгоритма (б)

Проведенное сопоставление результатов работы предлагаемого алгоритма с ближайшим аналогом, модулем Matlab TopoToolbox [7], выявило недостатки в работе обеих программ, однако разрабатываемый алгоритм корректнее установил максимальный порядок водотоков для территории. С помощью описанного морфологического алгоритма, при его дальнейшем развитии, может быть создано или модернизировано программное обеспечение для географических, геологических и природоохранных целей на основе свободно распространяемых данных ЦМР SRTM. Разработанный алгоритм, опробованный в виде консольного приложения на языке Python, может быть

реализован самостоятельно или в виде дополнения настольной ГИС.

#### Список литературы / References

1. CGIAR Consortium for Spatial Information. SRTM data [Electronic resource]. URL: <http://srtm.csi.cgiar.org> (date of access: 22.11.2018).
2. NASA. SRTM Data Coverage [Electronic resource]. URL: <https://www2.jpl.nasa.gov/srtm/coverage.html> (date of access: 22.11.2018).
3. Strahler A.N. Quantitative analysis of watershed geomorphology. Eos Trans, AGU. 38(6). 1957. P. 913–920.
4. Павлова А.Н. Геоинформационное моделирование речного бассейна по данным спутниковой съемки SRTM (на примере бассейна р. Терешки) // Известия СГУ. Новая серия. Серия Науки о Земле. 2009. Т. 9. № 1. С. 39–44. DOI:10.0000/cyberleninka.ru/article/n/geoinformatsionnoe-modelirovanie-rechnogo-basseyina-po-dannym-sputnikovoy-semki-srtm-na-primere-basseyina-r-tereshki.

Pavlova A.N. Geomodeling of River Basin Based of the Space Data SRTM (as Example of Tereshka River) // Izvestiya SGU. Novaya seriya. Seriya Nauki o Zemle. 2009. T. 9. № 1. P. 39–44 (in Russian).

5. Sumit Das Geomorphic characteristics of a bedrock river inferred from drainage quantification, longitudinal profile, knickzone identification and concavity analysis: a DEM-based study / Das Sumit. Arabian Journal of Geosciences (2018) 11:680. DOI: 10.1007/s12517-018-4039-8.

6. Kusák M., Kropáček J., Vilímek V., Schillaci C. Analysis of the influence of tectonics on the evolution of valley networks based on SRTM DEM, Jemma river basin, Ethiopia / M. Kusák, J. Kropáček, V. Vilímek, C. Schillaci. Geogr. Fis. Dinam. Quat. 2016. 37–50. DOI: 10.4461/GFDQ. 2016.39.4 39.

7. Schwanghart, W., Kuhn, N.J., 2010. TopoToolbox: a set of Matlab functions for topo- graphic analysis. Environ. Modell. Softw. 2010. 25. P. 770–781. DOI: 10.1016/j.envsoft.2009.12.002.

8. Bidhyananda Yadav, Kirk Hatfield Stream network conflation with topographic DEMs. Environmental Modelling & Software. 2018. V. 102. P. 241–249. DOI:10.1016/j.envsoft.2018.01.009.

9. Xiaoqian Zhao, Yanjun Su, Tianyu Hua, Linhai Chena, Shang Gaoa,b, Rui Wang, Shichao Jin, Qinghua Guo A global corrected SRTM DEM product for vegetated areas. Remote Sensing Letters, 2018. V. 9(4). P. 393–402. DOI: 10.1080/2150704X.2018.1425560.

10. Scikit-image. Image processing in Python [Electronic resource]. URL: <https://scikit-image.org> (date of access: 21.11.18).

## СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫЕ НАУКИ

УДК 630\*232:634.24:632.937.31

**НЕКОТОРЫЕ ЭКОЛОГО-БИОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ  
*PADUS MAXIMOWICZII* (RUPR.) SOKOLOV И ПЕРСПЕКТИВЫ  
ЕЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В ИНТРОДУКЦИИ И ЗЕЛЕНОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ****Полещук А.В.***ФНЦ биоразнообразия наземной биоты Восточной Азии ДВО РАН, Владивосток,  
e-mail: poleschuk1962@mail.ru*

Предметом изучения в данной работе была черемуха Максимовича *Padus maximowiczii* (Rupr.) Sokolov. Основной задачей наших исследований являлось уточнение некоторых биоэкологических особенностей черемухи Максимовича с целью выявления перспективы ее практического применения в интродукции и зеленом строительстве. Сбор экспериментального материала осуществляли в южных и в центральных муниципальных районах, в Уссурийском и Партизанском городских округах и в г. Владивостоке Приморского края. Интродукцию черемухи изучали с использованием литературных источников. Уточнение лесоводственных и биоэкологических особенностей черемухи Максимовича в различных фитоценозах проводили методами маршрутных обследований и пробных площадей, заложенных по общепринятым в таксации и лесоустройстве методикам. В результате проведенных исследований было отмечено, что черемуха Максимовича очень редко встречается в городских насаждениях. В то же время она отличается высокими декоративными качествами. Является морозостойким и достаточно теневыносливым растением. Мезотроф, но встречается и на бедных почвах. Мезофит, засухоустойчива, избегает переувлажненных экотопов. Растет умеренно быстро, имея максимальный текущий прирост по высоте до 65 см. Обладает хорошо развитой корневой системой, успешно переносит стрижку и пересадку. В результате интродукции черемухи Максимовича в различных агроклиматических поясах и природных зонах, отличных от ее естественного местопроизрастания эдафическими, орографическими и метеорологическими условиями, можно констатировать, что данный вид обладает достаточно широкой экологической пластичностью по отношению к различным факторам среды. Черемуха Максимовича является достаточно перспективным видом для зеленого строительства. Она может использоваться в групповых посадках в парках и лесопарках в различных природно-климатических условиях в лесной и лесостепной зонах России.

**Ключевые слова:** черемуха Максимовича, эколого-биологические особенности, интродукция, озеленение**SOME ENVIRONMENTAL AND BIOLOGICAL FEATURES  
OF *PADUS MAXIMOWICZII* (RUPR.) SOKOLOV AND PROSPECTS  
FOR ITS USE IN INTRODUCTION AND GREEN CONSTRUCTION****Polishchuk A.V.***Federal Scientific Center of the East Asia Terrestrial Biodiversity, Far Eastern Branch of the Russian  
Academy of Sciences, Vladivostok, e-mail: poleschuk1962@mail.ru*

The object of investigation was Miyama cherry *Padus maximowiczii* (Rupr.) Sokolov. The main task of the work was to specify the ecological and biological features of the Miyama cherry in order to identify its potential use in green construction. The experimental material was collected in the southern and central municipalities, in the Ussuri and Partizansk urban districts, and in the city of Vladivostok, Primorsky Krai. The introduction of the Miyama cherry was studied using literary sources. Refinement of silvicultural and bioecological features of the Miyama cherry in different phytocenoses was carried out using route survey methods and trial plots (TP) laid down according to generally accepted methods of taxation and forest management. As a result of the research it was noted that Miyama cherry very rarely occurs in urban plantations. Meanwhile, this species has high decorative qualities. It is frost-resistant and quite shade-tolerant plant. It is mesotroph, but also is found in poor soils. It is mesophyte, drought-resistant, avoids water-logged ecotopes. It grows moderately fast, having a maximum current height increase up to 65 cm. It has a well-developed root system, successfully tolerates tree trimming and transplant. Miyama cherry is introduced in different natural-climatic conditions which differ from the conditions of its natural growth by the degree of continentality, the level of heat and moisture availability and other indicators of environmental conditions. Miyama cherry is quite a promising species for green construction. It can be used in group plantings in parks and forest parks in different natural-climatic conditions in the forest and forest-steppe zones of Russia.

**Keywords:** Miyama cherry, ecological and biological features, introduction, gardening

Общее число видов черемухи назвать сложно, так как разными авторами некоторые виды относятся к другим родам (*Cerasus* Mill., *Prunus* L.). Очевидно, их насчитывается около 20–35 видов [1, 2]. В лесах Приморского края из рода *Padus* Mill. в естественных условиях произрастают черёмуха

азиатская (*Padus asiatica* Kom.), черёмуха Маака (*P. maackii* (Rupr.) Kom.) и черемуха Максимовича (*P. maximowiczii* (Rupr.) Sokolov) [3]. Сведения о представителях рода *Padus* Mill. содержатся во многих литературных источниках. В ряде работ имеются сообщения о хозяйственном использовании

черемух, их технических и пищевых свойствах [4–6]. Большинство видов черемух представляют интерес как источники биологически активных веществ, обладающих различными фармакологическими свойствами [7], рассматриваются некоторые вопросы интродукции и озеленения [8–10], так же в ряде публикаций предоставлены сведения в отношении лесоводственно-экологических свойств представителей рода *Padus* Mill. [11–13]. В то же время в большинстве работ сведения о черемухе Максимовича носят разрозненный характер и содержат преимущественно краткую информацию. В настоящее время очень мало сообщений, затрагивающих вопросы интродукции и эколого-биологических особенностей черемухи Максимовича. Несомненно, то, что для более полного выяснения эколого-биологических особенностей вида важно установить динамику развития в процессе онтогенеза не только в естественных экотопах, но и за их пределами, особенно в регионах, отличающихся по природно-географическим условиям от области естественного произрастания. Поэтому обобщение результатов наших исследований, выполненных во время полевых работ в Приморском крае, а также при изучении литературных источников, позволяет нам дать комплексную и более подробную характеристику некоторых биэкологических особенностей черемухи Максимовича с целью выявления перспективы ее практического применения в интродукции и зеленом строительстве.

Предметом изучения в данной работе была черемуха Максимовича *Padus taximowiczii* (Rupr.) Sokolov [1, 3]. Свое видовое название черемуха получила в честь академика К.И. Максимовича, внесшего значительный вклад в ботанические исследования на юге Дальнего Востока.

Данный вид представляет собой стройное дерево 15–18, иногда до 23 м высоты. Стволы в диаметре до 20–30 см покрыты темно-серой, шелушащейся корой. Листья 4–7(9)×2–4(5) см, от яйцевидных и эллиптических, ромбически-эллиптических до обратнояйцевидных, внезапно или удлинненно-остроконечные, с клиновидным или округлым основанием, мягкие, дважды или трижды крупнозубчатые, сверху матовые, светло-зеленые, голые и опушенные, снизу по жилкам волосистые. Черешки 7–15 мм длины, опушенные, без железок [1]. Плоды яйцевидно-округлые до 8 мм длины и 7 см ширины. При созревании почти черные с горькой и несъедобной мякотью фиолето-

вого цвета. Созревают плоды в августе-сентябре [5].

На Дальнем Востоке России черемуха Максимовича произрастает в Приморском крае в южных и юго-восточных районах Хабаровского края и на острове Сахалине. За пределами Российской Федерации ареал включает в себя северокайские провинции Хэйлунцзян, Гирин, Ляонин, Чжэцзян. Далее в южном направлении область распространения черемухи простирается на Корейский полуостров и близлежащие острова. В Японии данный вид встречается на островах Хоккайдо, Хонсю и Кюсю [14, 15].

Черемуха Максимовича не образует самостоятельных лесных формаций ввиду незначительного участия в сложении древостоев. Чаще всего она растет отдельными особями или небольшими биогруппами в кедрово-широколиственных, чернопихто-широколиственных, кедрово-еловых лесах на горных склонах, поднимаясь вверх до 700–800 м над ур. м. [5, 8]. В Южном Приморье черемуха Максимовича встречается в кленово-лещинных кедровниках с липой и дубом (К–VI) [16], широколиственно-чернопихтово-кедровых типах, во влажных крупно-папоротниковых кедровниках, а также в производных дубовых, осиновых и белоберезовых фитоценозах [17–19].

Экологические свойства растений характеризуют отношения их к тем или иным экологическим факторам, поэтому каждый вид занимает в биосфере свою экологическую нишу. Возможность растений приспосабливаться к различным факторам среды и способность их занимать оптимальные экотопы определяется экологической амплитудой вида. Чем шире его экологическая амплитуда, тем более успешно он способен адаптироваться к различным условиям внешней среды.

Черемуха Максимовича является достаточно холодостойким видом, что подтверждается ее широтным местопроизрастанием. В Приморье размещается средняя часть ареала, тогда как самое северное местонахождение этой черемухи отмечено в районе рек Амура и Яй, южнее 51°45'с.ш. в Ульском районе Хабаровского края. Среднегодовая температура воздуха в континентальной части района колеблется от –0,8° до –2,8°С с абсолютным минимумом на уровне –45°; –50°С. Продолжительность вегетационного периода в данном районе составляет около 154 дней, с количеством осадков 470–480 мм.

Климатические показатели районов распространения черемухи Максимовича

| Административ-<br>ные районы | Продолжительность |                                |     | Сумма темпе-<br>ратур за период | Средняя темпе-<br>ратура воздуха<br>в 13 час за июль | Абсолютная мак-<br>симальная темпе-<br>ратура воздуха | Абсолютная тем-<br>минимальная тем-<br>пература воздуха | Среднее количество |                               |
|------------------------------|-------------------|--------------------------------|-----|---------------------------------|------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|--------------------|-------------------------------|
|                              | периода (дни)     |                                |     |                                 |                                                      |                                                       |                                                         | за год             | за период<br>апрель – октябрь |
|                              | безморозного      | с температурой<br>воздуха выше |     |                                 |                                                      |                                                       |                                                         |                    |                               |
|                              |                   | 5°                             | 10° |                                 |                                                      |                                                       |                                                         |                    |                               |
| Красноармейский              | 139               | 174                            | 134 | 2265                            | 25                                                   | 36                                                    | –51                                                     | 833                | 621                           |
| Дальнереченский              | 138               | 177                            | 140 | 2371                            | 25                                                   | 39                                                    | –49                                                     | 719                | 511                           |
| Кировский                    | 148               | 189                            | 149 | 2612                            | 25                                                   | 38                                                    | –44                                                     | 645                | 472                           |
| Чугуевский                   | 120               | 179                            | 128 | 2180                            | 25                                                   | 39                                                    | –48                                                     | 832                | 494                           |
| Кавалеровский                | 138               | 189                            | 132 | 2064                            | 22                                                   | 39                                                    | –30                                                     | 746                | 511                           |
| Ольгинский                   | 109               | 179                            | 130 | 2112                            | 23                                                   | 38                                                    | –38                                                     | 688                | 471                           |
| Ханкайский                   | 155               | 173                            | 138 | 2395                            | 24                                                   | 37                                                    | –42                                                     | 511                | 381                           |
| Спасский                     | 154               | 183                            | 145 | 2480                            | 24                                                   | 36                                                    | –46                                                     | 567                | 433                           |
| Анучинский                   | 141               | 187                            | 143 | 2469                            | 25                                                   | 38                                                    | –44                                                     | 631                | 451                           |
| Пограничный                  | 157               | 187                            | 151 | 2562                            | 25                                                   | 39                                                    | –37                                                     | 586                | 435                           |
| Шкотовский                   | 141               | 183                            | 135 | 2205                            | 22                                                   | 36                                                    | –38                                                     | 594                | 400                           |
| Хасанский                    | 160               | 199                            | 151 | 2509                            | 22                                                   | 37                                                    | –32                                                     | 710                | 548                           |



Климатические показатели административных районов Приморского края в пределах естественного распространения черемухи Максимовича приведены в таблице.

Черемухе Максимовича свойственна высокая зимостойкость, в пределах естественного распространения в северной части ареала она выдерживает достаточно низкие температуры воздуха, которые в отдельные годы могут опускаться до отметок  $-45^{\circ}$ ;  $-50^{\circ}\text{C}$ .

По отношению к свету черемуху Максимовича можно отнести к относительно теневыносливым видам. По нашим данным в стадии подроста она вполне успешно развивается под пологом среднесомкнутых древостоев. В то же время, в насаждениях с высокой сомкнутостью крон (0,8–1,0) наблюдается куртинное размещение подроста, приуроченного к более освещенным местам, расположенным вдоль просек, дорог, опушек и т.д. С увеличением возраста потребность в свете у черемухи возрастает, что было отмечено нами в кедрово-широколиственных и чернопихтово-широколиственных лесах с высокой сомкнутостью крон [12]. В полидоминантных, многоярусных лесах черемуха Максимовича участвует в сложении второго либо третьего яруса древостоя, при средней высоте  $9 \pm 0,95$ – $11 \pm 3,6$  м и  $10 \pm 0,3$  –  $15 \pm 0,7$  см в диаметре. В данных лесорастительных условиях запасы биомассы у черемухи невелики и составляют не более  $6 \pm 0,28$  м<sup>3</sup>/га. В результате проведенных исследований, в лесах пройденных выборочными рубками 30–50 лет назад и в низкосомкнутых древостоях, образовавшихся в результате распада верхнего полога, у черемухи зафиксировано увеличение приростов по высоте, диаметру и объему. В таких условиях местопроизрастания она отличается хорошим ростом и развитием, достигая в данных экотопах  $20 \pm 0,9$  м в высоту и до  $22 \pm 1$  см в диаметре. При среднем запасе до  $15 \pm 0,42$  м<sup>3</sup>/га.

Рельеф не является необходимым условием для роста и развития растений, но играет существенную роль в регулировании гидрологического и теплового режимов почв и воздуха, которые уже непосредственным образом оказывают существенное влияние на формирование растительности. По нашим наблюдениям, черемуха Максимовича в лесах Приморского края растет в разных орографических условиях: на склонах и водоразделах, у истоков горных ключей и рек. Во всех этих условиях черемуха участвует в сло-

жении древостоев, имея при этом разную интенсивность роста и продуктивность.

В то же время роль рельефа весьма велика в распространении и развитии черемухи Максимовича. На крутых южных склонах она практически не принимает участия в сложении древостоев, предпочитая склоны северо-восточной, северо-западной, юго-восточной и западной ориентации от 250 до 800 м над уровнем моря.

В результате проведенных исследований в лесах Приморского края было отмечено, что черемуха Максимовича не образует самостоятельных лесных формаций, вследствие незначительной доли участия в сложении древостоев. Исследования динамики приростов черемухи показали, что наиболее интенсивный рост по высоте, объему и диаметру у нее наблюдается в период от 10 до 20 лет. В данный промежуток времени черемуха обладает быстрым ростом в высоту, имея ежегодный прирост до  $65 \pm 2,2$  см.

Интродукция хозяйственно ценных видов древесных растений способствует повышению видового биоразнообразия искусственных и естественных фитоценозов, улучшает эстетические и санитарно-оздоровительные функции зеленых насаждений. Введение в лесные культуры и в зеленое строительство древесно-кустарниковых видов, обладающих высокими лесоводственными, декоративными и техническими свойствами, позволяет значительно сократить сроки создания различных групп садово-парковых ландшафтов. Общеизвестно, что полидоминантные по составу искусственные фитоценозы всегда оказываются более устойчивыми к энто-фитовредителям, имеют большую продуктивность по сравнению с монодоминантными насаждениями. Поэтому сохранение биоразнообразия природных экосистем и увеличение видового ассортимента в искусственных насаждениях является актуальным и для городского зеленого строительства. К тому же высокая доля озелененных территорий в общей площади города является косвенным показателем комфортности проживания человека в городской среде [20].

Черемуха Максимовича в культуре известна с 1890 г., имеется в интродукции в Западной Европе и Северной Америке. За пределами естественного произрастания культивируется в некоторых городах расположенных южнее Санкт-Петербурга и Москвы. Испытывается в арборетумах Хабаровска, Иркутска, Абакана, Новосибирска, Барнаула и Омска. В условиях Аба-

кана цветет, но завязи опадают, устойчива. В Новосибирске часть деревьев погибла, у оставшихся иногда повреждаются годовые побеги, плодоносит. В Барнауле сильно выпревает, цветет и плодоносит слабо. В Омске редко подмерзает годичный прирост. В Красноярске погибла [1]. Имеется в посадках на лесостепной опытной станции в Орловской области, в Уфе вымерзает.

По данным коллектива авторов [21] черемуха Максимовича в ГБС в интродукции с 1953 г. 8 образцов (21 экз.), которые выращены из семян и саженцев, полученных из природных местообитаний, семян из Санкт-Петербурга, есть растения репродукции ГБС. В 39 лет высота 14,5 м, диаметр ствола 18 см. Вегетирует с 29.IV +4 по 5.X +8 в течение 158 дней. Темп роста средний. Цветет с 19X + 6 по 25X + 9 в течение 6 дней. Плодоносит с 9 лет, плоды созревают 13.VIII + 7. Зимостойкость I–II. Всхожесть семян 45 %. Укореняется 60 % черенков (без обработки). Отнесена к 1 группе перспективности, ее рекомендовали для озеленения Москвы.

В условиях юга Средней Сибири в Ботаническом саду им. Вс.М. Крутовского черемуха Максимовича имеет высоту 4,9 м при среднем диаметре до 10 см. В данных почвенно-климатических условиях она зарекомендовала себя как вполне перспективный вид и может быть использована для озеленения городских территорий [22].

Во флоре парка «Харинка» г. Иванова, по сведениям Е.А. Борисовой [23], в центральной части парка растет крупный экземпляр черемухи Максимовича, посаженный в 1960 гг. В данных условия формирование и вызревание плодов происходит в небольшом количестве, хотя ежегодно наблюдается обильное цветение. В подлеске сосново-березового леса парка в 2006 г. впервые отмечено естественное возобновление черемухи, представленное несколькими небольшими сеянцами [24]. Разновозрастный самосев черемухи Максимовича зафиксирован на левом берегу р. Харинки в районе Горино [23].

На Дальнем Востоке черемуха Максимовича имеется в посадках в дендрариях Амурской лесной опытной станции (г. Свободный), ДальНИИЛХа (г. Хабаровск), Горнотажной станции (г. Уссурийск) и Ботаническом саде-институте (г. Владивосток).

За пределами России черемуха Максимовича была интродуцирована в США в Арнольд-арборетуме при Гарвардском университете в 1892 г. А. Редер отмечал вы-

сокие декоративные качества черемухи и рекомендовал использовать ее для озеленения в США в пределах 36–45° с.ш. [25, с. 476].

Черемуха Максимовича в Молдавии известна в культуре в Гырбовце близ Бендер. В.Н. Андреев [26, с. 476] рекомендовал использовать её для озеленения и введения в культуру в садах и парках Молдавии. В условиях Беларуси черемуха отмечалась в качестве натурализовавшегося вида во флоре [27].

В озеленении городов Дальнего Востока очень мало используются дальневосточные виды растений, во многих искусственных посадках преобладают однообразные насаждения, представленные несколькими видами растений. В Хабаровске в зеленом строительстве более 50 % приходится на тополево-ильмовые искусственные фитоценозы [28, 29]. Немногим лучше обстоят дела в области озеленения городов Приморского края. По данным Н.С. Шиховой [30] разнообразие древесных растений Владивостока представлено 84 видами. Тем не менее видовое разнообразие большей части аллейных и рядовых посадок города представлено лишь 2–7 древесно-кустарниковыми видами. Видовой состав зеленых насаждений г. Уссурийска представлен 26 древесными видами. В аллейных посадках доминируют ильм мелколистный, ясень маньчжурский и береза плосколистная. Аналогичная картина складывается в озеленении Арсеньева, Артема, Находки и других городах и населенных пунктах Приморья.

При маршрутном обследовании зеленых насаждений городов и поселков Приморья было отмечено, что черемуха Максимовича практически не участвует в зеленом строительстве, хотя и обладает высокими декоративными качествами. Между тем этот вид имеет достаточно широкую экологическую пластичность по отношению к эдафическим, орографическим и климатическим факторам [31], является морозостойким и достаточно теневыносливым растением. Мезотроф, но встречается и на бедных почвах. Мезофит, засухоустойчива, избегает переувлажненных экотопов. Растет умеренно быстро, имея максимальный текущий прирост по высоте до  $65 \pm 2,2$  см. Обладает хорошо развитой корневой системой, успешно переносит стрижку и пересадку. Ежегодное обильное цветение в сочетании с распускающимися бронзовыми листочками весной и ярко-красная раскраска листьев в осенний период привлекает внимание сво-

им эффективным видом. Декоративна черему-ха и светло-зеленой листвой, темно-серой до черноватой, отслаивающейся круглыми чешуйками корой. Внешние формы черему-хи Максимовича, сочетающие в себе инди-видуальные биоморфологические особен-ности, выдвигают ее в ряд древесных видов, обладающих высокими декоративными ка-чествами. Черемуху предлагается [32] ши-роко использовать в лесопарках и озелени-тельных работах небольшими группами или в качестве солитеров в опушках, на полянах и лужайках. Возможна и аллеяная посадка. Пригодна она также для облесения склонов гор и устройства защитных полос.

### Заключение

В результате проведенных исследова-ний в лесах Приморского края было отме-чено, что черемуха Максимовича не обра-зует самостоятельных лесных формаций, вследствие незначительной доли участия в сложении древостоев. В молодом воз-расте черемуха обладает быстрым ростом в высоту, что в перспективе можно будет использовать при создании аллеяных поса-док. Практическое использование черему-хи Максимовича при интродукции в различ-ных агроклиматических поясах и природ-ных зонах, отличающихся от условий есте-ственного местопроизрастания, позволяет отнести ее к древесным видам, способным успешно адаптироваться к изменяющимся факторам среды.

Таким образом, внешние формы и физи-ономический облик черему-хи Максимовича в сочетании с индивидуальными экологи-биологическими особенностями позволяет отнести ее к высокодекоративным растени-ям, представляющим собой несомненную художественную ценность для садово-пар-кового строительства.

### Список литературы / References

1. Коровачинский И.Ю., Ветовская Т.Н. Древесные рас-тения Азиатской России. Новосибирск: Изд-во СО РАН, Фи-лиал «Гео», 2002. С. 335–340.
2. Безменова М.Д., Сорокопудов В.Н., Резанова Т.А. Некоторые аспекты адаптации видов черему-хи (*Padus Mill*) в условиях Белогорья // Научные ведомости БелГУ. Серия: Естественные науки. 2010. № 15 (86). Выпуск 12. С. 66–71.
3. Bezmenova M.D., Sorokopudov V.N., Rezanova T.A. Some aspects of adaptation of bird cherry species (*Padus Mill*) in the white mountains // Nauchnyye vedomosti BelGU. Seriya: Estestvennyye nauki. 2010. № 15 (86). Vyp. 12. P. 66–71 (in Russian).
4. Биоразнообразие Дальневосточного экорегиональ-ного комплекса. Монография. / Под ред. акад. РАН П.Г. Го-рового. Владивосток, 2004. 187 с.

Biodiversity of the far Eastern Ecoregional complex. Monografiya. / Pod red. akad. RAN P.G. Gorovogo. Vladivo-  
stok, 2004. 187 p. (in Russian).

4. Типсина Н.Н., Яковчик Н.Ю., Глазырин С.В. Пер-спективы использования черему-хи обыкновенной // Вест-ник КрасГАУ. 2013. № 10. С. 262–270.

Tipsina N.N., Yakovchik N.Yu., Glazyrin, S.V. Prospects for the bird cherry use // Vestnik KrasGAU. 2013. № 10. P. 262–270 (in Russian).

5. Усенко Н.В. Деревья, кустарники и лианы Дальнего Востока: Справочная книга. 3-е изд. Хабаровск: «Приамур-ские ведомости», 2010. 272 с.

Usenko N.V. Trees, bushes and creepers of the Far East: A reference book. 3-e izd. Habarovsk: «Priamurskie vedomosti», 2010. 272 p. (in Russian).

6. Гуков Г.В., Зориков П.С., Розломий Н.Г., Коляда Н.А. Перспективные древесные растения для зеленых насажде-ний Дальнего Востока: декоративные, технические, пище-вые и лекарственные свойства: монография. Уссурийск: ГТС ДВО РАН, 2012. С. 115.

Gukov G.V., Zorikov P.S., Rozlomij N.G., Kolyada N.A. Perspective woody plants for green plantations of the Far East: decorative, technical, food and medicinal properties. Ussuriysk: GTS DVO RAN, 2012. P. 115 (in Russian).

7. Царенко Н.А. Фенольные соединения плодов некото-рых видов *Padus* и *Cerasus* (Rosaceae) // Вестник КрасГАУ. 2010. № 3. С. 49–57.

Tsarenko N.A. Fruits Phenol Compounds of Some *Padus* and *Cerasus* (Rosaceae) Species // Vestnik KrasGAU. 2010. № 3 P. 49–57 (in Russian).

8. Коровачинский И.Ю., Лоскутов Р.И. Древесные растения для озеленения Красноярск. Новосибирск: Гео, 2014. 320 с.

Koropachinsky I.Yu., Loskutov I.R. Woody plants for land-  
scape gardening of Krasnoyarsk. Novosibirsk: Geo, 2014. 320 p. (in Russian).

9. Алехина И.В., Шлапакова С.Н., Лукашов Е.С. Ви-довой состав и состояние древесных интродуцентов в на-саждениях г. Брянска // Научные ведомости БелГУ. Серия: Естественные науки. 2012. № 21–1 (140). С. 43–48.

Alekshina I.V., Shlapakova S.N., Lukashov, E.S. Spe-  
cific Structure and Condition of the Wood Introdutsentov in  
Plantings of Bryansk // Nauchny'e vedomosti BelGU. Seriya:  
Estestvenny'e nauki. 2012. № 21–1 (140). P. 43–48 (in Russian).

10. Буторова О.Ф., Матвеева Р.Н., Федурин Е.П. Ин-тродукция дальневосточных видов в Ботаническом саду им. В.М. Крутовского // Научные ведомости БелГУ. Серия: Естественные науки. 2011. № 14–1 (98). С. 10–13.

Butorova O.F., Matveeva, R.N., Fedorina E.P. Introduction Far East Kinds in a Botanical Garden Name Vs.M. Krutovskii // Nauchny'e vedomosti BelGU. Seriya: Estestvenny'e nauki. 2011. № 14–1 (98). P. 10–13 (in Russian).

11. Романова А.Б. Влияние экологических условий на состояние редких видов интродуцентов // Научные ведомо-сти БелГУ. Серия: Естественные науки. 2011. № 14–1 (98). С. 158–164.

Romanova A.B. Effect of Environmental Conditions on the Rare Species Introductions // Nauchny'e vedomosti BelGU. Seriya: Estestvenny'e nauki. 2011. № 14–1 (98). P. 158–164 (in Russian).

12. Полещук А.В., Полещук В.А. Темпы роста и нако-пление биомассы черему-хи Максимовича в условиях Юж-ного Приморья // Вестник КрасГАУ. 2014. № 12. С. 118–124.

Poleshchuk A.V., Poleshchuk V.A. Growth Rates and Bio-  
mass Accumulation of the Maksimovich Bird Cherry Tree in the  
South Primorye Conditions // Vestnik KrasGAU. 2014. № 12.  
P. 118–124 (in Russian).

13. Полещук А.В. Лесоводственные свойства предста-вителей рода *Padus Mill* в Приморском крае // Успехи совре-менной науки и образования. 2016. Т. 7. № 12. С. 156–159.

Poleshchuk A.V. Silvicultural Properties Of Members of the Genus *Padus Mill* in Primorsky Krai // Uspexi sovremennoj nauki i obrazovaniya. 2016. № 12. Т. 7. P. 156–159 (in Russian).



14. Hassler M. World Plants: Synonymic Checklists of the Vascular Plants of the World (version Apr 2018) [Electronic resource]. URL: <http://www.catalogueoflife.org/col/> (date of access: 15.11.2018).
15. Chan-Soo Kim, Myung-Ok Moon, Hwa-Ja Hyeon, Kwang-Ok Byun. Ligneous Flora of Jeju Island. Korea Forest Research Institute. 57 Hoegi-Ro. Dongdaemun-Gu. Seoul 130-712. Korea, 2010. 73 p.
16. Жабыко Е.В., Гладкова Г.А., Бутовец Г.Н. Начальные этапы формирования растительности на ветровально-почвенных комплексах // Вестник КрасГАУ. 2010. № 6. С. 27–32.
- Zhabyko E.V., Gladkova G.A., Butovets G.N. Primes of Vegetation Formation on the Windfall-Soil Complexes // Vestnik KrasGAU. 2010. № 6. P. 27–32 (in Russian).
17. Жильцов А.С. Гидрологическая роль горных хвойно-широколиственных лесов Южного Приморья. Владивосток: Дальнаука, 2008. 332 с.
- Zhiltsov A.S. The hydrological role of mountain coniferous-deciduous forests of southern Primorye. Vladivostok: Dal' nauka, 2008. 332 p. (in Russian).
18. Кудинов А.И. Динамика производных фитоценозов на юге Приморского края. Владивосток: Дальнаука, 2012. 140 с.
- Kudinov A.I. The Dynamics of derivatives of phytocenoses in the South of Primorsky Krai. Vladivostok: Dal' nauka, 2012. 140 p. (in Russian).
19. Полешук А.В., Гриднев А.Н., Полешук В.А. Объёмные таблицы для черёмухи Максимовича в Приморском крае // Вестник КрасГАУ. 2017. № 12. С. 135–142.
- Poleshchuk A.V., Gridnev A.N., Poleshchuk V.A. Three-Dimensional Tables for Maximowicz Bird-Cherry Tree Trunks in Primorsky Region // Vestnik KrasGAU. 2017. № 12. P. 135–142 (in Russian).
20. Дебелая И.Д. Рациональное природопользование. Хабаровск: Изд-во Тихокеан. гос. ун-та, 2012. 142 с.
- Debelaya I.D. Rational nature management. Khabarovsk: Izd-vo Tikookean. gos. un-ta, 2012. 142 p. (in Russian).
21. Древесные растения Главного ботанического сада им. Н.В. Цицина РАН: 60 лет интродукции. М.: Наука, 2005. 586 с.
- Woody plants of the Main Botanical Garden. N.V. Tsitsina RAN: 60 years of introduction. M.: Nauka, 2005. 586 p. (in Russian).
22. Шаранова О.О. Изменчивость древесных растений Дальневосточной флоры в Ботаническом саду им. Вс.М. Крутовского // Плодоводство, семеноводство, интродукция древесных растений. Изд-во: Сибирский государственный технологический университет, 2016. Т. XIX. № XIX (1). С. 115–117.
- Sharanova O.O. Variability of woody plants of the Far Eastern flora in the botanical garden of VMS. Krutovsky // Fruit growing, seed-growing, introduction of woody plants. Izd-vo: Sibirskij gosudarstvennyj tekhnologicheskij universitet, 2016. T. XIX. № XIX (1). P. 115–117 (in Russian).
23. Борисова Е.А. Флора парка «Харинка» города Иванова // Вестник Ивановского государственного университета. Серия: Естественные, общественные науки. 2015. № 1. С. 5–9.
- Borisova E.A. Flora of Ivanovo city Park «Kharinka» // Vestnik Ivanovskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya «Estestvenny'e, obshhestvenny'e nauki». 2015. № 1. P. 5–9 (in Russian).
24. Борисова Е.А., Сениюшкина И.В. Новые адвентивные виды в областях Верхне-Волжского региона // Бюллетень МОИП. Отдел биологический. 2008. Т. 113. № 6. С. 54–55.
- Borisova E.A., Senyushkina I.V. New adventive species in the Upper-Volga region // Byulleten' MOIP. Otdel biologicheskij. 2008. T. 113. № 6. P. 54–55 (in Russian).
25. Render A. Manual of cultivated trees and shrubs: Hardy in North America. N.Y.: Macmillan Co., 1949. P. 476.
26. Андреев В.Н. Деревья и кустарники Молдавии. Выпуск 2. Покрытосеменные семейства Магнолиевые–Розаные. Кишинев, 1964. 276 с.
- Andreev V.N. Trees and shrubs of Moldova. Angiosperms Magnoliaceae families-Rozannye. Chisinau, 1964. 256 p. (in Russian).
27. Дубовик Д.В., Скуратович А.Н., Третьяков Д.И. Инвазионные виды во флоре Беларуси // Проблемы сохранения биологического разнообразия и использования биологических ресурсов: материалы II-ой Международной научно-практической конференции. Сб. науч. работ. Минск: Минсктиппроект, 2012. С. 446.
- Dubovik D.V., Skuratovich A.N., Tretyakov D.I. Invasive species in the flora of Belarus // Problems of Conservation of Biological Diversity and Use of Biological Resources: Proceedings of the II International Scientific and Practical Conference. Sci. works. Minsk: Minsktipproekt, 2012. P. 446 (in Russian).
28. Бабуринов А.А., Морозова Г.Ю. Ассортимент пород в озеленении Хабаровска // Вестник ИрГЦХА. 2011. № 44–5. С. 19–26.
- Baburin A.A., Morozova G.Yu. Assortment of water in the gardening of Khabarovsk // Vestnik IrGSKHA. 2011. № 44–5. P. 19–26 (in Russian).
29. Нечаев А.А., Грек В.С. Роль дикорастущих ягодных растений в озеленении г. Хабаровска // К 50-летию кафедры лесоводства Института лесного и лесопаркового хозяйства Приморской ГСХА: Юбилейный сборник научных трудов. Уссурийск, 2010. С. 201–217.
- Nechaev A.A., Grek V.S. The role of wild berry plants in the gardening of Khabarovsk // K 50-letiyu kafedry lesovodstva Instituta lesnogo i lesoparkovogo hozyajstva Primorskoj GSKHA: Yubilejnyj sbornik nauchnyh trudov. Ussurijsk, 2010. P. 201–217 (in Russian).
30. Шихова Н.С. Мониторинг экологического состояния придорожных насаждений г. Владивостока // Вестник ИрГЦХА. 2011. № 44–2. С. 158–165.
- Shikhova N.S. Monitoring of the ecological condition of roadside plantations in Vladivostok // Vestnik IrGSKHA. 2011. № 44–2. P. 158–165 (in Russian).
31. Полешук А.В. Биоэкологические свойства черемухи российского Дальнего Востока // Ежегодная конференция научных сотрудников (29–30 марта 2012, Владивосток). Бюллетень Ботанического сада-института ДВО РАН. 2013. Вып. 10. С. 35–38 [Электронный ресурс]. URL: <http://www.botsad.ru/media/cms/2256/35-38.pdf> (дата обращения: 10.09.2018).
- Poleshchuk A.V. Bioecological properties of wild cherries of the Russian Far East // Ezhegodnaya konferenciya nauchnyh sotrudnikov (29–30 marta 2012, Vladivostok). Byulleten' Botanicheskogo sada-instituta DVO RAN. 2013. Vyp. 10. P. 35–38 [Electronic resource]. URL: <http://www.botsad.ru/media/cms/2256/35-38.pdf> (date of access: 10.09.2018) (in Russian).
32. Царенко Н.А. Красивоцветущие восточно-азиатские виды подсемейства сливовые (Prunoideae Focke) // Вестник ДВО РАН. 2011. № 2. С. 124–128.
- Tsarenko N.A. Ornamental East Asian species of the plum subfamily (Prunoideae Focke) // Vestnik DVO RAN. 2011. № 2. P. 124–128 (in Russian).

УДК 630\*432.32

## ЭФФЕКТИВНЫЕ ОРУДИЯ И МЕХАНИЗИРОВАННЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ УСТРОЙСТВА, ПРИМЕНЯЕМЫЕ ПРИ ПРОФИЛАКТИКЕ И ТУШЕНИИ ЛЕСНЫХ ПОЖАРОВ

Шанин И.И., Лысыч М.Н.

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова»,  
Воронеж, e-mail: kingoao@mail.ru

Рассматривая орудия и механизированные технические устройства, применяемые при профилактике и тушении лесных пожаров, можно отметить, что, по оценкам различных экспертов, в текущем периоде производственная база по производству лесных и лесохозяйственных машин практически полностью разрушена. Не последнюю роль в этом сыграла ликвидация тракторных заводов в Алтайском крае, Сиктывкар, Красноярском крае, Пермском крае и ряде других регионов. Но в настоящее время еще функционирует производство тракторной лесозаготовительной техники в Онеге, Екатеринбурге и Йошкар-Оле, продукция на данных предприятиях выпускается мелкими партиями. Современному мировому и научному уровню качество выпускаемой лесозаготовительной, противопожарной техники в России не соответствует по многим показателям, в значительной мере уступает импортным конкурентам. Стоит отметить, что на официальном уровне признана несостоятельность и разрук отраслевой научно-исследовательской и проектной базы развития машиностроения в лесопромышленном комплексе. На фоне этого наблюдается утрата существовавшей базы сервисного и технического обслуживания отечественной лесопромышленной техники. В этих условиях в лесопромышленном комплексе активно приобретаются импортные машины, в основном на колёсной базе, которые не приспособлены к сложным условиям работы и эксплуатации. В то же время наблюдается рост присутствия в российском лесопромышленном комплексе импортной поддержанной техники. Наряду с этими проблемами необходима мощная государственная поддержка производства лесопромышленных машин и оборудования, в том числе направленных на профилактику и тушение лесных пожаров. Только мощная поддержка на государственном уровне может обеспечить качественный рынок не только в производственном направлении лесопромышленной техники, для российских лесных нужд по доступным ценам, но и при разработке наиболее востребованных инновационных образцов машин и механизмов в лесопромышленном комплексе. Развитие машиностроительного направления позволит вывести на новый уровень соответствующий сегмент отечественного рынка техники и механизмов, что позволит создать условия для повышения конкурентных преимуществ и дальнейшего развития лесопромышленного комплекса.

**Ключевые слова:** лесные пожары, минерализованные полосы, лесной грунтомет, возобновление лесных ресурсов

## THE EFFECTIVE TOOLS AND MECHANIZED TECHNICAL DEVICES USED AT PREVENTION AND SUPPRESSION OF WILDFIRES

Shanin I.I., Lysych M.N.

Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, Voronezh,  
e-mail: kingoao@mail.ru

Considering the tools and mechanized technical devices used in the prevention and suppression of wildfires it can be noted that according to various experts, in the current period the production base for the production of forest and forestry machines is almost completely destroyed. The liquidation of tractor plants in the Altai Territory, Syktyvkar, Krasnoyarsk Territory, Perm Territory and a number of others played a significant role in this. But at present, the production of tractor logging equipment is still functioning in Onega, Yekaterinburg and Yoshkar-Ola, the products at these enterprises are manufactured in small lots. The quality of manufactured logging, fire-fighting equipment in Russia does not correspond to the modern world and scientific level in many aspects, and is largely inferior to import competitors. It is worth noting that at the official level, the failure and ruin of the sectoral research and development base for the development of mechanical engineering in the timber industry complex is recognized. Against this background, there is a loss of the existing base of service and maintenance of domestic timber industry equipment. Under these conditions, imported machines are being actively acquired in the timber industry complex, mainly on the wheelbase, which are not adapted to the difficult working and operating conditions. At the same time, an increase in imported used equipment in the Russian timber industry complex is observed. Along with these problems, strong government support is needed for production of forestry machinery and equipment, including those aimed at preventing and extinguishing forest fires. Only strong support at the state level can provide a qualitative breakthrough not only in the production direction of forestry machinery, for Russian forestry needs at affordable prices, but also in the development of the most popular innovative models of machines and mechanisms in the timber industry complex. The development of the machine-building direction will allow a new segment of the domestic market of equipment and mechanisms to be brought to a new level, which will create conditions for enhancing competitive advantages and further development of the timber industry complex.

**Keywords:** wildfires, mineralized tree belt area, forest soil-thrower, forest resources renewal

Ежегодно в России регистрируется до 35 000 лесных пожаров, охватывающих площади до 3,5 млн га. Кроме того, в резуль-

тате сплошных рубок ежегодно образуются значительные безлесные площади, которые также требуют проведения лесовосстано-



вительных мероприятий по созданию лесных культур или содействия естественному лесовосстановлению. Так, плановые лесозаготовки составляют порядка 1,2 млн га, а несанкционированные рубки 0,8 млн га. При этом убыль площади лесов происходит в результате воздействия вредителей, болезней и климатических изменений (рис. 1). При этом искусственному лесовосстановлению подвергаются площади лишь равные площадям сплошных вырубок [1, 2].

метода поддержания баланса лесных площадей – это, во-первых, предотвращение и эффективное тушение лесных пожаров и, во-вторых, лесовосстановление с применением современных эколого-ресурсосберегающих технологий [5].

Глобальные климатические изменения, произошедшие в последние десятилетия, привели к регулярному возникновению крупномасштабных лесных пожаров. При этом горят и северные леса, и леса густо-

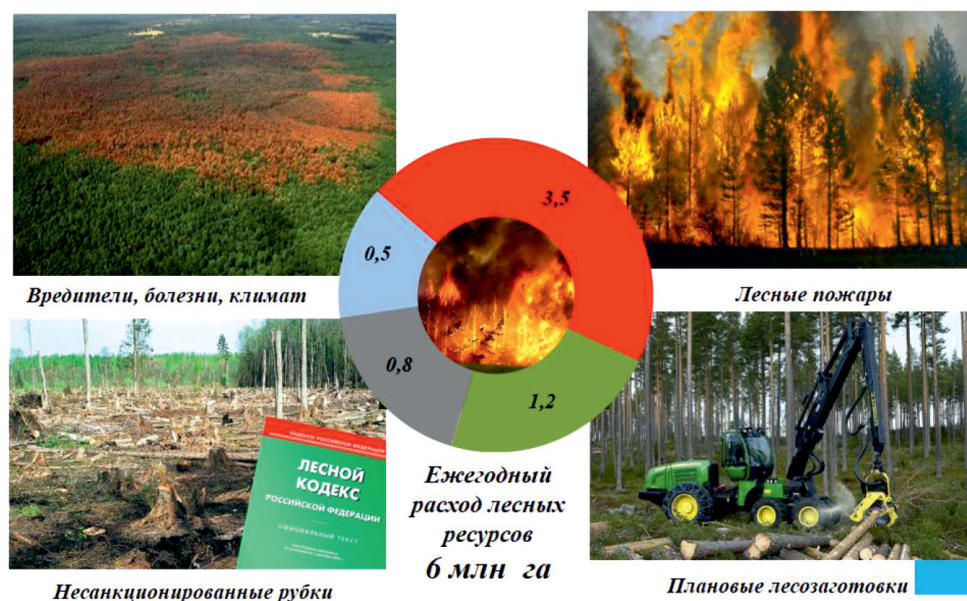


Рис. 1. Основные причины сокращения лесных площадей

Так, по итогам 2017 г. было создано 0,8 млн га лесных культур преимущественно методами посадки и посева с широким использованием ручного труда. При этом оставшиеся площади либо останутся частично или полностью безлесными, либо самовосстановятся с преобладанием малоценных мягколиственных пород [3, 4].

Цель исследования: оценка применяемых мер по профилактике и тушению лесных пожаров, выявлению наиболее эффективных орудий и механизированных технических устройств с позиции экономической эффективности их использования, для формирования механизма инновационного развития предприятий лесопромышленного комплекса, на основе их инновационного развития.

#### Материалы и методы исследования

В процессе исследования выделены два наиболее экономически эффективных

населенных центральных районов России, чего не наблюдалось ранее. Этому способствуют аномально высокие температуры и возникновение опасного социального явления экологического терроризма – умышленных поджогов леса. В этих условиях особо важным становится не только оперативное пожаротушение, но и профилактика лесных пожаров [6, 7]. Известно, что лесные пожары можно обнаруживать и ликвидировать в первые часы его возникновения. В качестве наиболее распространенного средства при профилактике и тушении лесных пожаров используется вода. Ресурсы на водной основе могут использоваться для таких лесных пожаров, как верховой, низовой и почвенный, при этом от типа пожара, причин его возникновения, доступности водных ресурсов и видов используемых механических средств должна быть решена основная задача, а именно: локализация, полная ликвидация лесного пожара.

При использовании воды в процессе тушения лесного пожара применяются насосные устройства, установленные на пожарных автоцистернах, могут применяться мобильные насосы, которые функционируют от двигателя трактора или топливного механического средства. Также существует еще один вид орудия при тушении лесных пожаров – пожарная мотопомпа, которая по своим характеристикам является малогабаритной и может быть как переносной, так и прицепной [8]. В качестве крупногабаритных средств, направленных на профилактику и тушение лесных пожаров, можно отметить использование самолетов и вертолетов. При использовании данного метода тушения лесных пожаров затрачиваются значительные финансовые ресурсы, и он не всегда показывает ожидаемую эффективность. При значительной площади пожара и сложной профильной симметрии огня, разовые выбросы воды, даже в большом количестве, на ограниченном участке большого эффекта не показывают. Это, прежде всего, связано со сложностями при осуществлении точного попадания воды по профилю участка возгорания вследствие смещения дымовой завесы и общей задымленности возгораемого периметра. Здесь же, в качестве недостатка авиационных пожарных средств тушения лесных пожаров, можно отметить необходимость перезаправки, которая занимает значительную часть времени. Применение авиационных средств может замедлять работу действующих пожарных команд, работающих на земле, так как существует опасность травмы при сбрасывании значительных объемов воды, измеряемых тоннами [9, 10]. В большинстве случаев применение авиационных средств пожаротушения оправдывается при интенсивных верховых пожарах, вблизи которых расположены важные инфраструктурные объекты. Тушение низовых пожаров целесообразно проводить менее затратными и эффективными способами [11].

#### **Результаты исследования и их обсуждение**

В качестве одного из известных и получивших широкое применение способов тушения возгораний и низового лесного пожара можно отметить прокладку противопожарных минерализованных полос, проходящих на определенном расстоянии от очага возгорания и возможности забрасывания огня грунтом. Работы по прокладке минерализованных полос проводятся в качестве профилактической и предупредительной меры. Прокладка минерализованных полос

проводится по границам имеющихся лесных массивов – потенциальных источников возгорания, примыкающих к железнодорожным путям, угодьям сельскохозяйственного назначения, автомагистралям, животноводческим комплексам, жилым и населенным пунктам [12, 13]. Рассмотрим основные виды техники, представленные на рис. 2.

В большинстве случаев тушение лесных угодий водой и применяемыми на ее основе огнегасящими смесями не всегда целесообразно, а иногда не представляется возможным из-за специфических условий рельефа и местности, где возник лесной пожар. Поэтому здесь целесообразней использовать при тушении лесных пожаров грунт как перспективное направление, вследствие того, что его всегда можно получить в непосредственной близости от лесного пожара. В лесопромышленном комплексе при создании минерализованных противопожарных лесных полос можно использовать различную почвообрабатывающую технику. При рассмотрении орудий и механизмов в качестве лесопожарной техники можно отметить сельскохозяйственный дисковый многокорпусный плуг, оснащенный предохранительным механизмом [14, 15]. Данный вид орудия характеризуется достаточно высокой проходимостью и может быть успешно использован при создании минерализованных противопожарных лесных полос (рис. 3, а). Рассматривая лесохозяйственный многокорпусный дисковый плуг (рис. 3, б), можно отметить, что его применение возможно для создания минерализованных противопожарных лесных полос, а также возможно его использование при подготовке почвы в условиях проводимых вырубок, и дальнейшего раскорчевания пней. Широкое применение подобных орудий можно наблюдать за рубежом. Данные орудия, как правило, характеризуются значительной шириной захвата в диапазоне 1,3–2,0 м и образующих достаточно ровный вырез созданной минерализованной полосы, что неприемлемо при лесовосстановительных работах [16, 17].

Существует также и клинобульдозерный отвал (рис. 4, б), имеющий в отличительных особенностях комплекс расчищающих клиньев. Данный клинобульдозерный отвал необходимо использовать как в процессе работ по созданию минерализованных противопожарных лесных полос, так и в работах при полосной расчистке местности после проведения вырубок, включающей обработку почвы [18]. Применение данных орудий наиболее целесообразно при создании минерализованных противопожарных лесных полос.



Рис. 2. Основные виды техники и орудий, используемых при создании минерализованных противопожарных лесных полос



Рис. 3. Образцы дисковых многокорпусных плугов: а – сельскохозяйственный; б – лесохозяйственный



Рис. 4. Образцы лесного комбинированного плуга (а) и клинобульдозерного отвала (б)



Клинобульдозерный отвал характеризуется значительной шириной захвата и мощным сдвигом лесной подстилки, а также сдвигает плодородный слой почвы в разные стороны.

Рассмотрим отдельно основные типы конструкций грунтометов, применяемых для прокладки заградительных и опорных полос и технически близкие к ним орудия (рис. 5). В современных разработках имеется ряд конструкций лесных грунтометов на тракторной основе. В качестве отличительной их особенности можно отметить конструктивную составляющую, а именно имеющихся рабочих органов, осуществляющих быстрое вращение, при проведении фрезерования верхнего почвенного слоя и его отбрасывания в ту или иную сторону лесного пожара. Но у этих орудий имеется конструкционный недостаток, выраженный в распыливании почвенного покрова, подаваемого в сторону возгорания и, как следствие, до возгорания доходит малый объем почвы. Подача почвенного грунта осуществляется в виде «земельного облака», после оседания которого, не происходит образование сплошного равномерного покрова в лесной подстилке и травянистых условиях растительности. Ровный покров исключает возгорание и дальнейшее распространение лесного пожара [19, 20].

В качестве другого недостатка можно отметить отсутствие возможности использования грунтометательных технических средств на лесохозяйственных почвах, имеющих корневые системы деревьев. Эту проблему частично можно решить посредством установки дополнительного рыхлящего и предохранительного органа [21]. В качестве примера можно отметить механическое средство – грунтомет на тракторной основе ГТ-3. Данное механическое средство используется при активном тушении кромок лесного низового пожара с регулируемой интенсивностью выбрасывания грунта в сторону лесного пожара, как слабой, так и средней интенсивности. Также данное механическое устройство должно применяться: при устройстве минерализованных лесных полос различного типа перед линией лесного пожара, создании и обновления защитных лесных минерализованных полос в целях противопожарного устройства лесных угодий. В качестве недостатка данного механического средства выступает непригодность к работам на лесных почвенных покровах, содержащих различные препятствия. Данное механическое устройство может образовывать среднюю по ширине минерализованную лесную полосу и достаточно сильно распылять грунт [22, 23].

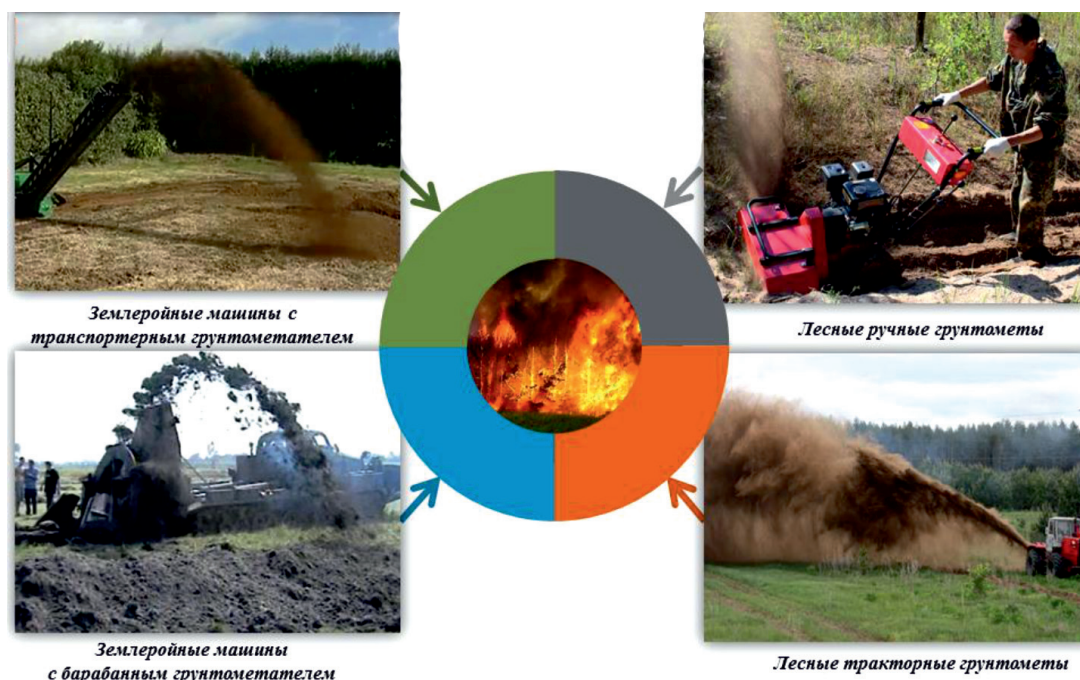


Рис. 5. Образцы грунтометов и типовых орудий

С учетом этих недостатков на кафедре механизации лесного хозяйства и проектирования машин ВГЛТУ разработан и изготовлен опытный образец противопожарного лесного грунтомета, агрегируемого с тракторами класса тяги 30кН. В целях снижения динамической нагрузки на роторные устройства и увеличения объемов рыхления почвенного покрова, направляемого на них, впереди грунтометательного механического устройства были приспособлены нож, имеющий стрелчатую рыхлительную лапу и сферические диски. Нож обладает достаточно необходимой мощностью и предназначен для рыхления почвенного покрова перед роторными устройствами, перерезания корневой системы и одновременным предохранением роторных устройств от ударов о возможные препятствия [24, 25]. Два сферических диска также рыхлят почву и сдвигают ее к центру, образуя вал, который разбрасывают роторы, следующие за дисками. Поскольку роторные устройства забирают весь рыхлый почвенный покров из сформированного вала, поэтому произошло увеличение производительности механического лесного средства, а значит, и получено увеличение эффективности при пожаротушении.

В целом можно отметить тот факт, что универсальная конструкция грунтометательного устройства характеризуется все же рядом недостатков. Мощный нож, имеющий стрелчатую рыхлительную лапу и сферические диски, увеличивают массу и габаритные размеры грунтомета. В сцепленном положении с трактором нижняя точка грунтометательного устройства может приподниматься над уровнем поверхности в диапазоне 0,5 м. Если учитывать возможное раскачивание трактора, из-за увеличенной массы грунтометательного устройства, имеющего достаточно сильное смещение назад центра тяжести, то можно наблюдать касание мощного ножа грунтомета поверхностного слоя дороги. Данное обстоятельство может влиять на проходимость, а именно снижать скорость проходимости на 5–7 км/ч, а следовательно, увеличивает время прибытия к месту возгорания [26, 27].

Также находят применение ручные грунтометы. Они представляют собой орудия, применяемые исключительно для прокладки противопожарных полос, так как объем и дальность подачи грунта весьма незначительны [3]. Интересны конструкции грунтометателей некоторых землеройных машин.

## Заключение

В процессе анализа и исследования существующих аналогов и прототипов эффективных орудий и механизированных технических устройств, применяемых при профилактике и тушении лесных пожаров, выявлен тот факт, что на машиностроительных производственных предприятиях на данный момент не организовано серийное производство грунтометательных лесных устройств, позволяющих на более эффективном уровне осуществлять борьбу с лесными пожарами. Следовательно, необходимы усовершенствование и разработка навесного грунтометательного устройства, которое обеспечивало бы стабильный и массивный, узконаправленный грунтовой поток в сторону огня.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-010-00318.*

## Список литературы / References

1. Попиков П.И., Щеблыкин П.Н., Шаров А.В., Шерстюков Н.А., Мирошников Ю.В. Теоретические исследования рабочего процесса лесного пожарного грунтомета с энергосберегающим приводом // В сборнике: Энергоэффективность и энергосбережение в современном производстве и обществе: материалы Международной научно-практической конференции. Под общ. ред. В.А. Гулевского, 2018. С. 151–156.
2. Попиков П.И., Гончаров П.Э., Шаров А.В. Математическая модель рабочего процесса лесного пожарного грунтомета с энергосберегающим гидроприводом // Лесотехнический журнал. 2017. Т. 7. № 4 (28). С. 182–189. DOI: 10.12737/article\_5a3d097ac621c3.55675220.
3. Попиков П.И., Гончаров П.Э., Шаров А.В. Modelling workflow forest fire soil – thrower with energy-saving hydraulic drive // Forestry Engineering Journal. 2017. V. 7. № 4 (28). P. 182–189 (in Russian).
4. Дручинин Д.Ю., Драпалюк М.В. Использование крупномерного посадочного материала при создании и реконструкции защитных лесных насаждений // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2018. № 223. С. 174–186. DOI: 10.21266/2079-4304.2018.223.174-186.
5. Дручинин Д.Ю., Драпалюк М.В. Large planting material employment in the creation and reconstruction of protective forest plantations // Izvestiya Sankt-Peterburgskoy lesotekhnicheskoy akademii. 2018. № 223. P. 174–186 (in Russian).
6. Бартев И.М., Драпалюк М.В., Ступников Д.С., Дручинин Д.Ю. Лесопожарная грунтометательная машина // Патент на изобретение РФ 2610815 29.06.2015.
7. Попиков П.И., Дручинин Д.Ю., Коротких В.Н., Зимарин С.В., Шерстюков Н.А., Ступников Д.С. Моделирование процесса взаимодействия лесного дискового плуга с почвой при создании противопожарных полос // Resources and Technology. 2017. Т. 14. № 4. С. 17–31.
8. Попиков П.И., Дручинин Д.Ю., Коротких В.Н., Зимарин С.В., Шерстюков Н.А., Ступников Д.С. Simulation of a forest disk plow soil interaction process during fire breaks de-



- velopment // Resources and Technology. 2017. V. 14. No. 4. P. 17–31 (in Russian).
6. Огарков В.Б., Аксенов А.А., Малоюков С.В. Обобщенная плоская деформация равномерно-вращающегося изотропного упругого вала из несжимаемого материала // Воронежский научно-технический вестник. 2018. Т. 1. № 1 (23). С. 68–74.
- Candle ends V.B., Aksenov A.A., Malyukov S.V. Generalized Plane Deformation of the Uniform-Rotating Isotropic Elastic Shaft From Incomplete Material // Voronezhskij nauchno-tekhnicheskij Vestnik. 2018. V. 1. № 1 (23). P. 68–74 (in Russian).
7. Аксенов А.А., Огарков В.Б., Малоюков С.В. Обобщенная плоская деформация равномерно вращающегося упругого цилиндра // Воронежский научно-технический Вестник. 2018. Т. 2. № 2 (24). С. 58–61.
- Aksenov A.A., Ogarkov V.B., Malyukov S.V. Generalized Flat Deformation of the Uniformly Rotating Elastic Cylinder // Voronezhskij nauchno-tekhnicheskij Vestnik. 2018. T. 2. № 2 (24). P. 58–61 (in Russian).
8. Bartenev I.M., Malyukov S.V., Gnusov M.A., Stupnikov D.S. Study of efficiency of soil-thrower and fire-break major on the basis of mathematic simulation. International Journal of Mechanical Engineering and Technology. 2018. T. 9. № 4. P. 1008–1018.
9. Клубничкин В.Е., Клубничкин Е.Е., Бухтояров Л.Д., Малоюков С.В., Дручинин Д.Ю. Определение динамических нагрузок в трансмиссии гусеничной лесозаготовительной машины при преодолении препятствий // Лесотехнический журнал. 2017. Т. 7. № 1 (25). С. 185–196.
- Klubnichkin V.E., Klubnichkin E.E., Bukhtoyarov L.D., Malyukov S.V., Druchinin D.Yu. Definition of dynamic loadings in transmission of the track laying logging vehicle when overcoming obstacles // Forestry Engineering Journal. 2017. V. 7. № 1 (25). P. 185–196 (in Russian).
10. Беляев М.А., Малоюков С.В. Организация рубок ухода за лесом // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. 2017. Т. 5. № 1 (27). С. 310–314.
- Belyaev M.A., Malyukov S.V. Organization of cabins of care of the wood // Actual directions of scientific researches of the XXI century: theory and practice. 2017. V. 5. № 1 (27). P. 310–314 (in Russian).
11. Малоюков С.В., Наумов И.В. Двухроторная лесопожарная машина // Альтернативные источники энергии в транспортно-технологическом комплексе: проблемы и перспективы рационального использования. 2016. Т. 3. № 2. С. 348–351. DOI: 10.12737/20203.
- Malyukov S.V., Naumov I.V. Forest Fire Twin Rotor Machine // Alternative energy sources in a transport and technological complex: problems and prospects of rational use. 2016. V. 3. № 2. P. 348–351 (in Russian).
12. Клубничкин В.Е., Клубничкин Е.Е., Запруднов В.И., Бухтояров Л.Д., Малоюков С.В., Дручинин Д.Ю. Model to calculate loading of transmission elements at controlled curvilinear motion of the tracked timber harvesting machine. Forestry Engineering Journal. 2015. V. 5. № 2 (18). P. 166–176. DOI: 10.12737/111991.
13. Бартенев И.М., Малоюков С.В., Кириллова С.С. Эффективность применения грунтомета в условиях высокой пожароопасности // Лесотехнический журнал. 2015. Т. 5. № 3 (19). С. 200–209. DOI: 10.12737/14168.
- Bartenev I.M., Malyukov S.V., Kirillova S.S. Efficiency of Application Thrower Soil in Conditions High Fire Risk // Forestry Engineering Journal. 2015. V. 5. № 3 (19). P. 200–209 (in Russian).
14. Дручинин Д.Ю., Лягоскин М.А., Поздняков Е.В., Малоюков С.В. Тенденции развития технических средств для основной обработки лесных почв // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. 2015. Т. 3. № 2–2 (13–2). С. 120–124. DOI: 10.12737/11047.
- Druchinin D.Yu., Lyagoskin M. A., Pozdnyakov E.V., Malyukov S.V. Tendencies of development of technical means for the main processing of forest soils // Actual directions of scientific researches of the XXI century: theory and practice. 2015. V. 3. № 2–2 (13–2). P. 120–124 (in Russian).
15. Гнусов М.А., Малоюков С.В. Имитационное моделирование работы грунтометательной машины // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. 2015. Т. 3. № 5–2 (16–2). С. 232–235. DOI: 10.12737/16013.
- Gnusov M.A., Malyukov S.V. Imitating modeling of operation of the gruntometateln machine / Actual directions of scientific researches of the XXI century: theory and practice. 2015. V. 3. № 5–2 (16–2). P. 232–235 (in Russian).
16. Поздняков Е.В., Дручинин Д.Ю. Определение показателей эффективности процесса очистки пней гибкими рабочими органами площадкоделателя в лабораторных условиях // В сборнике: Forest Engineering материалы научно-практической конференции с международным участием, 2018. С. 191–194.
- Pozdnyakov E.V., Druchinin D.Yu. Definition of indicators of efficiency of process of cleaning of stubs with flexible working bodies of a ploshchadkodelatel in vitro // In the collection: Forest Engineering materials of scientific and practical conference with the international participation, 2018. P. 191–194 (in Russian).
17. Алиев Н.В., Дручинин Д.Ю. Использование комбинированных почвообрабатывающих орудий для повышения эффективности минерализации почвы // В сборнике: Исследования молодежи – экономике, производству, образованию, 2017. С. 205–207.
- Aliyev N.V., Druchinin D.Yu. Use of the combined soil-cultivating tools for increase of efficiency of a mineralization of the soil // In the collection: Researches of youth – to economy, production, education, 2017. P. 205–207 (in Russian).
18. Дручинин Д.Ю. Использование вибрационного эффекта в конструкциях машин для выкопки крупнозернистого посадочного материала // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. 2017. Т. 5. № 1 (27). С. 319–322.
- Druchinin D.Yu. Employment of Vibrational Effect in Designs Of Machines for Large Planting Material Lifting // Actual directions of scientific researches of the XXI century: theory and practice. 2017. V. 5. № 1 (27). P. 319–322 (in Russian).
19. Дручинин Д.Ю. Современные тенденции развития лесопосадочной техники // В сборнике: Повышение эффективности лесного комплекса: материалы Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. Петрозаводский государственный университет, 2015. С. 28–31.
- Druchinin D.Yu. Current trends of development of leso-posadochny equipment // In the collection: Increase of efficiency of a forest complex: materials of the All-Russian scientific and practical conference with the international participation. Petrozavodsk state university, 2015. P. 28–31 (in Russian).
20. Дручинин Д.Ю., Дорняк О.Р., Драпалюк М.В. Определение оптимальных конструктивных параметров рабочего органа выкопочной машины // Вестник машиностроения. 2015. № 1. С. 33–35.
- Druchinin D.Yu., Dorniyak O.R., Drapalyuk M.V. Determination of optimal structural parameters of working element of plant lifter // Messenger of mechanical engineering. 2015. № 1. P. 33–35 (in Russian).
21. Попиков П.И., Юдин Р.В., Дручинин Д.Ю., Бакаев А.В., Чернавцев С.С. Результаты имитационного моделирования рабочего процесса выкопочной машины с гидродупульсационным приводом // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. 2015. Т. 3. № 9–2 (20–2). С. 373–377. DOI: 10.12737/16512.
- Dads P.I., Yudin R.V., Druchinin D.Yu., Bakayev A.V., Chernavtsev S.S. Results of imitating modeling of working process of the vykopochny car with the hydropulsion drive // Actual directions of scientific researches of the XXI century: theory and practice. 2015. V. 3. № 9–2 (20–2). P. 373–377 (in Russian).
22. Дручинин Д.Ю., Милев А.С. Автоматизированная система как средство повышения качества обработки почвы

лесными дисковыми орудиями // Лесотехнический журнал. 2014. Т. 4. № 1 (13). С. 158–162. DOI: 10.12737/3362.

Druchinin D.Yu., Milyaev A.S. Automated system as a tool to improve the quality of tillage with forest disk tools // Forestry Engineering Journal 2014. V. 4. № 1 (13). P. 158–162 (in Russian).

23. Дручинин Д.Ю., Пономарев С.В., Ермоленко А.А., Шавков М.В., Поздняков Е.В. Разработка универсального дискового плуга для работы на открытых площадях и вырубках // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. 2014. Т. 2. № 2–2 (7–2). С. 81–84. DOI: 10.12737/3107.

Druchinin D.Yu., Ponomarev S.V., Ermolenko A.A., Shavkov M.V., Pozdnyakov E.V. Development of a universal disk plow for work on the open spaces and cuttings down // Actual directions of scientific researches of the XXI century: theory and practice. 2014. V. 2. No. 2–2 (7–2). P. 81–84 (in Russian).

24. Дручинин Д.Ю., Жижко В.И. Ресурсосберегающая технология обработки почвы при лесовосстановлении на задернелых вырубках // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. 2014. Т. 2. № 3–4 (8–4). С. 55–58. DOI: 10.12737/4336.

Druchinin D.Yu., Zhizhko V.I. Resource-saving technology of processing of the soil at reforestation on the zadernellykh cuttings down // Actual directions of scientific researches of the XXI century: theory and practice. 2014. V. 2. № 3–4 (8–4). P. 55–58 (in Russian).

25. Дручинин Д.Ю. Отечественные разработки в области механизации процесса посадки ПМЗКС // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. 2014. Т. 2. № 5–3 (10–3). С. 108–112. DOI: 10.12737/6937.

Druchinin D.Yu. Domestic development in the field of mechanization of process of landing of PMZKS // Actual directions of scientific researches of the XXI century: theory and practice. 2014. V. 2. No. 5–3 (10–3). P. 108–112 (in Russian).

26. Драпалюк М.В., Бартенев И.М., Гнусов М.А., Дручинин Д.Ю., Марков О.Б., Клубничкин Е.Е. Математическая модель процесса подачи и выброса грунта рабочими органами комбинированной машины для тушения лесных пожаров // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2012. № 84. С. 232–246.

Drapalyuk M.V., Bartenev I.M., Gnusov M.A., Druchinin D.Yu., Markov O. B., Klubnichkin E.E. Mathematical Model of Giving and Soil Emission Process with the Working Tools of the Combined Machine for Forest Fires Suppression // Polythematic Online Scientific Journal of Kuban State Agrarian University. 2012. № 84. P. 232–246 (in Russian).

27. Бартенев И.М., Дручинин Д.Ю., Гнусов М.А. К вопросу о тушении лесных пожаров грунтом // Лесотехнический журнал. 2012. № 4 (8). С. 97–101.

Bartenev I.M., Druchinin D.Yu., Gnusov M.A. On the question of fighting forest fires with soil // Forestry Engineering Journal. 2012. № 4 (8). P. 97–101 (in Russian).