

Двухлетний импакт-фактор РИНЦ – 0,560

Пятилетний импакт-фактор РИНЦ – 0,311

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. Айдосов 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 Кузяков 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.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. Шишапов 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 – **ПИ № ФС 77-63398.**

Все публикации рецензируются. Доступ к электронной версии журнала бесплатен.

Двухлетний импакт-фактор РИНЦ – 0,560.

Пятилетний импакт-фактор РИНЦ – 0,311.

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

Подписано в печать – 12.10.2018
Дата выхода номера – 12.11.2018

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. 18,75
Тираж – 1000 экз. Заказ. УСЕ/10-2018
Подписной индекс 70878

© ИД «Академия Естествознания»

СОДЕРЖАНИЕ

Химические науки (02.00.00)

ОЦЕНКА ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД ГОРОДСКОГО ОКРУГА САРАНСК <i>Жукова Н.В., Берест Е.В., Начаркина О.В.</i>	7
ЗАВИСИМОСТЬ ФОТОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПОЛИМЕРНЫХ СВЕТОПРЕОБРАЗУЮЩИХ КОМПОЗИЦИЙ С ОРГАНИЧЕСКИМИ ЛЮМИНОФОРАМИ ОТ СПОСОБА ИХ ПОЛУЧЕНИЯ <i>Иваницкий А.Е., Минич А.С., Буценко Е.С., Гизбрехт А.В.</i>	12
МАГНИТОУПРАВЛЯЕМЫЕ ПРЕПАРАТЫ ГЕМИНА НА ОСНОВЕ МИКРОЧАСТИЦ ФЕРРОКОМПОЗИТОВ И ОЦЕНКА ИХ ПРОТИВООПУХОЛЕВОЙ АКТИВНОСТИ <i>Комиссарова Л.Х., Марнаутов Н.А., Голощапов А.Н., Кузнецов А.А., Ерохин В.Н., Семенов В.А., Никольская Т.А., Грин М.А., Митиани Л.Ш.</i>	17
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НОВОГО ШТАММА АКТИНОБАКТЕРИЙ RHODOSPIRILLUM RUBRUM ПЗ-8 В ЭНАНТИОСЕЛЕКТИВНОМ ГИДРОЛИЗЕ N-АЦИЛ ПРОИЗВОДНЫХ 3,4-ДИГИДРО-3-МЕТИЛ-2Н-[1,4]БЕНЗОКСАЗИНА И 2-МЕТИЛ-1,2,3,4-ТЕТРАГИДРОХИНОЛИНА <i>Чулаков Е.Н., Левит Г.Л., Садретдинова Л.Ш., Ремезовская Н.Б., Максимов А.Ю., Демаков В.А., Краснов В.П.</i>	22
МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВАЛЕНТНОГО УГЛА ОДИНОЧНОЙ МОЛЕКУЛЫ ЖИДКОЙ ВОДЫ ЧЕРЕЗ ИНФРАКРАСНЫЙ СПЕКТР ИЗЛУЧЕНИЯ <i>Шорсткий И.А.</i>	28

Сельскохозяйственные науки (06.01.00, 06.03.00)

ВЛИЯНИЕ ГЕРБИЦИДОВ НА ЗАСОРЁННОСТЬ ПОСЕВОВ И ПРОДУКТИВНОСТЬ ЯРОВОГО ЯЧМЕНЯ <i>Авдеенко А.П.</i>	34
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПАРООБРАЗНОЙ ВЛАГИ АТМОСФЕРЫ ДЛЯ ВОДООБЕСПЕЧЕНИЯ ДРЕВЕСНЫХ РАСТЕНИЙ В АРИДНЫХ УСЛОВИЯХ ВНУТРЕННЕГОРНОГО ДАГЕСТАНА <i>Асадулаев З.М., Мирзоев Э.М.-Р., Газиев М.А., Залибеков М.Д., Габиева А.Д.</i>	40
ПРЯМОЙ ПОСЕВ ЯРОВОЙ ТВЁРДОЙ ПШЕНИЦЫ В СРЕДНЕМ ЗАВОЛЖЬЕ <i>Горянин О.И., Щербинина Е.В.</i>	45
ОЦЕНКА КОМБИНАЦИОННОЙ СПОСОБНОСТИ ЛИНИЙ КУКУРУЗЫ В ДИАЛЛЕЛЬНЫХ СКРЕЩИВАНИЯХ ПО ВЫСОТЕ ПРИКРЕПЛЕНИЯ ПОЧАТКА <i>Жужукин В.И., Зайцев С.А., Волков Д.П., Гудова Л.А.</i>	50
ИЗМЕНЕНИЕ КАЛИЙНОГО СОСТОЯНИЯ СОЛОНЦОВ ПРИ ДЛИТЕЛЬНОМ АГРОЛЕСОМЕЛИОРАТИВНОМ ВОЗДЕЙСТВИИ <i>Кулакова Н.Ю.</i>	56
ВЛИЯНИЕ СТИМУЛЯТОРОВ РОСТА НА МОРФОМЕТРИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ К НАЧАЛУ ФАЗЫ ПЛОДОНОШЕНИЯ ТЕПЛИЧНОГО ОГУРЦА <i>Олива Т.В., Лицуков С.Д., Панин С.И.</i>	62
ОСОБЕННОСТИ ВОДНОГО РЕЖИМА ХАБАРОВСКИХ КЛИМАТИПОВ КЕДРА КОРЕЙСКОГО PINUS KORAIENSIS (SIEBOLD ET ZUCC.) В ГЕОГРАФИЧЕСКИХ КУЛЬТУРАХ <i>Ретин Е.Н.</i>	68
АНАЛИЗ ВИДОВОГО СОСТАВА ФЛОРЫ КУНДРЮЧЕНСКОГО ОХОТХОЗЯЙСТВА ПОД ВЛИЯНИЕМ АНТРОПОГЕННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ <i>Симонович Е.И.</i>	73

ОСОБЕННОСТЬ АНТИДОТНОГО ДЕЙСТВИЯ ИЗОКСАДИФЕН-ЭТИЛА В СОСТАВЕ ПРОТРАВИТЕЛЕЙ СЕМЯН СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР <i>Спиридонов Ю.Я., Чичварина О.А., Сиган А.Л., Чкаников Н.Д., Халиков С.С.</i>	79
ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ЛЕСНОМ ХОЗЯЙСТВЕ <i>Чермных А.И., Годовалов Г.А.</i>	85

Науки о Земле (25.00.00)

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ЦЕЗИЯ-137 В ПОЧВАХ ОКРЕСТНОСТЕЙ ГОРОДСКИХ АГЛОМЕРАЦИЙ АРХАНГЕЛЬСКА, СЕВЕРОДВИНСКА И НОВОДВИНСКА <i>Баженев А.В., Кряучюнас В.В., Игловский С.А.</i>	90
ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ФУНКЦИИ ТЕРРИТОРИЙ С РАЗЛИЧНОЙ СТЕПЕНЬЮ УРБАНИЗАЦИИ В УСЛОВИЯХ ВОСТОЧНОЙ СИБИРИ <i>Воробьева И.Б.</i>	96
ПРОДУКТИВНОСТЬ ФИТОМАССЫ ЛУГОВЫХ РАСТИТЕЛЬНЫХ СООБЩЕСТВ НАЗАРОВСКОЙ КОТЛОВИНЫ ПРИ РАЗНЫХ РЕЖИМАХ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ <i>Дубынина С.С.</i>	102
ЗАТУХАНИЕ СЕЙСМИЧЕСКИХ КОЛЕБАНИЙ В РАЙОНЕ БУРЕЙСКОЙ ГЭС И ЕГО СВЯЗЬ С РЕЗОНАНСНЫМИ ЭФФЕКТАМИ <i>Пупатенко В.В., Рябинкин К.С.</i>	108
АНОМАЛЬНЫЕ ПРИРОДНЫЕ ПРОЦЕССЫ И ЯВЛЕНИЯ РОССИЙСКОГО ДАЛЬНЕГО ВОСТОКА <i>Скрыльник Г.П.</i>	114
ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ И ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ СПЕЦИАЛЬНОЙ МЕТОДИКИ МИКРОСТРУКТУРНОГО АНАЛИЗА <i>Устинов С.А., Петров В.А.</i>	125
ДВУХМЕРНАЯ ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ НЕОДНОРОДНОЙ СРЕДЫ С ПОТЕРЯМИ <i>Федоров В.Н., Федорова Л.Л., Соколов К.О.</i>	132
ПРОГРАММА LEFA: АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ СТРУКТУРНЫЙ АНАЛИЗ КОСМИЧЕСКОЙ ОСНОВЫ В СРЕДЕ МАТЛАВ <i>Шевырёв С.Л.</i>	138

Научный обзор

Химические науки

НЕФТЕЕМКОСТЬ СОРБЕНТА: ПРОБЛЕМА ВЫБОРА МЕТОДИКИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ <i>Лим Л.А., Реутов В.А., Руденко А.А., Чудовский А.С.</i>	144
---	-----

CONTENTS
Chemical sciences (02.00.00)

ESTIMATION OF ENVIRONMENTAL STATE OF SURFACE WATER SARANSK <i>Zhukova N.V., Berest E.V., Nacharkina O.V.</i>	7
PHOTOPHYSICAL PROPERTIES OF POLYMERIC LIGHT-TRANSFORMING COMPOSITIONS WITH ORGANIC LUMINOPHORES DEPENDING ON THE METHOD OF THEIR PRODUCTION <i>Ivanitskiy A.E., Minich A.S., Butsenko E.S., Gizbrekht A.V.</i>	12
MAGNETIC-OPERATED HEMIN PREPARATIONS ON THE BASIS OF FERROCOMPOSITE MICROPARTICLES AND EVALUATING THEIR ANTITUMOR ACTIVITY <i>Komissarova L.Kh., Marnautov A.N., Goloshchapov A.N., Kuznetsov A.A., Erokhin V.N., Semenov V.A., Nikolskaya T.A., Grin M.A., Mitiani L.Sh.</i>	17
APPLICATION OF A NEW STRAIN OF ACTINOBACTERIA RHODOCOCCUS ERYTHROPOLIS P3-8 IN ENANTIOSELECTIVE HYDROLYSIS OF N-ACYL DERIVATIVES OF 3,4-DIHYDRO-3-METHYL-2H-[1,4]BENZOXAZINE AND 2-METHYL-1,2,3,4-TETRAHYDROQUINOLINE <i>Chulakov E.N., Levit G.L., Sadretdinova L.Sh., Remezovskaya N.B., Maksimov A.Yu., Demakov V.A., Krasnov V.P.</i>	22
SINGLE LIQUID WATER MOLECULE VALENT ANGEL DETERMINATION METHOD USING INFRARED SPECTRUM <i>Shorstkiy I.A.</i>	28

Agricultural sciences (06.01.00, 06.03.00)

EFFECT OF HERBICIDES ON CROP CULTIVATION AND PRODUCTION OF SPRING BARLEY <i>Avdeenko A.P.</i>	34
THE USE OF VAPOROUS MOISTURE OF THE ATMOSPHERE FOR WATER SUPPLY OF WOOD PLANTS IN ARID CONDITIONS OF INLAND DAGESTAN <i>Asadulaev Z.M., Mirzoev E.M., Gaziev M.A., Zalibekov M.D., Gabibova A.D.</i>	40
DIRECT SEEDING OF SPRING DURUM WHEAT IN THE MIDDLE VOLGA <i>Goryanin O.I., Shcherbinina E.V.</i>	45
EVALUATION COMBINING ABILITY OF MAIZE LINES IN DIALLEL CROSSBREEDING BY HEIGHT ATTACHING THE COB <i>Zhuzhukin V.I., Zaytsev S.A., Volkov D.P., Gudova L.A.</i>	50
CHANGE IN POTASSIUM STATUS OF SOLONETZES UNDER LONG-TERM AGROFOREST RECLAMATION <i>Kulakova N.Yu.</i>	56
INFLUENCE OF GROWTH STIMULANTS ON MORPHOMETRIC INDICATORS BY THE BEGINNING OF THE FRUITING STAGE OF THE HOTHOUSE CUCUMBER <i>Oliva T.V., Litsukov S.D., Panin S.I.</i>	62
PECULIARITIES OF THE WATER MODE OF KHABAROVSK CLIMATYPES OF PINUS KORAIENSIS (SIEBOLD ET ZUCC.) IN GEOGRAPHIC CULTURES <i>Repin E.N.</i>	68
ANALYSIS OF THE SPECIES COLLECTION OF THE FLORA OF THE KUNDRYUCHENSKY FARMHOUSE UNDER THE INFLUENCE OF ANTHROPOGENIC IMPACT <i>Simonovich E.I.</i>	73

SPECIAL FEATURES OF ANTIDOTE ACTIVITY OF ISOXADIFENE-ETHYL IN COMPOSITION OF PROTECTANTS OF SEEDS OF AGRICULTURAL CROPS <i>Spiridonov Yu.Ya., Chichvarina O.A., Sigan A.L., Chkanikov N.D., Khalikov S.S.</i>	79
---	----

INFORMATION TECHNOLOGIES IN FORESTRY <i>Chermnykh A.I., Godovalov G.A.</i>	85
---	----

Earth sciences (25.00.00)

RESULTS OF SOIL STUDY CESIUM-137 IN THE SOILS OF URBAN AGGLOMERATIONS OF ARKHANGELSK, SEVERODVINSK AND NOVODVINSK <i>Bazhenov A.V., Kryauchyunas V.V., Iglovskiy S.A.</i>	90
---	----

ECOLOGICAL FUNCTIONS OF TERRITORIES WITH VARIOUS DEGREE OF URBANIZATION UNDER CONDITIONS OF EASTERN SIBERIA <i>Vorobeva I.B.</i>	96
--	----

THE PRODUCTIVITY OF THE PHYTOMASS OF MEADOW PLANT COMMUNITIES OF THE NAZAROVSKAYA BASIN UNDER DIFFERENT CONDITIONS OF USE <i>Dubynina S.S.</i>	102
--	-----

SEISMIC WAVE ATTENUATION NEAR THE BUREYA HYDROPOWER STATION AND ITS CONNECTION WITH THE RESONANCE EFFECTS <i>Pupatenko V.V., Ryabinkin K.S.</i>	108
---	-----

DANGEROUS NATURAL PROCESSES AND PHENOMENA THE RUSSIAN FAR EAST <i>Skrylnik G.P.</i>	114
--	-----

THEORETICAL BASICS AND OPPORTUNITIES OF THE SPECIAL TECHNIQUE OF MICROSTRUCTURAL ANALYSIS APPLICATION <i>Ustinov S.A., Petrov V.A.</i>	125
--	-----

TWO-DIMENSIONAL ELECTRODYNAMIC MODEL OF AN INHOMOGENEOUS MEDIUM WITH LOSSES <i>Fedorov V.N., Fedorova L.L., Sokolov K.O.</i>	132
--	-----

LEFA SOFTWARE: AN AUTOMATIZED STRUCTURAL ANALYSIS OF REMOTE SENSING IMAGERY IN MATLAB ENVIRONMENT <i>Shevyrev S.L.</i>	138
--	-----

Scientific review

Chemical sciences

SORBENT OIL CAPACITY: PROBLEM OF MEASURING METHOD CHOOSING <i>Lim L.A., Reutov V.A., Rudenko A.A., Chudovskiy A.S.</i>	144
---	-----

УДК 543.31(470.345-25)

ОЦЕНКА ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД ГОРОДСКОГО ОКРУГА САРАНСК

Жукова Н.В., Берест Е.В., Начаркина О.В.

ФГБОУ ВО «Мордовский государственный педагогический институт имени М.Е. Евсевьева»,
Саранск, e-mail: chemihka@mail.ru

Одной из самых важных задач любого региона и государства в целом является сохранение природных ресурсов. В Республике Мордовия в отсутствие больших рек и озер наибольшее хозяйственное значение имеют малые реки и искусственные водохранилища, организованные в руслах малых рек. В промышленно развитых и сельскохозяйственных регионах антропогенное воздействие на малые реки является наиболее ощутимым. Поэтому одной из главных природоохранных задач любого региона является контроль за экологическим состоянием природных вод. Согласно данным Государственного экологического надзора Министерства лесного, охотничьего хозяйства и природопользования Республики Мордовия экологическая ситуация в республике за последние три года оценивается как достаточно стабильная, без ухудшения. Но отмечается ухудшение состояния поверхностных вод г.о. Саранск. Поэтому целью нашего исследования стала оценка экологического состояния поверхностных природных вод в г.о. Саранск по органолептическим и физико-химическим показателям. В рамках исследования были отобраны пробы воды из рек Инсар (3 точки) и Саранка, а также из водохранилищ Лямбирское, Луховский пруд, Лесное озеро и Зеленая роща. Пробоотбор осуществлялся в зимний и летний периоды. В рамках исследования проводился анализ по следующим показателям: цвет, цветность, жесткость, pH, сухой остаток, окисляемость, концентрация ионов Cl^- , SO_4^{2-} , NO_2^- , NO_3^- , NH_4^+ , Cu^{2+} . В исследуемых пробах воды установлено превышение некоторых органолептических показателей (цвет, цветность, запах), отклонение от нормы по физико-химическим характеристикам (жесткость, водородный показатель, окисляемость) и превышение ПДК химических компонентов, что свидетельствует о загрязнении водоемов. Проведенное исследование доказывает, что антропогенная нагрузка приводит к загрязнению поверхностных вод города, что сильно влияет на качество вод рек и водохранилищ региона в целом.

Ключевые слова: экологическое состояние поверхностных вод, органолептический анализ, гидрохимический анализ

ESTIMATION OF ENVIRONMENTAL STATE OF SURFACE WATER SARANSK

Zhukova N.V., Berest E.V., Nacharkina O.V.

Mordovia State Pedagogical Institute, Saransk, e-mail: chemihka@mail.ru

One of the most important tasks of any region and the state as a whole is the conservation of natural resources. In the Republic of Mordovia, in the absence of large rivers and lakes, small rivers and artificial reservoirs, organized in the channels of small rivers, are of most economic importance. In the industrialized and agricultural regions, the anthropogenic impact on small rivers is most pronounced. Therefore, one of the main environmental objectives of any region is to monitor the ecological state of natural waters. According to the data of the State Environmental Supervision of the Ministry of Forestry, Hunting and Nature Management of the Republic of Mordovia, the ecological situation in the republic for the last three years is estimated as fairly stable, without deterioration. But there is a deterioration in the state of surface waters of the city. Saransk. Therefore, the purpose of our study was to assess the ecological state of surface natural waters in the city of Saransk on organoleptic and physico-chemical indicators. In the framework of the study, water samples were taken from the rivers Insar (3 points) and Saranka, as well as from the reservoirs Lyambirskoye, Luhovskiy pond, Lesnoye ozero and Zelenaya Roshcha. Sampling was carried out in winter and summer. The analysis included the following indicators: color, color, hardness, pH, dry residue, oxidizability, concentration of Cl^- , SO_4^{2-} , NO_2^- , NO_3^- , NH_4^+ , Cu^{2+} ions. Examination of some organoleptic parameters (color, color, odor), deviation from the norm by physicochemical characteristics (rigidity, hydrogen index, oxidizability) and exceeding of MPC of chemical components is established in the water samples tested, which indicates contamination of water bodies. The conducted research proves that the anthropogenic load leads to the pollution of the surface waters of the city, which greatly affects the quality of the rivers and reservoirs of the region as a whole.

Keywords: ecological state of surface waters, organoleptic analysis, hydrochemical analysis

Важной составляющей любой экосистемы являются поверхностные воды: реки, озера, водохранилища. Около 99% от общего количества речных водотоков на территории России составляют малые реки, длина которых менее 100 км. Сегодня состояние поверхностных вод, особенно малых рек и озер, заметно ухудшилось. Состояние природных вод любого региона, округа, района имеет огромное экологическое значение.

Оно существенно зависит от влияния промышленных и сельскохозяйственных предприятий, жилищно-коммунального сектора и автомобильных выбросов. Поэтому организация постоянного мониторинга качественных и количественных характеристик состава природных вод и ее безопасности для биоты всегда остается актуальной [1].

Одной из основных причин снижения качества поверхностных вод является ан-

тропогенное воздействие на реки. Республика Мордовия относится к числу регионов с развитыми сельским хозяйством и промышленностью, поэтому антропогенное влияние на водные объекты особенно явно отражается на малых реках в водохранилищах.

Большая часть населения республики проживает на территории двух городов – Саранска и Рузаевки. Столица Мордовии, Саранск, заслужено считается одним из самых благоустроенных и комфортных для проживания городов России. Несмотря на это большая часть населения все же обеспокоена экологической обстановкой в городском округе. Жители города негативно относятся к плохому состоянию рек, прудов и озер. Загрязнение рек и озер связывают прежде всего с деятельностью промышленных предприятий и постоянно возрастающим числом транспортных средств на улицах города.

На предприятиях города ощущается нехватка воды. На заводах используют чистую артезианскую воду. Большие предприятия обязаны иметь собственные очистные сооружения, но далеко не везде они есть, поэтому многие предприятия Саранска сбрасывают стоки в реки города: Инсар, Тавлу и Саранку [2].

По данным Государственного экологического надзора Министерства лесного, охотничьего хозяйства и природопользования Республики Мордовия экологическая ситуация в республике за последние 3 года оценивается как достаточно стабильная, без ухудшения [3, с. 46–51; 4, с. 53–59]. Но отмечается ухудшение состояния поверхностных вод г.о. Саранск. Особенно это касается р. Инсар, которая подвержена интенсивному антропогенному воздействию. Так по сравнению с 2016 г. в 2017 г. отмечается ухудшение состояния вод р. Инсар как до г. Саранска, так и после: в пункте г. Саранск (7 км выше города), качество воды р. Инсар по сравнению с 2016 г. также улучшилось и соответствовало 3 классу разряду «Б» очень загрязненных вод (УКИЗВ2016 – 4,00; УКИЗВ2017 – 3,36); ниже г. Саранска по сравнению с фоновым створом ухудшилась (УКИЗВ – 4,16) и соответствовала 4 классу разряду «А» грязных вод [4, с. 53–59].

Характерными загрязняющими веществами являются соединения азота (нитритные, нитратные и аммонийные), легкоокисляемые органические вещества, нефтепродукты, трудноокисляемые органические вещества, медь. Дальнейшее

увеличение перечисленных загрязнителей может вызывать эвтрофикацию водоемов, особенно это касается озер и прудов, для которых характерна небольшая скорость движения воды.

Таким образом, мероприятия по охране водных ресурсов региона обязательно должны включать и защиту малых водотоков от загрязнения и деградации. Поэтому первоочередной природоохранной задачей любого региона является мониторинг качества природных вод.

В литературных источниках нет информации о состоянии вод р. Саранки и водохранилищ г.о. Саранск, воды которых используются для хозяйственных нужд, а их прибрежная территория входит в состав зон отдыха горожан. Поэтому целью нашего исследования стала оценка экологического состояния поверхностных природных вод в г.о. Саранск по органолептическим и физико-химическим показателям. Исходя из поставленной цели, были поставлены следующие задачи:

- 1) определить содержание и концентрацию ионов меди в воде;
- 2) определить обобщающие показатели, такие как кислотность, жесткость, сухой остаток, окисляемость и др.;
- 3) изучение санитарно-эпидемиологических требований к качеству природных вод;
- 4) на основе полученных результатов сделать выводы о состоянии водных объектов г. Саранска.

Материалы и методы исследования

Отбор пробы воды является важной частью ее анализа, необходимым условием правильности получаемых результатов и применимости их в практике. Водозабор проб осуществлялся в соответствии со всеми требованиями ГОСТ 31942-2012. Он был произведен в разное время года в восьми точках городского округа Саранск: р. Инсар (район Ялга), р. Инсар (Центр города), р. Инсар (район Химмаш), р. Саранка, Лямбирское водохранилище, пруд Лесное озеро, пруд Зеленая роща и Луховский пруд (рисунок).

В ходе исследования использовались методы определения органолептических и физико-химических показателей. Несмотря на то, что для вод рыбохозяйственного назначения органолептические показатели не нормируются, все же их повышенные значения свидетельствуют о загрязнении воды. Поэтому в ходе работы нами были проведены следующие

органолептические исследования: визуальная оценка цвета, прозрачности и интенсивности запаха; определение градуса цветности метод фотометрического определения (с помощью фотометрического определителя АРЕL АР-101) с применением хром-кобальтовой шкалы [5].

Физико-химический анализ воды проводился по наиболее приоритетным показателям, определяющим качество и эколого-гигиеническую безопасность воды:

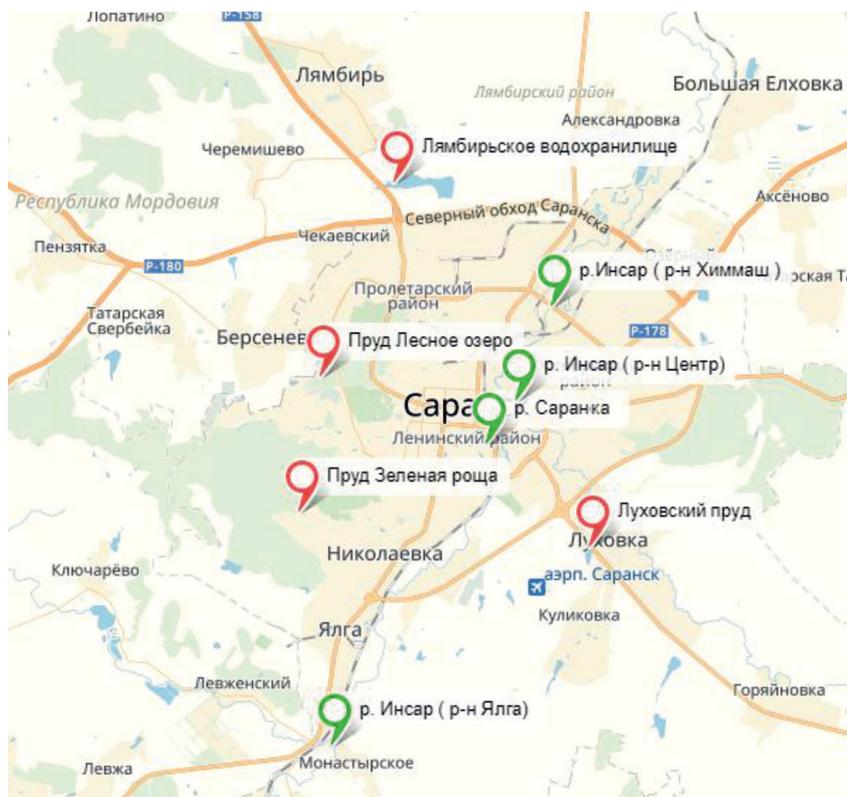
- карбонатная жесткость (кислотно-основное титрование стандартным 0,1000 М раствором НСl),
- общая жесткость (комплекснометрическое титрование 0,1000 М раствором трилона Б в присутствии аммонийной буферной смеси и индикатора хромогена),
- значение рН (потенциометрическое определение с помощью рН-метр-иономера «Экотест-120»),
- сухой остаток,
- окисляемость (окислительно-восстановительное титрование 0,01 н раствором KMnO_4),
- наличие растворенных ионов (потенциометрическое определение с помощью рН-метр-иономера «Экотест-120») [6, с. 38–53].

Количество опытов по каждому показателю составило не менее трех.

Результаты исследования и их обсуждение

В ходе данного исследования было получено представление о состоянии водных ресурсов г.о. Саранск. Результаты исследования приведены в таблице.

Все исследуемые водохранилища организованы в руслах малых рек. Вода данных водохранилищ используется населением города для хозяйственных нужд, рыболовства и в качестве зоны отдыха (купание). Согласно полученным результатам опасение вызывает экологическое состояние Лямбирского водохранилища и пруда «Зеленая роща». Здесь отмечено высокое значение рН, что объясняется геологией водосборного бассейна (наличие карбонатных пород), и высокое значение окисляемости. Резкое увеличение окисляемости, такое как в пробах воды из упомянутых водохранилищ и р. Саранки, выступает как характеристика, отражающая режим поступления сточных вод. Кроме того в воде Лямбирского водохранилища обнаружено достаточно большое количество ионов меди (II).



Карта точек пробоотбора

Результаты исследования

Показатели состава и свойств воды природного объекта	Водный объект								ПДК / норма
	Луховский пруд	Пруд «Зеленая роща»	Пруд «Лесное озеро»	Лямбирское водохранилище	р. Саранка	р. Инсар (район Ялга)	р. Инсар (район Химмаш)	р. Инсар (Центр города)	
Запах	2	1	2	2	3	2	2	2	Не > 2 баллов
	3	2	1	2	4	2	1	2	
Цвет	бесцветная	бесцветная	бесцветная	бесцветная	бесцветная	желтоватый оттенок	бесцветная	бесцветная	бесцветная
	бесцветная	мутная желтоватая	бесцветная	бесцветная	желтоватый оттенок	бесцветная	бесцветная	бесцветная	
Цветность	40	45	30	40	40	55	35	40	35
	45	60	35	50	55	45	35	40	
Карбонатная жесткость	4,785	3,741	2,030	5,046	4,900	6,438	4,700	4,600	7,0 мг-экв/л
	4,437	1,900	1,827	5,742	5,655	4,089	4,611	3,741	
Общая жесткость	6,0	3,6	1,9	6,6	8,2	8,9	7,2	5,6	10,0 мг-экв/л
	5,0	2,1	0,8	6,4	7,0	4,9	5,4	5,6	
Водородный показатель (рН)	6,90	9,29	6,59	9,3	8,30	7,03	7,70	8,80	6,00–9,00
	6,90	7,45	6,82	10,13	7,68	9,83	8,99	8,62	
Сухой остаток	200	100	700	400	700	500	800	600	1000 мг/л
	400	300	200	300	600	500	500	300	
Окисляемость	7,12	7,92	4,64	3,84	3,20	3,84	3,92	3,60	5–7 мг/л
	4,80	20,4	5,92	9,44	24,40	7,20	7,20	7,20	
Cl ⁻	0,093	0,002	0,003	0,074	2,55	0,744	0,175	0,096	350 мг/л
	0,012	0,006	0,012	0,019	<i>15,17</i>	0,013	0,048	0,017	
SO ₄ ²⁻	5-10	< 5	< 5	5-10	10–100	< 5	10-50	5–10	500 мг/л
	5-10	< 5	< 5	5-10	10–100	5–10	10-100	5–10	
NO ₂ ⁻	< 0,003	< 0,003	0,003	< 0,003	< 0,003	0,013	< 0,003	< 0,003	3,3 мг/л
	< 0,003	< 0,003	0,003	< 0,003	< 0,003	0,013	< 0,003	< 0,003	
NO ₃ ⁻	0,664	0,089	0,085	0,342	1,571	0,925	0,579	0,525	45 мг/л
	0,652	0,041	0,089	<i>0,082</i>	<i>0,527</i>	<i>0,253</i>	<i>0,275</i>	<i>0,179</i>	
NH ₄ ⁺	0,133	0,0074	0,110	0,198	0,296	0,327	0,201	0,198	1,93 мг/л
	<i>1,019</i>	<i>0,296</i>	0,052	0,234	2,737	0,266	0,382	0,266	
Cu ²⁺	0,007	0,006	0,005	0,011	0,008	0,002	0,001	0,002	1,0 мг/л
	0,017	0,004	0,007	0,027	0,000	0,001	0,001	0,002	

Примечания: белой заливкой показаны данные проб отобранных в январе, серой заливкой – в мае; полужирным выделены показатели превышающие ПДК (норму); курсивом – показатели, которые сильно отличаются от таковых в предыдущих пробах.

Вода, отобранная в пруду «Луховский» и пруду «Лесное озеро» по большинству показателей соответствует нормативам качества [7, с. 6–12]. Но отмечено, что в пруду «Луховский» в летний период резко увеличилось содержание ионов аммония и меди, при этом снизилась окисляемость в 1,5 раза.

Исследования показали, что несмотря на достаточно большое антропогенное

влияние, экологическое состояние р. Инсар в пределах г. Саранска нельзя назвать катастрофическим. Сезонные изменения таких показателей, как окисляемость, общая жесткость, сухой остаток и рН, вполне объяснимы гидрологическим режимом водного объекта.

Наиболее серьезные опасения вызывает состояние воды р. Саранки. В исследуемых

пробах содержится большое количество как минеральных так и органических веществ. Вода р. Саранки оказалась самой грязной из всех исследуемых образцов. Данный факт объясняется в первую очередь поступлением сточных вод с предприятий и жилого сектора Юго-Западного района города. Дальнейшее загрязнение реки может привести к ее деградации.

Поэтому в целях предотвращения ухудшения экологического состояния поверхностных вод г.о. Саранска необходимо выполнение следующих основных мероприятий:

- разработка плана охраны малых рек на уровне администрации города и органов власти республики;
- очищение русел малых рек и озер от мусора ТБО;
- контроль за санитарным состоянием берегов и поймы рек;
- контроль за содержанием ферм, предприятий, складов удобрений, расположенных вдоль рек;
- запрет мойки автомобилей у водоемов;
- очистка родников;
- охрана береговой зоны;
- посадка леса и кустарника вдоль русел рек.

Заключение

Таким образом, проведенное исследование доказывает, что антропогенная нагрузка приводит к загрязнению поверхностных вод города, что сильно влияет на качество речных вод региона в целом. Исследуемые пробы воды имеют неудовлетворительные органолептические показатели, что может свидетельствовать о загрязнении водоемов. По гидрохимическому составу изученные водные объекты классифицируются как «жесткие» и «средне жесткие». В большом количестве проб превышено значение водородного показателя. Химический состав проб воды выявил повсеместные превышения окисляемости, а в некоторых случаях большое содержание аммонийного азота, что свидетельствует о риске загрязнения водоемов бытовыми и хозяйственно-канализационными стоками.

Важным условием эффективной работы региональной власти в области природоохранной деятельности является непрерывный

мониторинг и систематический контроль за состоянием малых рек и водохранилищ, которые помогают выявить источники загрязнения поверхностных вод, а также оценить их экологическое состояние.

Работа выполнена в рамках гранта на проведение научно-исследовательских работ по приоритетным направлениям научно-исследовательской деятельности вузов-партнеров по сетевому взаимодействию (ФГБОУ ВО «Чувацкий государственный педагогический университет имени И.Я. Яковлева») по теме «Разработка научно-методического сопровождения организации экологического воспитания средствами химии окружающей среды».

Список литературы / References

1. Потапов А.И., Воробьев В.Н., Карлин Л.Н., Музалевский А.А. Мониторинг, контроль и управление качеством окружающей среды: научное, учебно-методическое пособие. СПб.: РГТМУ, 2002. 432 с.
- Potapov A.I., Vorobyov V.N., Carlin L.N., Muzailevsky A.A. Monitoring, control and quality management of the environment: scientific, educational and methodical grant. SPb.: RGGMU, 2002. 432 p. (in Russian).
2. Тарасова О.Ю., Москалева С.А. Экологический анализ состояния водных объектов рыбохозяйственного назначения на территории Республики Мордовия // Научное обозрение. Международный научно-практический журнал. 2016. № 2. С. 2–6.
- Tarasova O.Yu., Moskaleva S.A. The Ecological Analysis of Situation About Fishery Water Objects for Territories of the Republic of Mordovia // Scientific Review. The international scientific and practical journal. 2016. № 2. P. 2–6 (in Russian).
3. Государственный доклад о состоянии и об охране окружающей среды в Республике Мордовия в 2016 году. Министерство лесного, охотничьего хозяйства и природопользования Республики Мордовия. Саранск, 2017. 235 с.
- The state report on a state and on environmental protection in the Republic of Mordovia in 2016. Ministry of forest, hunting economy and environmental management of the Republic of Mordovia. Saransk, 2017. 235 p. (in Russian).
4. Государственный доклад о состоянии и об охране окружающей среды в Республике Мордовия в 2017 году. Министерство лесного, охотничьего хозяйства и природопользования Республики Мордовия. Саранск, 2018. 276 с.
- The state report on a state and on environmental protection in the Republic of Mordovia in 2017. Ministry of forest, hunting economy and environmental management of the Republic of Mordovia. Saransk, 2018. 276 p. (in Russian).
5. ГОСТ 31868-2012. Вода. Методы определения цветности. М.: Стандартинформ, 2014. 12 с.
6. Жукова Н.В., Позднякова О.В. Химия окружающей среды: лабораторный практикум. Саранск: МГПИ, 2015. 76 с.
- Zhukova N.V., Pozdnyakova O.V. Environment chemistry: laboratory practical work. Saransk: MGPI, 2015. 76 p. (in Russian).
7. СанПиН № 4630-88. Санитарные правила и нормы охраны поверхностных вод от загрязнения. М.: Министерство здравоохранения СССР, 1988. 12 с.

УДК 678:535.37

**ЗАВИСИМОСТЬ ФОТОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПОЛИМЕРНЫХ
СВЕТОПРЕОБРАЗУЮЩИХ КОМПОЗИЦИЙ С ОРГАНИЧЕСКИМИ
ЛЮМИНОФОРАМИ ОТ СПОСОБА ИХ ПОЛУЧЕНИЯ****Иваницкий А.Е., Минич А.С., Буценко Е.С., Гизбрехт А.В.***ФГБОУ ВО «Томский государственный педагогический университет», Томск,
e-mail: aleiv@tspu.edu.ru*

В настоящее время полимерные материалы, проявляющие флуоресцентные свойства (флуоресцирующие полимеры), активно используются современной промышленностью в области оптоэлектроники, светотехники, функциональных полимерных материалов для сельского хозяйства, лазерной техники и т.д. В статье рассмотрены фотофизические свойства светопреобразующих композиций, полученных путем введения органических люминофоров на основе комплексных соединений бензоилбензоата и теноилтрифторацетилацетоната европия (III) в полимерные матрицы полистирола и полиметилметакрилата двумя способами. Первый способ основан на смешивании растворов полимера и люминофора, второй – на введении люминофора непосредственно на стадии полимеризации (в блоке) полимеров. Полученные композиции с гомогенно распределенными люминофорами в полимерных матрицах и материалы на их основе обладают высокой способностью поглощать и трансформировать УФ-излучение в видимую область спектра. Первоначально проведены испытания использованных в работе люминофоров на их фотохимическую стабильность в условиях ускоренных испытаний в неводных средах (этилацетате). Оба люминофора показали высокую фотохимическую стабильность в растворах под действием жесткого УФ-излучения (600 мин и более). Однако в полимерных композициях люминофор на основе бензоилбензоата европия оказался менее фотохимически стабилен, чем на основе теноилтрифторацетилацетоната европия независимо от способа получения композиций. Установлено, что введение люминофора теноилтрифторацетилацетоната европия на стадии полимеризации полиметилметакрилата увеличивает его фотохимическую стабильность в 1,5–2 раза, в сравнении с композициями, полученными способом смешения растворов. Вероятно, на стадии синтеза полимера вводимый люминофор способен образовывать межмолекулярные связи с макромолекулами полимера, либо встраиваться в его надмолекулярную структуру. Полученные данные расширяют представления о гомогенном распределении органических люминофоров на основе сложных комплексных соединений европия (III) в полимерных матрицах и представляют научный и практический интерес в проведении дальнейших исследований в этой области.

Ключевые слова: бензоилбензоат европия, теноилтрифторацетилацетонат европия, оптические свойства, флуоресценция, полимерная матрица, фотохимическая стабильность

**PHOTOPHYSICAL PROPERTIES OF POLYMERIC LIGHT-TRANSFORMING
COMPOSITIONS WITH ORGANIC LUMINOPHORES DEPENDING
ON THE METHOD OF THEIR PRODUCTION****Ivanitskiy A.E., Minich A.S., Butsenko E.S., Gizbrekht A.V.***Tomsk State Pedagogical University, Tomsk, e-mail: aleiv@tspu.edu.ru*

Currently, polymeric materials exhibiting fluorescence properties (fluorescent polymers) are widely used in modern industry, optoelectronics, lighting, functional polymer materials for agriculture, laser technology, etc. The photophysical properties of light-converting compositions obtained by introducing organic luminophors based on complex compounds of benzoylbenzoate and tenoyltrifluoroacetylacetonate europium (III) in polymeric matrices of polystyrene and polymethylmethacrylate in two ways considered in the article. The first method based on mixing polymer and phosphor solutions, the second one on the introduction of the phosphor directly into the polymerization stage (block) of polymers. The resulting compositions with homogeneously distributed luminophores in polymer matrices and materials based on them have a high proportion of absorbed and transformed UV radiation into the visible region of the spectrum. First, tests of photochemical stability of phosphors under accelerated testing conditions in non-aqueous media (ethyl acetate) were out. Both phosphors showed high photochemical stability in solutions under the influence of hard UV radiation (600 minutes or more). However, in the polymer compositions, the europium benzoylbenzoate was less photochemically stable than the europium tenoyltrifluoroacetylacetonate, regardless of the method of preparation of the compositions. It was found that the introduction of the europium tenoyltrifluoroacetylacetonate in the polymerization stage of polymethylmethacrylate increases its photochemical stability by 1.5-2 times, in comparison with the compositions obtained by the method of mixing solutions. Probably, at the stage of polymer synthesis, the introduced phosphor is able to form intermolecular bonds with polymer macromolecules, or to be embedded in its supramolecular structure. The obtained data broaden the concept of the homogeneous distribution of organic phosphors of europium (III) complex compounds embedded in polymer matrices and are of scientific and practical interest in carrying out further studies in this field.

Keywords: europium benzoylbenzoate, europium tenoyltrifluoroacetylacetonate, optical properties, fluorescence, polymer matrix, photochemical stability

Полимерные материалы, содержащие в своем составе специальные добавки или функциональные группы, проявляющие флуоресцентные свойства, получили название флуоресцирующие полимеры. В настоящее время области использования таких материалов обширны – оптоэлектроника, светотехника, функциональные полимер-

ные материалы для сельского хозяйства, лазерная техника и т.д. [1–3]. В частности, уже с 1990-х гг. была показана высокая эффективность применения таких материалов для изготовления пленочных покрытий для сооружений защищенного грунта в сельском хозяйстве. Полимерные пленки, представляющие собой полиэтилен высокого давления (ПЭВД) с добавками люминофоров на основе соединений редкоземельных элементов (РЗЭ), способные преобразовывать часть УФ-излучения солнца в видимую область электромагнитного излучения, нашли широкое применение в современных тепличных хозяйствах [4, 5]. Отличительной чертой таких пленок, определяющей их фотофизические свойства, является гетерофазный, дисперсный характер распределения добавок люминофоров в полимерной матрице полиэтилена, что позволяет преобразовывать только около 1 % УФ излучения солнца [6].

Получение полимеров, содержащих добавки на основе комплексных соединений европия, гомогенно распределенных в подходящих полимерных матрицах, позволит создать светопреобразующие композиции и материалы на их основе с высокой долей поглощенного и трансформированного УФ-излучения в видимую область спектра. Нами проведено исследование по влиянию способа получения на фотофизические свойства (флуоресценцию, фотохимическую деструкцию) композиций на основе полимерных матриц полистирола (ПС) и полиметилметакрилата (ПММА) с гомогенным распределением в них добавок органических люминофоров двух типов на основе бензоилбензоата европия (III) (ББЕу) и теноилтрифторацетилацетоната (ТТФААЕу) европия (III), предоставленный Институтом химии ДВО РАН (г. Владивосток).

Материалы и методы исследования

Синтез люминофора ББЕу осуществляли по следующей схеме: к 15 г бензоилбензойной кислоты приливают 150 мл дистиллированной воды и добавляют 2,7 г гидроксида натрия (NaOH). При постоянном перемешивании на мешалке полученный раствор нагревают до температуры 100 °С, если вся бензоилбензойная кислота не растворилась, то добавляют NaOH до $pH = 8-8,5$. Полученный раствор соли бензоилбензоата натрия (ББNa) охлаждают на воздухе до комнатной температуры. Далее к раствору при перемешивании приливают 7,6 г нитрата европия, растворенного в 50 мл дистиллированной воды. образо-

вавшийся осадок отфильтровывают, промывают водой и сушат в вакууме при комнатной температуре до постоянной массы. Выход ББЕу составил 18,86 г.

Для изготовления полимерных композиций с гомогенным распределением органических люминофоров на основе ББЕу и ТТФААЕу в полимерных матрицах ПС и ПММА применялись два способа:

1) растворный, заключающийся в совместном растворении полимера и люминофора в подходящем растворителе (этилацетате);

2) на стадии синтеза полимеров (радикальная (блочная) полимеризация), в соответствующий мономер (стирол или метиловый эфир метакриловой кислоты) добавлялось определенное количество люминофора и инициатора (пероксида бензоила). Далее синтезированные полимерные композиции растворялись в этилацетате до получения лака.

Лаки равномерно наносились методом полива на подложки из органического стекла размерами 20x30x3 мм и сушились при комнатной температуре. Таким образом, получали образцы нанесенных на подложку светопреобразующих композиций, на которых проводились дальнейшие исследования. Всего было получено по три образца с содержанием люминофоров 0,05–1 % мас. соответственно. Толщина слоя для композиций с люминофором ББЕу на основе ПММА составляла 25 ± 5 мкм, ПС – 75 ± 15 мкм; для композиций ПММА с ТТФААЕу – 20 ± 5 мкм, ПС – 60 ± 15 мкм.

Спектры люминесценции получали по разработанной в Лаборатории полимерных материалов для фотобиологии ТГПУ методике [7] на установке, на базе оптоволоконного спектрометра «Avaspec-2048» (Avantes, Нидерланды) с дейтериево-галогенной лампой «Avalight DT-Hal».

Спектры пропускания электромагнитного излучения (200–900 нм) пленками получены на спектрофотометре «Uvicon 943».

Для определения срока службы люминофора (фотохимическое разложение) в полученных растворах люминофоров в этилацетате и образцах лака использован лабораторный метод ускоренных испытаний. Метод основан на облучении образцов мощным источником УФ-излучения и определении интенсивности люминесцентного излучения через определенный интервал времени. Для растворов используется кварцевая колба и магнитная мешалка, для нанесенного на подложку лака облучение проводят на образцах одинакового размера

(для любой толщины), расположенных непосредственно под лампой ДРТ-400 на расстоянии 200 мм. Образцы облучают светом лампы продолжительностью от 10 с до полного прекращения свечения люминофора, проводя через определенные промежутки времени измерения интенсивности люминесценции [8].

Результаты исследования и их обсуждение

Исходные люминофоры представляют собой мелкокристаллические порошки ББЕу белого цвета, ТТФААЕу – кремового, имеющие типичные для комплексных соединений европия (III) спектры люминесценции (рис. 1).

Так, в спектре люминесценции ББЕу присутствует характерная для этого люминофора полоса с максимумом в области 612 нм (рис. 1, А), а для ТТФААЕу – 615 нм (рис. 1, Б). Коэффициент преобразования УФ-излучения для ББЕу составляет 0,62, ТТФААЕу – 0,99.

Для определения фотохимической стабильности люминофоров в выбранном растворителе (этилацетате) проведено исследование их устойчивости в условиях ускоренного фотохимического разложения. Стандартной лабораторной методики для измерения фотохимической стабильности люминофора в настоящее время нет. Представленные в литературе результаты не содержат конкретных данных об условиях проведения испытаний и значительно отличаются друг от друга. Общим является использование искусственных источников УФ-излучения для стимулирования ускоренных процессов фотохимических реакций люминофоров, сопровождающихся потерей люминесцентных свойств. Протекание фотохимических реакций в большей степени определяется интенсивностью потока УФ-излучения, попадающего на образец. Интенсивность, в свою очередь, зависит от расстояния от источника УФ-излучения до образца. Нами при выборе конкретных условий исследования фотохимической стабильности фотолюминофоров в растворах использована УФ-лампа ДРТ-400. Расстояние от образца раствора на магнитной мешалке до поверхности лампы установлено 200 мм.

Фотохимическая стабильность люминофора ББЕу в растворе этилацетата (рис. 2, А) увеличивается с повышением его концентрации до 1 % мас., что приводит к увеличению срока его службы в растворе не более 600 мин в условиях ускоренных испытаний.

Растворы ТТФААЕу в этилацетате (рис. 2, Б) обладают высокой начальной интенсивностью люминесцентного излучения при содержании люминофора от 0,05 до 0,1 % мас., что примерно в 20 раз больше, чем растворов, содержащих от 0,1 до 1,0 % мас. ББЕу и составляет 40 нВт/см³ и 55 нВт/см³ соответственно. Высокая интенсивность люминесцентного излучения этого люминофора обусловлена его способностью преобразовывать 99,99 % возбуждающего УФ-излучения, что в свою очередь, связано с химическим составом и пространственным строением ТТФААЕу.

При ускоренной фотохимической деструкции интенсивность люминесцентного излучения ТТФААЕу в растворе этилацетата плавно снижается от времени облучения и на 600 минутах выходит на плато. После 600 мин интенсивность люминесценции продолжает оставаться высокой, при сравнении с растворами люминофора ББЕу.

Таким образом, установлено, что люминофор ТТФААЕу имеет более высокую устойчивость к действию УФ-излучения, чем люминофор ББЕу, и, соответственно, должен иметь больший срок службы в готовой полимерной композиции.

Для определения влияния способов получения светопреобразующей композиции на фотохимическую стабильность люминофоров ББЕу и ТТФААЕу в полимерной матрице наработаны по три образца каждого содержания люминофоров (0,1; 0,3; 0,5; 1,0 % мас.) в ПС и ПММА из растворов и на стадии полимеризации.

Полученные образцы светопреобразующих композиций обладают характерной интенсивной флуоресценцией красной области спектра с максимумом в области 612 нм для люминофора ББЕу и 615 нм для ТТФААЕу. Спектры флуоресценции полимерных композиций с добавкой выбранных люминофоров практически идентичны спектрам флуоресценции исходных дисперсных люминофоров ББЕу и ТТФААЕу, что указывает на отсутствие химического взаимодействия с полимерной матрицей. Интенсивность люминесцентного излучения полученных образцов и поглощение ими УФ-излучения возрастает с увеличением содержания люминофора в полимерной композиции, как для полимера ПММА, так и для ПС. Сравнение оптических свойств (пропускание электромагнитного излучения УФ и видимой области спектра) полученных композиций проведено на образцах одинаковой толщины 100 мкм. Установлено, что

светопреобразующие композиции на основе ПММА, содержащие, как люминофор ББЕи, так и ТТФААЕи, обладают высокой прозрачностью и пропускают от $90,1 \pm 2,3\%$ до $95,0 \pm 2,5\%$ видимой области спектра соответственно. Тогда как композиции на основе ПС с тем же составом и содержанием люминофоров образуют белые матовые композиты с величинами пропускания электромагнитного излучения видимой области спектра $80,1 \pm 3,0\%$ (для содержания 0,1% мас.), $72,5 \pm 2,1$ (для 0,3% мас.), $60,2 \pm 3,5\%$ (для 0,5% мас.), $50,2 \pm 1,2\%$ (для 1,0% мас.), как для ББЕи, так и для ТТФААЕи.

Результаты исследования фотохимической стабильности люминофоров в полимерных светопреобразующих композициях (ПС и ПММА) в зависимости от их содержания и способа получения представлены в таблице.

По результатам проведенных испытаний люминофор ББЕи оказался менее стабилен, чем ТТФААЕи, в изготовленных композициях независимо от способа получения. Так при увеличении содержания люминофора в композициях происходит незначительное увеличение его фотохимической стабильности, достигая максимума 120 ± 5 мин (1 способ), 170 ± 5 мин. (2 способ) в матрице ПС и 80 ± 5 минут (1 способ), 120 ± 5 мин (2 способ) в матрице ПММА и при содержании 1% мас. Разница в результатах фотохимической стабильности люминофора в растворах этилацетата и в полимерных композициях может быть связана как с разрушением люминофора под действием жесткого УФ-излучения, так и образующихся в полимерной матрице радикалов.

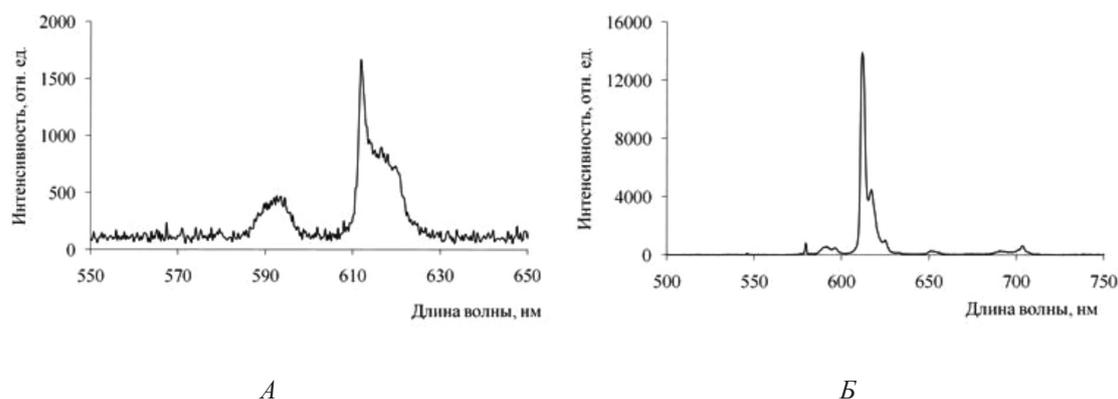


Рис. 1. Спектры люминесценции исходных кристаллических образцов люминофоров: А – ББЕи; Б – ТТФААЕи

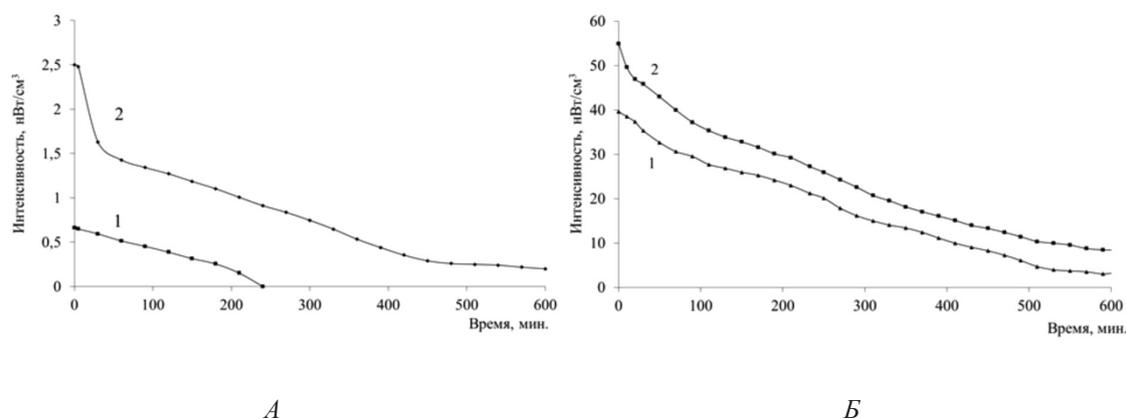


Рис. 2. Зависимость интенсивности люминесцентного излучения при условиях ускоренной фотохимической деструкции люминофоров в растворе этилацетата, содержащих: А – ББЕи: 0,3% мас. – 1; 1,0% мас. – 2; Б – ТТФААЕи: 0,05% мас. – 1; 0,1% мас. – 2

Фотохимическая стабильность люминофоров в полимерных светопреобразующих композициях, полученных растворным способом (1) и на стадии синтеза полимеров (2)

Содержание люминофора в композиции, % мас.	Время, мин							
	ББЕу				ТТФААЕу			
	ПС		ПММА		ПС		ПММА	
	1	2	1	2	1	2	1	2
0,1	30 ± 2	45 ± 5	15 ± 2	25 ± 3	200 ± 5	290 ± 5	210 ± 2	400 ± 5
0,3	55 ± 5	65 ± 2	35 ± 5	45 ± 2	300 ± 10	380 ± 5	300 ± 5	550 ± 10
0,5	75 ± 5	90 ± 2	55 ± 2	75 ± 5	380 ± 5	420 ± 2	420 ± 2	610 ± 10
1,0	120 ± 6	170 ± 5	80 ± 5	120 ± 5	450 ± 10	520 ± 10	600 ± 5	750 ± 10

Для композиций с ТТФААЕу в ПС независимо от способа получения наблюдается схожая динамика в фотохимической стабильности с композициями люминофора ББЕу в ПС. Также незначительно увеличивается фотохимическая стабильность люминофора в зависимости от содержания, не превышающая его показатели в растворе этилацетата.

Для композиций ТТФААЕу в ПММА, полученных при введении люминофора на стадии полимеризации, наблюдается повышенная в 1,5–2 раза фотохимическая стабильность, в сравнении с композициями, полученными способом смешения растворов. Вероятно, на стадии синтеза полимера вводимый люминофор способен образовывать межмолекулярные связи с макромолекулами полимера, либо встраиваться в его надмолекулярную структуру.

Заключение

В результате проведенной работы установлено, что фотохимическая стабильность люминофоров в полимерных матрицах в большей степени зависит от природы органического люминофора и его пространственного строения. На показатели фотохимической стабильности люминофора (срок службы) влияет не только способ получения композиции, но и природа полимерной матрицы. Так, введение люминофора ТТФААЕу при полимеризации в блоке ПММА приводит к увеличению срока службы люминофора в 1,5–2 раза, по сравнению с композицией с ПС. Люминофор ББЕу является менее стабильным в полимерных матрицах, чем люминофор ТТФААЕу, что можно связать с его химическим и пространственным строением, а также с химическим взаимодействием с образующимися радикалами при фотохимической деструкции полимеров.

Полученные данные расширяют представления о гомогенном распределении органических люминофоров на основе сложных комплексных соединений европия

(III) в полимерных матрицах ПС и ПММА и представляют научный и практический интерес в проведении дальнейших исследований в этой области.

Список литературы / References

1. Смагин В.П. Физико-химические основы формирования и свойства оптически прозрачных металлсодержащих полимерных материалов: автореф. дис. ... докт. хим. наук. Томск, 2013. 45 с.
2. Smagin V.P. Physical and chemical bases of formation and property optically transparent metal-containing polymeric materials: avtoref. dis. ... dokt. xim. nauk. Tomsk, 2013. 45 p. (in Russian).
3. Érica A. de Souza, Caroline B. Azevedo, Lucas A. Rocha, Emerson H. de Faria, Paulo S. Calefi, Katia J. Ciuffi, Eduardo J. Nassar, Jorge V.L. Silva, Marcelo Oliveira, Izaque I. Maia Ultraviolet sensors using a luminescent europium (III) complex on acrylonitrile butadiene styrene polymer. *J. Mater. Res.* 2012. Vol. 27. Issue 16. P. 2088–2095. DOI: 10.1557/jmr.2012.129.
4. Nam Seob Baek, Yong Hee Kim, Dong Hyun Lee, Kang Deuk Seo, Hwan Kyu Kim Effect of coordination environment on the photophysical properties of luminescent europium(III) complexes. *Bull. Korean Chem. Soc.* 2009. Vol. 30. №. 7. P. 1553–1558. DOI: 10.5012/bkcs.2009.30.7.1553.
5. Kalinovskaya I.V., Karasev V.E., Zadorozhnaya A.N. Photochemical behavior of lanthanide-containing polymer materials. *Russian Journal of General Chemistry.* 2011. Vol. 81. № 5. P. 819–823.
6. Kalinovskaya I.V., Mirochnik A.G., Zadorozhnaya A.N. Photolysis of light-transforming polymeric materials based on europium (III) nitrate with 1,10-phenanthroline and quinaldic acid. *Optics and Spectroscopy.* 2017. T. 123. № 3. P. 388–391.
7. Иваницкий А.Е., Минич А.С., Колчев М.Л., Буценко Е.С., Ивлев Г.А., Белан Б.Д. Определение энергетической освещенности растений люминесцентным излучением флуоресцентных пленок при возбуждении солнечным излучением // Оптика атмосферы и океана. 2014. Т. 27. № 11. С. 1027–1031.
8. Ivanitskii A.E., Minich A.S., Kolchev M.L., Butsenko E.S., Ivlev G.A., Belan B.D. Determination of plants irradiance by luminescent radiation of fluorescent films at excitation by solar radiation // Atmospheric and Oceanic Optics 2014. T. 27. № 11. P. 1027–1031 (in Russian).
9. Иваницкий А.Е., Минич А.С., Райда В.С., Коваль Е.О., Майер Э.А., Климов И.Г. Определение интенсивности флуоресценции полимерных светокорректирующих пленок для сельского хозяйства // XXIV Съезд по спектроскопии: сборник трудов. Москва, 2010. С. 333–335.
10. Ivanitsky A.E., Minich A. S., Rayda V.S., Koval E.O., Maier E.A., Klimov I.G. Determination of intensity of fluorescence of polymeric svetokorrektiruyushchy films for agriculture // XXIV Congress on spectroscopy: collection of works. Moscow, 2010. P. 333–335 (in Russian).
11. Долматова С.Г., Райда В.С., Коваль Е.О. Определение срока службы люминофоров на основе соединений европия в флуоресцентных полиэтиленовых пленках // Пластические массы. 2003. № 10. С. 42–45.
12. Dolmatov S.G., Rayd V.S., Koval E.O. Definition of service life of phosphors on the basis of compounds of europium in fluorescent polyethylene films // Plastics. 2003. № 10. P. 42–45 (in Russian).

УДК 615.012.1

**МАГНИТОУПРАВЛЯЕМЫЕ ПРЕПАРАТЫ ГЕМИНА
НА ОСНОВЕ МИКРОЧАСТИЦ ФЕРРОКОМПОЗИТОВ
И ОЦЕНКА ИХ ПРОТИВООПУХОЛЕВОЙ АКТИВНОСТИ**

**¹Комиссарова Л.Х., ¹Марнаутов Н.А., ¹Голощапов А.Н., ¹Кузнецов А.А.,
¹Ерохин В.Н., ¹Семенов В.А., ¹Никольская Т.А., ²Грин М.А., ²Митиани Л.Ш.**

¹*ФГБУН Институт биохимической физики им. Н.М. Эмануэля РАН,
Москва, e-mail: komissarova-lkh@mail.ru;*

²*«МИРЭА – Российский технологический университет» (РТУ МИРЭА),
Институт тонких химических технологий имени М.В. Ломоносова, Москва*

В работе представлены результаты по разработке методов получения магнитоуправляемых препаратов гемина и оценке их противоопухолевой активности. Магнитоуправляемые препараты гемина были получены путем иммобилизации на микрочастицах феррокомпози́тов разного химического состава: металлическое железо, железо-углерод (FeC), синтезированных плазмохимическим методом. Иммобилизация гемина проводилась на композитах с немодифицированной и модифицированной белками (альбумин, желатин) и полисахаридами (декстран) поверхностью. Изучена динамика десорбции гемина из препаратов в модельной биологической жидкости. Показано, что выход гемина происходит в виде конъюгатов с альбумином. Максимальные значения сорбционной емкости и суммарной десорбции были обнаружены для композита FeC с немодифицированной поверхностью. В опытах на мышах с карциномой Льюис обнаружено, что после интратуморального введения препарата гемина на основе композита FeC с немодифицированной поверхностью концентрацией 50 мкМ и 100 мкМ (с учетом значений суммарной десорбции) у мышей опытных групп по сравнению с контрольными объемами опухоли уменьшились на 5,0% и 10,0%, соответственно. Выживаемость мышей опытной группы (при концентрации гемина 100 мкМ) по сравнению с контрольной увеличилась на 2 суток.

Ключевые слова: магнитоуправляемые препараты гемина, микрочастицы феррокомпози́тов, модификация поверхности, иммобилизация, конъюгаты гемина, десорбция, противоопухолевая активность, карцинома Льюис у мышей

**MAGNETIC-OPERATED HEMIN PREPARATIONS
ON THE BASIS OF FERROCOMPOSITE MICROPARTICLES
AND EVALUATING THEIR ANTITUMOR ACTIVITY**

**¹Komissarova L.Kh., ¹Marnautov A.N., ¹Goloshchapov A.N., ¹Kuznetsov A.A.,
¹Erokhin V.N., ¹Semenov V.A., ¹Nikolskaya T.A., ²Grin M.A., ²Mitiani L.Sh.**

¹*N.M. Emanuel Institute of Biochemical Physics of the Russian Academy of Sciences,
Moscow, e-mail: komissarova-lkh@mail.ru;*

²*Academy of Fine Chemical Technology of M.V. Lomonosov, Moscow*

The paper presents the results of working out methods to obtain magnetic-operated hemin preparations and evaluating their antitumor activity. The magnetic-operated hemin preparations were obtained by its immobilization on ferrocomposites microparticles of different chemical content: metallic ferrum, ferrum-carbon, synthesized by plasm-chemical method. The immobilization of hemin was carried out on composites with non-modified and modified by proteins (albumin, gelatin) surfaces. It was studied of hemin desorption dynamic from the preparations in a model biological liquid. It was shown that exit of hemin takes play in the form of the conjugates with albumin. The maximal figures of sorption capacity and summary desorption were detected for composite FeC with non-modified surface. In experiments on mice with carcinoma Luis it was discovered that after intratumoral injection of hemin preparations on base of FeC-microparticles with non-modified surface by concentration 50 mkM and 100 mkM (taking into account the summary desorption figures) the volumes of tumors in experimental groups in comparison with the control groups were reduced on 5,0% и 10,0%, accordingly. The survival of mice in experimental group (at concentration of hemin 100 mkM) was increased on two days.

Keywords: magnetic-operated hemin preparations, microparticles of ferrocomposites, modification of surface, immobilization, the conjugates hemin, desorption, antitumor activity, carcinoma Luis in mice

В литературе имеются данные по действию гемина на опухолевые клетки. Так, в работе румынских авторов [1] обнаружено, что гемин в концентрациях 10–100 мкМ тормозил пролиферацию клеток гепатом. В исследованиях российских авторов [2] обнаружена антимикробная, вирулицидная и антибактериальная активность производных гемина на клеточных культурах. По-

лученный эффект авторы связывают с окислительными свойствами гемина. Нами [3] на модельной системе было установлено, что гемин в концентрациях 50–100 мкМ в 2 и 4 раза соответственно (дозозависимый эффект) ускоряет окисление лимонена, т.е. обладает окислительной активностью. По-видимому, цитотоксическое действие гемина на опухолевые клетки *in vitro* обу-

словлено его окислительными свойствами. Представляло интерес изучить действие гемина на опухоль *in vivo* (на животных).

Цель исследования: разработка методов получения магнитоуправляемых препаратов гемина на основе микрочастиц феррокомпозитов разного химического состава, изучение десорбции гемина из препаратов в модельной биологической жидкости и оценка противоопухолевой активности препаратов на карциному Льюис у мышей.

Материалы и методы исследования

Необходимость использования носителей для создания лекарственной формы гемина связана с нерастворимостью гемина в водных растворах при физиологических значениях pH 7,0–7,4. Магнитоуправляемые препараты гемина были получены на основе микрочастиц феррокомпозитов с немодифицированной и модифицированной белками (альбумин, желатин) и полисахаридами (декстран) поверхностью. Модификация поверхности частиц проводилась по ранее отработанной нами методике [4]. Были использованы микрочастицы феррокомпозитов: железо-углерод (FeC) с различным содержанием железа и углерода с размером частиц 0,2–2 мкм, полученные методом низкотемпературного пиролиза [5], а также порошок металлического железа с размером частиц 0,6 мкм.

Подготовка феррокомпозитов для иммобилизации гемина

Поскольку частицы композитов в растворе агрегируют, для получения однородной по размерам суспензии проводили ультразвуковое диспергирование суспензии на ультразвуковом диспергаторе УЗДН-Т при частоте излучения 22 кГц, силе тока 50 мА в течение 5–10 минут при температуре 3–5 °С. Для хранения использовали композиты в виде суспензии концентрацией 50–10 мг/мл в 0,85 % NaCl (pH 7,4).

Модификация поверхности композитов альбумином, желатином и декстраном

Для покрытия композитов альбумином и желатином использовали 0,1 % растворы человеческого альбумина и желатина (фирмы Fluca) в 0,85 % NaCl (pH 7,4). Суспензии композитов 10 мг/мл и белков озвучивали на УЗДН-Т при 22 кГц в течение 2 мин и инкубировали при температуре 20 °С 90 мин при перемешивании, осаждали на Sm-Co магните индукцией 0,15 Тл. Осадок ресуспендировали в 0,85 % NaCl. К суспензии покрытых белками композитов добавля-

ли раствор формальдегида, инкубировали в течение 15 мин и отмывали дистиллированной водой от избытка формальдегида. Полученный осадок ресуспендировали в 0,85 % NaCl. Для покрытия частиц декстраном использовали 0,1 % декстран (Mm 40 тыс. Da, фирма SIGMA) в 0,85 % NaCl. Инкубацию проводили в течение 1 ч, осаждали на Sm-Co магните и отмывали от избытка декстрана.

Получение магнитоуправляемых препаратов гемина

Иммобилизация гемина (фирма Fluca) проводилась из щелочных растворов при весовых соотношениях композит/гемин: 10/1, 5/1 и 2/1 путем инкубации гемина в концентрации и 1 мг/мл в 0,05 N NaOH (pH 11,5) и суспензии композитов 10 мг/мл в NaCl в течение 60–90 минут при комнатной температуре (20–22 °С). Затем частицы с гемином осаждали на Sm-Co магните и в супернатанте определяли количество гемина. Расчет концентрации гемина проводился по калибровочной прямой путем определения оптической плотности супернатанта при 390 нм. Опыты повторяли не менее 5-и раз, для каждого опыта рассчитывали среднее значение и средне-квадратичное отклонение. Осадки использовали для десорбции в модельной биологической жидкости: раствор 0,6 % альбумина в 0,85 % NaCl (pH 7,4).

Динамика десорбции гемина из магнитоуправляемых препаратов

К осадкам композитов с иммобилизованным гемином приливали по 2 мл 0,6 % альбумина в 0,85 % NaCl (pH 7,4) и проводили десорбцию при 37 °С в течение 7 ч с периодическим осаждением суспензии частиц, сливом супернатанта для взятия проб на определение концентрации десорбированного гемина и добавлением новой порции 0,6 % альбумина к осадкам. Расчет концентрации десорбированного гемина проводился по калибровочной прямой путем определения оптической плотности супернатанта при 390 нм. Опыты повторяли не менее пяти раз, для каждого опыта рассчитывали среднее значение и средне-квадратичное отклонение.

Оценка действия препаратов гемина на карциному Льюис у мышей

Опыты проводились на мышках (самцах) линии F1(C57xDBA) весом 20–22 г. Суспензию опухолевых клеток карциномы Льюис в концентрации $14,5 \times 10^6$ клеток в 1 мл вводили мышам внутримышечно (в бедро правой лапы) по 0,2 мл в физиологическом

растворе. Животные делились на группы (по 7 мышей в каждой группе): 1 – контроль (развитие опухоли без воздействия). Группы 2, 3 и 4 – опытные. Мышам 1 и 2 групп интратуморально вводили по 0,2 мл физиологического раствора и 0,2 мл суспензии микрочастиц FeC концентрацией 10 мг/мл в физиологическом растворе соответственно. Мышам 3, 4 групп – суспензию препарата гемина, иммобилизованного на микрочастицах FeC концентрацией 50 мкМ и 100 мкМ (с учетом значений суммарной концентрации гемина после 6-часовой десорбции) соответственно. После введения суспензии магнитных частиц к мышам 2, 3 и 4 групп к опухоли на 5 мин прикладывали Sm-Co магниты индукцией 0,15Тл. В предварительных опытах нами было показано, что однократное приложение магнита к опухоли после интратуморального введения суспензии магнитных частиц на 3–5 мин позволяет создать депо частиц в области опухоли не менее, чем на 1 сутки. Через 12 суток после трансплатации в опытных и контрольной группах определяли объем внутримышечной опухоли на основе трёх взаимно перпендикулярных измерений размеров опухоли и на протяжении последующих двух недель число погибших животных.

Результаты исследования и их обсуждение

Было определено оптимальное время инкубации гемина с композитами для достижения максимальной сорбционной емкости по гемину, которое составило ≥ 90 мин. Результаты сорбционной эффективности (% адсорбции и сорбционная емкость) же-

лезо-углеродного композита и микрочастиц Fe по гемину представлены в табл. 1 и 2.

Из данных табл. 1 видно, что модификация поверхности FeC-композитов желатином и желатином с формальдегидом, а также с декстраном приводит к снижению сорбционной эффективности по гемину, т.е. физическая адсорбция гемина (в поры сорбента) является более эффективной, чем иммобилизация путем конъюгации желатина и декстрана с геминем. Сорбционная эффективность микрочастиц Fe к гемину возрастает после модификации их поверхности альбумином (табл. 2), так как преобладающую роль в данном случае, по-видимому, играет образование конъюгатов между ионогенными группами альбумина и гемина, что подтверждается характером спектров взаимодействия гемина с альбумином (рис. 1).

При взаимодействии гемина с альбумином (рис. 1) наблюдается сдвиг максимума поглощения продукта реакции в длинноволновую область (пик в области 400 нм), что подтверждает наше предположение об образовании конъюгатов гемина с альбумином (желатином) при иммобилизации гемина на микрочастицах железа, покрытых белками и соответствует данным работы [6], в которой обнаружено образование конъюгатов гемина с альбумином и показано, что реакция носит обратимый характер. Аналогичный характер спектральных характеристик гемина обнаружен и при взаимодействии гемина с желатином. Очевидно, образование конъюгатов гемина происходит за счет взаимодействия между пропионовокислыми группами гемина и аминокгруппами белков.

Таблица 1

Сорбционная эффективность к гемину FeC-композита марки 290/4-F (Fe-56%, C-44%)

Сорбционная эффективность	Весовое отношение композит/гемин	Модификация поверхности композита			
		не модиф.	модиф. жел.	модиф.ж. + формальд.	модиф. декстраном
Сорбция, % (M ± m)	10/1	78,4 ± 8,4	75 ± 7,7	69,4 ± 6,8	59 ± 5,7
	2/1	25,4 ± 1,8	23,4 ± 1,4	16,8 ± 1,2	19,4 ± 1,9
Сорбционная емкость, мг/г (M ± m)	10/1	78,4 ± 8,4	75 ± 7,7	69,4 ± 6,8	59 ± 5,7
	2/1	127,0 ± 9,0	117,0 ± 7,0	84,0 ± 6,0	97,0 ± 9,5

Таблица 2

Сорбционная эффективность к гемину микрочастиц железа

Сорбционная эффективность	Весовое отношение Fe / гемин	Модификация поверхности микрочастиц			
		Fe, не модиф.	Fe, модиф. альб.	Fe, модиф. альб. + формальд.	Fe, модиф. декстр.
Сорбция, % (M ± m)	10/1	27,8 ± 2,2	34,1 ± 2,3	58,6 ± 6,9	44,7 ± 5,0
	2/1	21,9 ± 1,7	27,5 ± 1,9	33,6 ± 2,1	12,3 ± 1,1
Сорбционная емкость, мг/г (M ± m)	10/1	27,8 ± 2,2	34,1 ± 2,3	58,6 ± 6,9	44,7 ± 5,0
	2/1	109,4 ± 8,5	137,5 ± 9,5	168,0 ± 11,5	61,5 ± 5,5

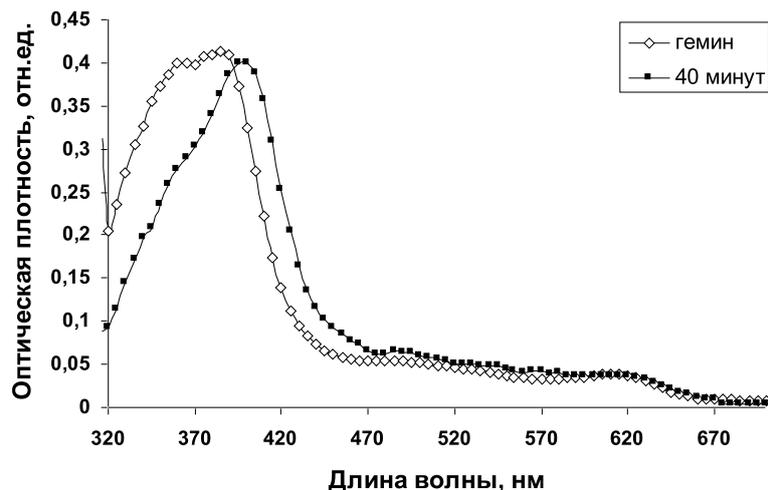


Рис. 1. Спектры поглощения гемина после инкубации с альбумином (среда: 0,85% NaCl + 0,05 N NaOH, pH 8,5 T 37°C). Концентрации в кювете: гемин – 0,01 мг/мл, альбумин – 2 мг/мл

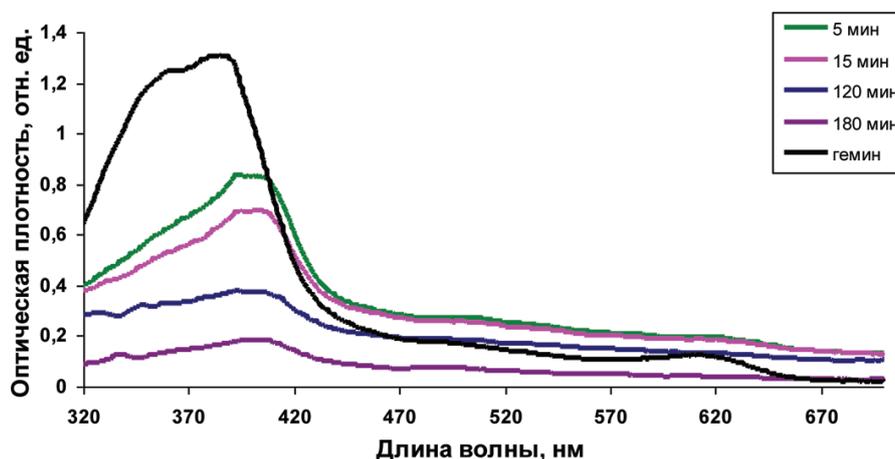


Рис. 2. Спектры поглощения гемина после десорбции из микрочастиц железа, покрытых желатином. Концентрация гемина в кювете 0,018 мг/мл (среда: 0,6% альбумин в 0,85% NaCl, pH 7,4)

На рис. 2 представлены спектры поглощения гемина после десорбции из микрочастиц железа, покрытых желатином.

При десорбции гемина, иммобилизованного на микрочастицах железа, покрытых желатином (рис. 2), отмечается сдвиг максимума поглощения продукта реакции в длинноволновую область (пик в области 400 нм), что свидетельствует об образовании конъюгатов гемина с альбумином. Очевидно, имеет место переход гемина из конъюгатов с желатином, покрывающих поверхность микрочастиц, в раствор с образованием конъюгатов с альбумином. Характер динамики десорбции гемина из композитов с немодифицированной и модифицированной поверхностью одинаков:

через 5–15 мин инкубации скорости десорбции замедляются. Так, скорость десорбции гемина из препаратов FeC с немодифицированной поверхностью идет наиболее эффективно в первые 5 мин инкубации, из препаратов Fe и FeC с модифицированной белками поверхностью в первые 10–15 мин инкубации (рис. 2). Кривая суммарной десорбции выходит на плато через 5–6 ч для всех типов сорбентов.

В табл. 3 представлены результаты по показателям адсорбции и суммарной десорбции гемина, иммобилизованного на микрочастицах феррокомпозитов, при различных способах модификации поверхности через 6 ч инкубации (суммарная десорбция) в модельном биологическом растворе.

Таблица 3

Показатели адсорбции и суммарной десорбции гемина из магнитоуправляемых препаратов через 6 ч инкубации в модельном биологическом растворе (0,6% альбумин в 0,85% NaCl, pH 7,4)

Сорбционная эффективность	Типы сорбентов					
	FeC	FeC + альб.	FeC + жел.	Fe + жел.	Fe + жел. + формальд.	Fe + декст.
Сорбц. емкость мг/г	127,0 ± 9,1	119,7 ± 8,1	117,1 ± 8,7	137,5 ± 9,5	168,0 ± 11,3	66,5 ± 5,5
Десорб. %	79,4 ± 7,1	41,6 ± 3,9	58,3 ± 4,7	74,8 ± 6,7	4,2 ± 0,8	3,0 ± 0,6

Как видно из таблицы, величина суммарной десорбции зависит от типа сорбента и модификации поверхности. Так, в случае десорбции гемина, иммобилизованного на железо-углеродном композите, значение десорбции составляет 79,4%, для композита, покрытого альбумином, соответствующее значение составляет 41,6%. Десорбция из препаратов на основе микрочастиц железа, модифицированных желатином с формальдегидом и декстраном, практически не идет, что может быть обусловлено образованием устойчивых конъюгатов гемина, разрыв которых энергетически затруднен. Исходя из данных табл. 3, для интратуморального введения мышам был выбран препарат гемина, полученный иммобилизацией на железо-углеродном композите с немодифицированной поверхностью, имеющий высокие значения сорбционной емкости 127,0 мг/г и десорбции 79,4%.

Результаты оценки противоопухолевой активности магнитоуправляемого препарата гемина на карциноме Льюис у мышей

Обнаружено, что через 12 суток после трансплантации у мышей опытных групп (3 и 4) после интратуморального введения препарата гемина на основе композита FeC концентрацией 50 мкМ и 100 мкМ (с учетом значений суммарной десорбции) объемы опухоли уменьшились на 5,0% и 10,0% соответственно, по сравнению с контрольными группами (1 и 2). Выживаемость мышей в группе 4 (при концентрации гемина 100 мкМ) по сравнению с группами 1, 2 и 3 увеличилась на 2 суток.

Заключение

Результаты оценки противоопухолевой активности препаратов гемина, полученных на основе микрочастиц феррокомпозитов, на карциноме Льюис у мышей свидетельствуют о перспективности проведения дальнейших исследований противоопухо-

левого действия препаратов гемина, иммобилизованного на магнитных носителях. Использование синтезированных нами наночастиц магнетита [7] в качестве основы для создания магнитоуправляемых препаратов гемина позволит осуществить внутривенное введение препарата и создать его депо в клетках опухоли, вследствие чего можно ожидать значительную противоопухолевую активность препаратов гемина по сравнению с препаратами на основе микрочастиц магнетита.

Список литературы / References

1. Diaconu C.C., Szathmari M., Venetianer A. Atiproliferative and apoptosis-inducing effects of hemin in hepatoma cells. *Ann. N.Y. Acad. Sci.* 2003. V.10. P. 311–315.
2. Небельсин А.Е., Желтухина Г.А., Окороченков С.А. Производные гемина, обладающие антимикробной активностью, или их фармацевтически приемлимые соли, способ получения, фармацевтическая композиция, применение. Патент РФ № 2415868. 2010. Опубликовано 10.08.2011.
3. Комиссарова Л.Х., Грин М.А., Комарова М.А., Касакина О.Т. Влияние гемина на жидкофазное окисление лимонена // Окисление, окислительный стресс, антиоксиданты: тезисы всероссийской конференции. М., 2008. С. 27–28.
4. Komissarova L.H., Green M.A., Komarova M.A., Kasaikina O.T. Influence of hemin on liquid-phase oxidation of citrene // Oxidation, Oxidizing Stress, Antioxidants: theses of the All-Russian conference. M., 2008. P. 27–28 (in Russian).
5. Самойлов И.Б., Комиссарова Л.Х., Кузнецов и др. Способ получения ферромагнитного углеродного сорбента. Патент РФ № 2547740. 2014. Опубликовано 12.02.2015.
6. Komissarova L.Kh., Feofanov V.S. Use of micro-sized ferrocomposites particles for immobilization of biologically active compounds // Chemical Technology. Apple Academic Press. 2015. March. P. 54–66.
7. Grinberg L.N., Brien P.J., Hrkal Z. The effects of heme-binding proteins on the peroxidative and catalytic activities of hemin // *Free Radical in Biology and Medicine.* 1999. № 6. P. 214–219.
8. Комиссарова Л.Х., Татиколов А.С., Марнаутов Н.А., Ерохин В.Г., Семенов В.А., Ларкина Е.А., Скорая Ю.А., Барнинова О.П., Васильков О.О., Елфимов А.В. Оптимизация метода массарта для получения биосовместимых наночастиц магнетита с заданными размерами // Актуальные вопросы биологической физики и химии. 2016. № 1–2. С. 44–47.
9. Komissarova L.Kh., Tatikolov A.S., Marnautov N.A., Erohin V.N., Semenov V.A., Larkina E.A., Skoraya Yu.A., Barinova O.P., Vasilkov O.O., Elfimov A.B. Optimizing Massart Method for Obtaining Biocompatible Magnetite Nanoparticles of Given Sizes // *Aktual'ny'e voprosy biologicheskoy fiziki i khimii.* 2016. № 1–2. P. 44–47 (in Russian).

УДК 544.478.41:547.831.3:579.66

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НОВОГО ШТАММА АКТИНОБАКТЕРИЙ RHODOCOCCUS ERYTHROPOLIS ПЗ-8 В ЭНАНТИОСЕЛЕКТИВНОМ ГИДРОЛИЗЕ N-АЦИЛ ПРОИЗВОДНЫХ 3,4-ДИГИДРО-3-МЕТИЛ-2Н-[1,4]БЕНЗОКСАЗИНА И 2-МЕТИЛ-1,2,3,4-ТЕТРАГИДРОХИНОЛИНА

¹Чулаков Е.Н., ¹Левит Г.Л., ¹Садретдинова Л.Ш., ²Ремезовская Н.Б.,
²Максимов А.Ю., ²Демаков В.А., ¹Краснов В.П.

¹Институт органического синтеза им. И.Я. Постовского Уральского отделения
Российской академии наук, Екатеринбург, e-mail: chulakov@ios.uran.ru;

²Институт экологии и генетики микроорганизмов Уральского отделения
Российской академии наук, Пермь

Изучена возможность применения нового штамма актинобактерий *Rhodococcus erythropolis* ПЗ-8 для проведения энантиоселективного микробиологического гидролиза N-ацетил-3,4-дигидро-3-метил-7,8-дифтор-2Н-[1,4]бензоксазина, N-ацетил-3,4-дигидро-3-метил-2Н-[1,4]бензоксазина, N-ацетил-2-метил-1,2,3,4-тетрагидрохинолина, N-бензоил-3,4-дигидро-3-метил-2Н-[1,4]бензоксазина и N-бензоил-2-метил-1,2,3,4-тетрагидрохинолина. Исследована кинетика процесса биотрансформации амидов в фосфатном буферном растворе (рН 7,4) с добавлением диметилсульфоксида при температуре 30 °С. Показано, что результат микробиологической трансформации существенным образом зависит как от строения гетероциклического амина, так и природы ацильной группы субстрата. Установлено, что в результате микробиологического гидролиза N-ацетил производных фторированного и нефторированного 3,4-дигидро-3-метил-2Н-[1,4] бензоксазинов биотрансформации подвергаются только (S)-амиды с образованием соответствующих (S)-аминов (оптическая чистота, ee > 99%). N-Ацетил-2-метил-1,2,3,4-тетрагидрохинолин не подвергался биотрансформации указанным штаммом в изученных условиях. Микробиологический гидролиз N-бензоил производных 3,4-дигидро-3-метил-2Н-[1,4]бензоксазина и 2-метил-1,2,3,4-тетрагидрохинолина штаммом *Rhodococcus erythropolis* ПЗ-8 проходил нестереоизбирательно, биотрансформации подвергались оба энантиомера субстрата. Результаты данного исследования могут быть полезными для промышленного производства (S)-3,4-дигидро-3-метил-7,8-дифтор-2Н-[1,4]бензоксазина – ключевого полупродукта в синтезе высокоактивного противобактериального препарата левофлоксацин.

Ключевые слова: актинобактерии, гидролиз, энантиоселективность, амид

APPLICATION OF A NEW STRAIN OF ACTINOBACTERIA RHODOCOCCUS ERYTHROPOLIS P3-8 IN ENANTIOSELECTIVE HYDROLYSIS OF N-ACYL DERIVATIVES OF 3,4-DIHYDRO-3-METHYL-2H-[1,4]BENZOXAZINE AND 2-METHYL-1,2,3,4-TETRAHYDROQUINOLINE

¹Chulakov E.N., ¹Levit G.L., ¹Sadretdinova L.Sh., ²Remezovskaya N.B.,
²Maksimov A.Yu., ²Demakov V.A., ¹Krasnov V.P.

¹Postovsky Institute of Organic Synthesis, Ural Branch, Russian Academy of Sciences,
Ekaterinburg, e-mail: chulakov@ios.uran.ru;

²Institute of Ecology and Genetics of Microorganisms, Ural Branch, Russian Academy of Sciences, Perm

The possibility of using a new strain of actinobacteria *Rhodococcus erythropolis* P3-8 for enantioselective microbiological hydrolysis of N-acetyl-7,8-difluoro-3,4-dihydro-3-methyl-2H-[1,4]benzoxazine, N-acetyl-3,4-dihydro-3-methyl-2H-[1,4]benzoxazine, N-acetyl-2-methyl-1,2,3,4-tetrahydroquinoline, N-benzoyl-3,4-dihydro-3-methyl-2H-[1,4]benzoxazine and N-benzoyl-2-methyl-1,2,3,4-tetrahydroquinoline has been studied. The kinetics of the amide biotransformation in a phosphate buffer solution (pH 7.4) supplemented with dimethyl sulfoxide at 30 °C has been investigated. It has been shown that the result of microbiological transformation essentially depends on both the heterocycle structure and the nature of acyl group of the substrate. It has been found that in the course of microbiological hydrolysis of N-acetyl derivatives of fluorinated and non-fluorinated 3,4-dihydro-3-methyl-2H-[1,4] benzoxazines, only (S)-amides are subjected to biotransformation to form the corresponding (S)-amines (optical purity, ee > 99%). N-Acetyl-2-methyl-1,2,3,4-tetrahydroquinoline was not transformed by said strain under the examined conditions. Microbiological hydrolysis of N-benzoyl derivatives of 3,4-dihydro-3-methyl-2H-[1,4] benzoxazine and 2-methyl-1,2,3,4-tetrahydroquinoline with *Rhodococcus erythropolis* P3-8 was not stereoselective, both enantiomers of the substrate underwent biotransformation. The results of this study may be useful for the industrial production of (S)-7,8-difluoro-3,4-dihydro-3-methyl-2H-[1,4]benzoxazine, a key intermediate in the synthesis of a highly active antibacterial agent levofloxacin.

Keywords: actinobacteria, hydrolysis, enantioselectivity, amide

Ключевыми полупродуктами в синтезе практически важных органических соединений: антибиотиков, хиральных катализаторов, реагентов для разделения оптических

изомеров в результате их дериватизации и пр. являются хиральные амины, в структуре которых аминогруппа находится вблизи асимметрического центра. Стереоконфигу-

рация и оптическая чистота указанных соединений играют решающую роль, как для избирательности протекания химических процессов, так и для проявления биологической активности [1]. Поэтому разработка рациональных подходов к синтезу энантиомеров хиральных аминов представляет значительный интерес. Несмотря на то, что в последнее время появилось множество катализаторов для асимметрического синтеза оптически чистых соединений [2, 3], в промышленных масштабах преобладают методы оптического разделения рацематов, в том числе методы кинетического разделения. Процессы кинетического разделения рацематов активно изучаются и считаются одними из наиболее современных и эффективных подходов к синтезу оптически чистых соединений [4, 5]. Кинетическое разделение рацемических соединений – это процесс достижения частичного или полного разделения, основанный на различиях в скоростях реакции отдельных энантиомеров с хиральным агентом (реагентом, катализатором, растворителем и др.) [6]. Суть метода заключается в том, что под действием хирального нерацемического агента один из энантиомеров рацемата реагирует быстрее, чем другой.

Ранее нами был разработан оригинальный метод синтеза ключевого полупродукта в синтезе высокоактивного антибактериального препарата левофлоксацин – (*S*)-3,4-дигидро-3-метил-7,8-дифтор-2*H*-[1,4]бензоксазина высокой оптической чистоты (*ee* > 99%) в результате кинетического разделения рацемата при ацилировании хлорангидридом (*S*)-напроксена [7].

В последнее время огромный прогресс достигнут в области ферментативного кинетического разделения рацематов [8, 9]. Ферменты часто демонстрируют высокий уровень энантиоселективности, что позволяет использовать их в фармацевтической промышленности для синтеза лекарственных препаратов [10–12]. Преимущество ферментативного катализа над химическим синтезом заключается в том, что, как правило, использование фермента позволяет получить продукт с более высокой степенью оптической чистоты. Ферментативные реакции протекают при нормальной температуре и давлении, что позволяет избежать более экстремальных условий, которые в свою очередь могут привести к проблемам изомеризации и рацемизации. Использование живых микроорганизмов обладает рядом преимуществ перед ферментами, поскольку отсутствует необходимость вы-

делять отдельный фермент и очищать его. Микробиологические процессы, как правило, осуществляются в водном растворе. Это позволяет избежать использования экологически вредных химических веществ, используемых в химических процессах. В связи с этим разработка биокаталитических технологий является перспективной для биотехнологии и фармакологии [1].

В частности, ранее сообщалось об эффективном микробиологическом синтезе (*S*)-3,4-дигидро-3-метил-7,8-дифтор-2*H*-[1,4]бензоксазина в результате гидролиза соответствующего *N*-ацетил производного в присутствии микроорганизмов рода *Bacillus* [13], *Rhodococcus erythropolis* 25 и *Microbacterium paraoxydans* 20-11с [14].

Цель исследования: исследование нового штамма *Rh. erythropolis* ПЗ-8, обладающего высокой амидазной и карбоксилэстеразной активностью, для энантиоселективного гидролиза *N*-ацетил и *N*-бензоил производных 3,4-дигидро-3-метил-2*H*-[1,4]бензоксазина и 2-метил-1,2,3,4-тетрагидрохинолина (схема 1).

Материалы и методы исследования

В данной работе мы исследовали новый штамм микроорганизмов, выделенный из лесной подзолистой почвы пригорода г. Перми, который был отнесен к виду *Rhodococcus erythropolis* по совокупности культурально-морфологических, хемотаксономических и биохимических признаков, а также по результатам секвенирования генов 16S рРНК. Исследуемая культура обладает следующими морфологическими характеристиками: грамположительные клетки формируют на плотных средах колонии среднего размера, округлые, не сливные, розовато-кремовые, матовые, поверхность слегка морщинистая, профиль изогнутый (с центральной точкой), консистенция колоний молодой культуры – мягкая, старых – творожистая, на минимальном агаре колонии круглые с ризоидным краем.

Культуры выращивали на минеральной солевой среде (г/л): KH_2PO_4 – 1,0; $\text{K}_2\text{HPO}_4 \times 3\text{H}_2\text{O}$ – 1,6; NaCl – 0,5; $\text{MgSO}_4 \times 7\text{H}_2\text{O}$ – 0,5; CaCl_2 – 0,005; $\text{CoCl}_2 \times 6\text{H}_2\text{O}$ – 0,01; $\text{FeSO}_4 \times 7\text{H}_2\text{O}$ – 0,005; pH $7,2 \pm 0,2$. Агаризованную среду получали добавлением бактоагара (Sigma) до конечной концентрации 1,5%. Источником углерода служила глюкоза в конечной концентрации 0,1%. В качестве субстрата использовали амиды (*RS*)-**1a-f**, которые служили единственными источниками азота. Ростовые субстраты асептически добавляли до ко-

Состав подвижной фазы и времена удерживания амидов 1a-f и аминов 2a-c

Амид	Амин	Подвижная фаза	(R)-амин τ, мин	(S)-амин τ, мин	(R)-амид τ, мин	(S)-амид τ, мин
(RS)-1a	(RS)-2a	гексан-iPrOH 40:1	12,3	16,0	22,6	49,9
(RS)-1b	(RS)-2b	гексан-iPrOH 100:1	18,1	19,9	25,7	39,9
(RS)-1c	(RS)-2c	гексан-iPrOH-MeOH 100:1:1	6,6	7,4	9,5	10,7
(RS)-1d	(RS)-2b	гексан-iPrOH-MeOH 100:1:1	12,1	13,4	20,7	23,2
(RS)-1f	(RS)-2c	гексан-iPrOH-MeOH 100:0.8:0.2	10,0	11,2	26,4	30,25

Изменение концентрации и энантиомерный состав образующихся продуктов гидролиза определяли на хроматографе Knauer Smartline-1000 (Германия) на колонке Chiralcel OD-H (250×4,6 мм, 5 мкм), скорость элюирования 1 мл/мин; детектирование при 230 нм. Состав подвижной фазы и времена удерживания продуктов в смеси представлены в таблице. В качестве примера на рис. 1 приведена типичная хроматограмма смеси амина (RS)-2a и амида (RS)-1a.

Для отнесения времени удерживания (R)- и (S)-энантиомеров амидов 1a-f и аминов 2a-c были синтезированы индивидуальные (S)-энантиомеры аминов 2a-c методом кинетического разделения при ацилировании хлорангидридом (S)-напроксена или N-фталоил-(S)-фенилаланина, как описано ранее [7, 15]. Из (S)-энантиомеров аминов 2a-c были получены (S)-энантиомеры амидов 1a-f.

Результаты исследования и их обсуждение

В течение всего процесса биотрансформации N-ацетил производных 3,4-дигидро-3-метил-2H-[1,4]бензоксазинов (RS)-1a,b не было зафиксировано образование соответствующих аминов (R)-2a,b. Следовательно, (R)-энантиомеры амидов 1a,b не подвергаются биохимической трансформации, и их количество может служить внутренним стандартом для определения концентраций (S)-энантиомеров амидов 1a,b и аминов 2a,b. Кинетика стереоселективного гидролиза приведена на рис. 2.

В случае амида (RS)-1a биотрансформация начинается только на 6 сутки, на 7 сутки происходит резкое изменение концентрации исходного субстрата. В случае гидролиза амида (RS)-1b наблюдается 2 резких изменения концентраций продукта и субстрата на 5 и 7 сутки биотрансформации, что может быть обусловлено активацией различных ферментов, входящих в состав микроорганизма.

Для биотрансформации N-ацетил-2-метил-1,2,3,4-тетрагидрохинолина (RS)-1c штамм *Rh. erythropolis* ПЗ-8 оказался непригоден, за 7 суток проведения реакции не наблюдалось появления продукта реакции и изменения концентрации энантиомеров субстрата.

Для гидролиза N-бензоил производных (RS)-1d,f штамм *Rh. erythropolis* ПЗ-8 оказался слишком активным. В случае амида (RS)-1d биотрансформации подвергались оба энантиомера субстрата, причем одновременно, с получением в результате рацемического амина 2b, что свидетельствует о неселективности штамма в отношении данного амида.

В случае амида (RS)-1f наблюдали не только полную трансформацию субстрата в продукт, но и дальнейшую трансформацию продукта, а также появление большого количества примесей неустановленного строения.

Заключение

Таким образом, нами найден новый штамм микроорганизмов рода *Rhodococcus erythropolis* для эффективной биотрансформации N-ацил производных аминов. Показано, что результат микробиологической трансформации существенным образом зависит как от строения гетероцикла, так и природы ацильной группы субстрата. Установлено, что в результате микробиологического гидролиза N-ацетил производных фторированного и нефторированного 3,4-дигидро-3-метил-2H-[1,4]бензоксазина биотрансформации подвергаются только (S)-амиды с образованием соответствующих (S)-аминов (*ee* > 99%). N-Ацетил-2-метил-1,2,3,4-тетрагидрохинолин не подвергался биотрансформации.

Микробиологический гидролиз N-бензоил производных 3,4-дигидро-3-метил-2H-[1,4]бензоксазина и 2-метил-1,2,3,4-тетрагидрохинолина штаммом *Rhodococcus erythropolis* ПЗ-8 проходил нестереоизбирательно, биотрансформации подвергались оба энантиомера субстрата.

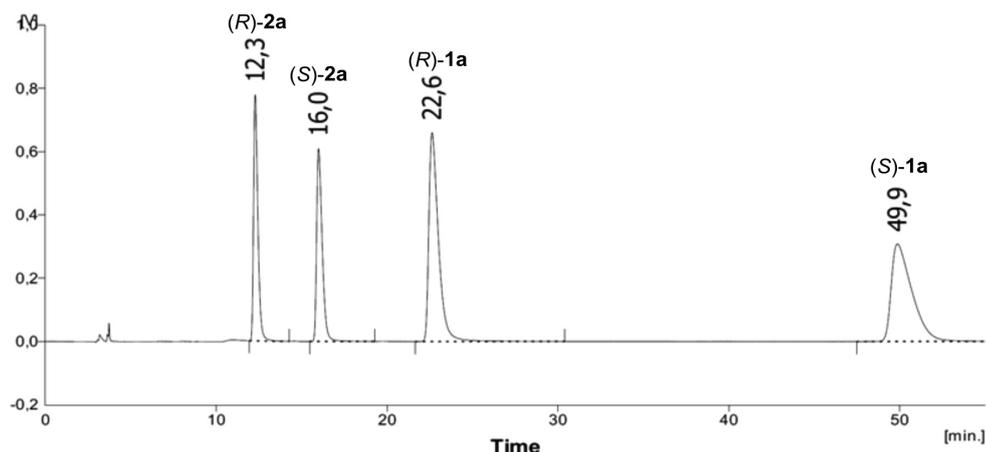


Рис. 1. Типичная хроматограмма смеси амина (S)-2a и амида (R)-1a (Chiralcel OD-H, гексан-*i*PrOH 40:1, скорость потока 1,0 мл/мин, детектирование при 230 нм)

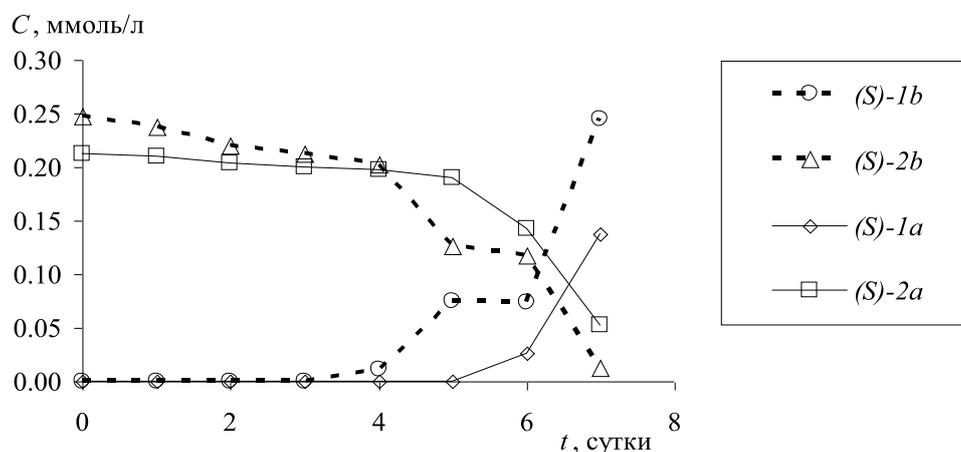


Рис. 2. Зависимость концентрации (C, ммоль/л) амидов (S)-1a,b и аминов (S)-2a,b от времени биотрансформации (начальная концентрация амидов (RS)-1a,b 100 мкг/мл)

Результаты данного исследования могут быть полезными для промышленного производства (S)-3,4-дигидро-3-метил-7,8-дифтор-2H-[1,4]бензоксазина – ключевого полупродукта в синтезе высокоактивного противобактериального препарата левофлоксацин.

Работа выполнена в рамках темы (проекта) государственного задания на 2018 г. № государственной регистрации АААА-А18-118020290144-8.

Список литературы / References

1. Луговская Н.П. Характеристика почвенных микроорганизмов, трансформирующих ароматические амиды и нитрилы: автореф. дис. ... канд. биол. наук. Пермь, 2015. 26 с.
Lugovskaya N.P. The characteristic of the soil microorganisms transforming aromatic amides and nitriles: avtoref. dis. ... kand. biol. nauk. Perm', 2015. 26 p. (in Russian).
2. Pellissier H. Catalytic Non-Enzymatic Kinetic Resolution. *Advanced Synthesis and Catalysis*. 2011. vol. 353. P. 1613–1666.

3. Müller C.E., Schreiner P.E. Organocatalytic Enantioselective Acyl Transfer onto Racemic as well as meso Alcohols, Amines, and Thiols. *Angewandte Chemie International Edition*. 2011. vol. 50. P. 6012–6042.

4. Krasnov V.P., Gruzdev D.A., Levit G.L. Nonenzymatic acylative kinetic resolution of racemic amines and related compounds. *European Journal of Organic Chemistry*. 2012. P. 1471–1493.

5. Siedlecka R. Recent developments in optical resolution. *Tetrahedron*. 2013. vol. 69. pp. 6331–6363.

6. Kagan H.B., Fiaud J.C. Kinetic resolution. *Topics in stereochemistry*. 1988. vol. 18. P. 249–330.

7. Краснов В.П., Левит Г.Л., Груздев Д.А., Матвеева Т.В., Чулаков Е.Н., Чарушин В.Н. Способ получения (S)-7,8-дифтор-2,3-дигидро-3-метил-4H-[1,4] бензоксазина. Патент РФ 2434004, МПК С 07 D 265/33. Заявитель и патентообладатель Учреждение Российской академии наук Институт органического синтеза им. И.Я. Постовского Уральского отделения РАН. № 2010141933/04; заявл. 14.10.10; опубл. 20.11.11, Бюл. № 32.

8. Schmid A., Dordick J., Kiener A., Wubbolts M., Witholt B. Industrial Biocatalysis today and tomorrow. *Nature*. 2001. vol. 409. P. 258–268.

9. Schmid A., Hollmann F., Park J.B., Bühler B. The use of enzymes in the chemical industry in Europe. *Current Opinion in Biotechnology*. 2002. vol. 13. P. 359–366.
10. Breuer M., Ditrich K., Habicher T., Hauer B., Keßler M., Stürmer R., Zelinski T. Industrial Methods for the Production of Optically Active Intermediates. *Angewandte Chemie International Edition*. 2004. vol. 43. P. 788–824.
11. Patel R.N. Biocatalysis: Synthesis of Key Intermediates for Development of Pharmaceuticals. *ACS Catalysis*. 2011. vol. 1. P. 1056–1074.
12. Solano D.M., Hoyos P., Hernáiz M.J., Alcántara A.R., Sánchez-Montero J.M. Industrial biotransformations in the synthesis of building blocks leading to enantiopure drugs. *Bioresource Technology*. 2012. vol. 115. P. 196–207.
13. Miyadera A., Imura A. Enantioselective synthesis of a key intermediate of Levofloxacin using microbial resolution. *Tetrahedron: Asymmetry*. 1999. vol. 10. P. 119–123.
14. Чулаков Е.Н., Левит Г.Л., Тумашов А.А., Луговская Н.П., Ремезовская Н.Б., Максимов А.Ю., Демаков В.А., Краснов В.П. Энантиоселективный микробиологический синтез (S)-3,4-дигидро-3-метил-7,8-дифтор-2H-[1,4]бензоксазина // *Известия Академии наук. Серия химическая*. 2015. № 5. С. 1097–1099.
- Chulakov E.N., Levit G.L., Tumashov A.A., Krasnov V.P., Lugovskaya N.P., Remezovskaya N.B., Maksimov A.Y., Demakov V.A. Enantioselective microbial synthesis of (S)-7,8-difluoro-3,4-dihydro-3-methyl-2H-[1,4]benzoxazine // *Russian Chemical Bulletin*. 2015. T. 64. № 5. P. 1097–1099 (in Russian).
15. Gruzdev D.A., Levit G.L., Krasnov V.P., Chulakov E.N., Sadretdinova L.Sh., Grishakov A.N., Ezhikova M.A., Kodess M.I., Charushin V.N. Acylative kinetic resolution of racemic amines using N-phthaloyl-(S)-aminoacyl chlorides. *Tetrahedron: Asymmetry*. 2010. vol. 21. P. 936–942.

УДК 54.022:52-76

МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВАЛЕНТНОГО УГЛА ОДИНОЧНОЙ МОЛЕКУЛЫ ЖИДКОЙ ВОДЫ ЧЕРЕЗ ИНФРАКРАСНЫЙ СПЕКТР ИЗЛУЧЕНИЯ

Шорсткий И.А.

*ФГБОУ ВО «Кубанский государственный технологический университет»,
Краснодар, e-mail: i-shorstky@mail.ru*

В данной работе представлен комплексный метод определения конфигурации молекул, в частности значения валентного угла для одиночной молекулы жидкой воды с описанием геометрической модели валентного угла. С помощью разработанной методики проведена расшифровка инфракрасного спектра молекулы жидкой воды на предмет определения валентного угла. Определено, что диапазон частот между метками ультрафиолетового и инфракрасного излучения показывает, как меняется частота молекулы водорода после того, как она вступила в связь с молекулой кислорода для образования молекулы воды. Полученное выражение для определения значения валентного угла базируется на основе геометрической модели молекулы жидкой воды, состоящей из двух колебательных систем, как диапазон частот индуцированного суммарного наведенного орбитального магнитного момента. На основе математической модели валентного угла определена точка баланса между колебательной частотой и длиной валентной связи. Спектр молекулы водорода H_2 в нормальном электронном состоянии с колебательной частотой $4340,5 \text{ см}^{-1}$ является необходимым условием при определении валентного угла трехатомных водородосодержащих молекул, находящихся в устойчивом состоянии. Полученные результаты валентного угла жидкой воды $105,2^\circ$ хорошо согласуются с известными данными. Предложенный метод определения валентного угла может быть распространен на другие одиночные водородосодержащие молекулы типа AX_2E_1 и AX_2E_2 при расшифровке инфракрасных спектров.

Ключевые слова: конфигурация молекулы, валентный угол, вода, спектр, колебательная частота, геометрическая модель, гипотетическая модель

SINGLE LIQUID WATER MOLECULE VALENT ANGEL DETERMINATION METHOD USING INFRARED SPECTRUM

Shorstkiy I.A.

Kuban State University of Technology, Krasnodar, e-mail: i-shorstky@mail.ru

In this paper, we present a complex method for determining molecules configuration, in particular the values of the valence angle for a single molecule of liquid water with a description of the geometric model of the valence angle. Using the developed technique, the infrared spectrum of liquid water molecule was deciphered for determining the valence angle. Vibrational and rotational constants of the normal electronic states of the triatomic liquid water molecule and the diatomic hydrogen molecule H_2 n expression for calculating the value of the valence angle was obtained in the infrared emission spectrum. Obtained expression for determining the value of the valence angle is based on the geometric model of a liquid water molecule consisting of two oscillatory systems, such as the frequency range of the induced dipole precession of the polarization vectors. On the basis of the mathematical model of the valence angle, a point of balance between the vibrational frequency and the length of the valence bond was determined. The spectrum of the hydrogen molecule H_2 in the normal electronic state with an oscillatory frequency of 4340.5 cm^{-1} is the base vibrational frequency in determining the valence angle of the triatomic hydrogen-containing molecules in a stable state. Obtained valence angle value $105,2^\circ$ of liquid water molecule has a good correlation with a literature data. Proposed method for valence angle determination can be used to other single hydrogen-containing molecules such as AX_2E_1 and AX_2E_2 during decoding infrared spectrum.

Keywords: molecule configuration, valence angle, liquid water, spectrum, oscillatory frequency, geometrical model, hypothetical model

Большинство молекулярных структур рассмотрено методом валентных связей, описывающим конфигурацию молекул с точки зрения направленности атомных орбиталей [1]. В последнее время значительное внимание уделено методу молекулярных орбиталей, согласно которому электроны в молекуле занимают орбитали, охватывающие всю молекулу.

Целью работы является разработка комплексного метода определения валентного угла трехатомных водородосодержащих молекул, находящихся в устойчивом состоянии на основе данных инфракрасных спектров.

Молекула воды является симметричной и относится к точечной группе C_{2v} с двумя зеркальными плоскостями симметрии и двукратной осью вращения. Для определения валентного угла в молекуле H_2O необходимо построить ее геометрическую модель. Для этого построим в пространстве плоскость $E1$ и проведем нормаль n , которая в свою очередь будет принадлежать плоскости $E2$. В точке пересечения нормали и плоскости $E1$ разместим центр массы (ЦМ) атома кислорода. Зафиксируем данную точку как точку O . Проведем в плоскости $E1$ вектор R и совместим его начало с точкой O . Проведем через данный вектор ось абсцисс.

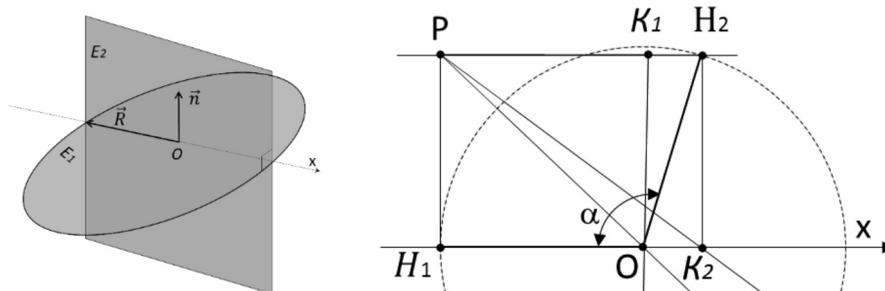


Рис. 1. Образование геометрической модели молекулы H_2O (слева) и геометрическая модель валентного угла молекулы H_2O (справа)

Путем вращения вектора R вокруг нормали n получаем окружность с радиусом R . На данной окружности произвольно выбираем две точки H_1^1 и H_1^2 , как показано на рис. 1. Точка O является центром масс атома кислорода и совмещена с началом координат. Точки H_1 и H_2 являются однотипными точками (атомы водорода), при этом H_1 – вершина вектора R , а положение точки H_2 выбирается на окружности произвольно. Предлагаемая идея расчета валентного угла заключается в построении двух геометрических фигур: прямоугольника $PH_1K_2H_2$, задача которого управлять величиной валентного угла $\angle H_1OH_2$ с помощью диагонали PK_2 , и прямоугольника PH_1OK_1 , задача которого управлять координатами точек H_1 и H_2 относительно точки O с помощью диагонали прямоугольника PO . Таким образом, валентный угол α молекулы H_2O представляет собой угол $\angle H_1OH_2$. Для определения величины валентного угла из точки H_2 проведем линию параллельно линии OH_1 и опустим на нее перпендикуляр из точки H_1 . Точку пересечения этих двух линий обозначим буквой P , координаты которой потребуются для формирования математической модели при вычислении валентного угла. Если валентный угол выбрать как угол, равный 90° , то установится подобие двух фигур, а именно PH_1OK_1 и $PH_1K_2H_2$ с одной общей диагональю PO . Отношение диагонали PK_2 прямоугольника $PH_1K_2H_2$ к диагонали PO квадрата PH_1OK_1 обозначим через коэффициент симметрии эквивалентных координат:

$$Sh = \frac{PK_2}{PO}. \quad (1)$$

При значении угла α , равном 90 градусам, коэффициент $Sh = 1$. При этом условия координаты точек H_1 и H_2 переходят друг в друга при операциях симметрии. Коэффициент

Sh также можно определить из отношения валентного угла α к углу 90°

$$Sh = \frac{\alpha}{90^\circ}. \quad (2)$$

По условию задачи валентный угол α неизвестен. С помощью вращения вектора R вокруг нормали получим множество точек, равноудаленных от центра O . Воспользовавшись формулой (2), построим табл. 1 значений коэффициента Sh для различных валентных углов.

Таблица 1
Коэффициент симметрии при различных валентных углах

Валентный угол α	Коэффициент Sh	Валентный угол α	Коэффициент Sh
90	1,0	104	1,155
100	1,111	105	1,166
102	1,133	106	1,177

Согласно уравнению (1) коэффициент симметрии определяется через отношение двух отрезков (диапазонов). Изменение значений колебательных частот водорода в составе жидкой молекулы воды и электронных колебаний молекулы водорода H_2 представим разностью этих частот, как диапазон. Прецессия суммарного наведенного орбитального магнитного момента молекулы воды в инфракрасном спектре отражает колебательные частоты как целой молекулы вокруг вектора магнитной индукции внешнего поля и является результирующей двух прецессий. Прецессии от общего наведенного орбитального магнитного момента первого атома и второго атома водорода молекулы воды. Прецессия суммарного наведенного орбитального магнитного момента молекулы воды в инфракрасном спектре отражает колебательные частоты молекулы, состоя-

щей из разных атомов и меняется с изменением расстояния между центрами масс ядер около их равновесного положения. Частота вращательного движения молекулы воды определяется как вращение целой молекулы вокруг оси симметрии. Таким образом, и колебательные, и вращательные частоты связаны с амплитудой общего наведённого орбитального магнитного момента молекулы воды и индуцированного дипольного момента, в инфракрасном спектре излучения.

Результаты исследования и их обсуждение

Инфракрасный спектр жидкой воды по линии водорода выражен колебательными частотами 3657 и 3756 см^{-1} [2, 3], о чем свидетельствует широкий спектр в данном диапазоне (рис. 2), излучаемый атомами водорода молекулы жидкой воды.

Для построения гипотетической модели валентного угла одиночной молекулы H_2O как нелинейной и симметричной воспользуемся данными колебательных и вращательных констант для нормальных электронных состояний трехатомных молекул [2, 3] (табл. 2).

Таблица 2

Колебательные и вращательные константы для нормальных электронных состояний жидкой молекулы воды в инфракрасном спектре излучения

Молекула	Длина валентной связи, пм	Колебательная частота, ω (см^{-1})
H_2O	O- H_1^1 95,8	3756
	O- H_1^2 95,8	3657
	O_2	1595

Для удобства отобразим данные колебательных частот в виде вертикальных полос, аналогично полосатым спектрам излучения для двухатомных и трехатомных молекул (рис. 3).

Молекула водорода как самостоятельная молекула идентифицируется по ультрафиолетовому спектру электронного излучения с колебательной частотой, равной 4340,5 см^{-1} для состояния $^1\sum_g^+$. Состояние $^1\sum_g^+$ имеет потенциальную кривую с глубоким минимумом потенциальной энергии и является устойчивым состоянием. Данное значение отобразим вертикальной полосой в верхнем ряду электронных колебательных частот атома водорода. Значения колебательных частот

молекулы жидкой воды, полученных в инфракрасном спектре излучения, отобразим в нижнем ряду. Изменение значения колебательных частот водорода в составе жидкой молекулы воды и электронных колебаний молекулы водорода H_2 представим разностью этих частот, как диапазон. Диапазон частот между метками в инфракрасном и ультрафиолетовом излучении определим как разность. Метками в инфракрасном спектре являются колебательные частоты одиночной молекулы воды 3756 см^{-1} и 3657 см^{-1} , метками в ультрафиолетовом излучении является электронная частота молекулы водорода 4340,5 см^{-1} . Таким образом, диапазон частот между метками ультрафиолетового и инфракрасного излучения показывает, как меняется частота молекулы водорода после того, как она вступила в связь с атомом кислорода для образования молекулы воды. Согласно выражению полной энергии, в каждом устойчивом электронном состоянии молекула может иметь и колебательную энергию относительно положения равновесия, и вращательную энергию. $E = E_{\text{э}} + E_{\text{кол}} + E_{\text{вр}}$. Испускаемую или поглощаемую частоту молекулы можно рассмотреть как сумму составных частей $V = V_{\text{э}} + V_{\text{кол}} + V_{\text{вр}}$. Таким образом разность между электронной частотой и колебательной при $V_{\text{вр}} = 0$ определяет длину диапазона спектра прецессии вектора общего наведённого орбитального магнитного момента молекулы воды как целого. Молекула воды содержит два атома водорода, следовательно, прецессия общего наведённого орбитального магнитного момента O- H_1^1 и O- H_1^2 для такой молекулы воды как целого состоит из двух частей. Для молекулы водорода, которая состоит из двух одинаковых атомов, диполь отсутствует, поэтому излучение в инфракрасном спектре тоже отсутствует.

Для вычисления валентного угла по данным спектра излучения колебательных частот в инфракрасном диапазоне представим значения электронной частоты молекулы водорода, и атомов водорода, входящих в состав воды и атома кислорода в одном ряду (рис. 4).

Согласно уравнению (1) определение коэффициента симметрии осуществляется через отношения двух отрезков (диапазонов). В качестве числителя используется диапазон между частотой индуцированного общего наведённого орбитального магнитного момента O- H_1^1 и колебательной частотой нормального электронного состояния молекулы водорода. В качестве знаменателя используется диапазон между частотой индуцированного общего наведённого ор-

битального магнитного момента $O-H_1^2$ и колебательной частотой нормального электронного состояния молекулы водорода. Уравнение коэффициента симметрии эквивалентных координат представлено в виде

$$Sh = \frac{\omega_{H_2} - \omega_{OH_1}}{\omega_{H_2} - \omega_{OH_2}}, \quad (3)$$

где в ультрафиолетовом спектре ω_{H_2} – колебательная частота нормального электронного состояния атома водорода H_2 , cm^{-1} ; в инфракрасном спектре ω_{OH_1} – колебательная частота первого атома водорода молекулы воды, cm^{-1} ; ω_{OH_2} – колебательная частота второго атома водорода молекулы воды, cm^{-1} . Согласно уравнению (2) связь коэффициента Sh и валентного угла определяется углом 90° :

$$\alpha = \frac{\omega_{H_2} - \omega_{OH_1}}{\omega_{H_2} - \omega_{OH_2}} \cdot 90^\circ. \quad (4)$$

Подставив значения колебательных частот, получим

$$\alpha = \frac{4340,5 - 3657}{4340,5 - 3756} \cdot 90^\circ = \frac{683,5}{584,5} \cdot 90^\circ = 105,2^\circ.$$

Диапазон прецессии между метками для диполя $O-H_1^1$ составляет $683,5 cm^{-1}$, а для диполя $O-H_1^2$ составляет $584,5 cm^{-1}$. Полученное значение валентного угла соответствует значению коэффициента эквивалентных координат $Sh = 1,169$. Коэффициент полученный в результате этого отношения, определяет валентный угол жидкой воды по спектру излучения колебательных частот в инфракрасном диапазоне согласно выражению (3).

Данные валентного угла водородосодержащих молекул, полученные с помощью выражения (4), представлены в табл. 3 и хорошо согласуются с известными результатами расчета валентного угла [5].

Таблица 3

Колебательные частоты водородосодержащих молекул

Молекула	Колебательная частота, ω (cm^{-1})	Валентный угол, α^*
SH_2	2611 и 2684	$93,96^\circ$
SeH_2	2260 и 2350	$94,07^\circ$
HOD	3707,5 и 2723,7	$92,4^\circ$

Примечание. *при условии взаимности фундаментальных колебаний $W_{HO}/W_{DO} = 1,355$.

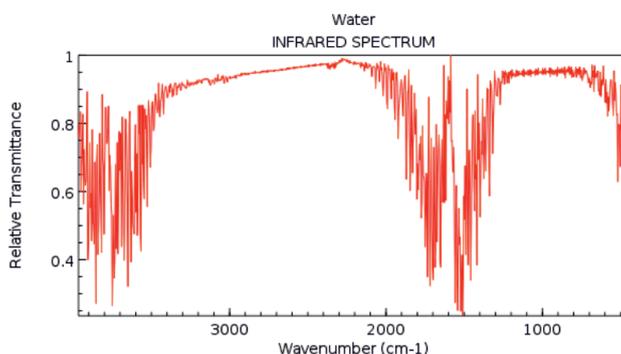


Рис. 2. Инфракрасный спектр жидкой воды [4]

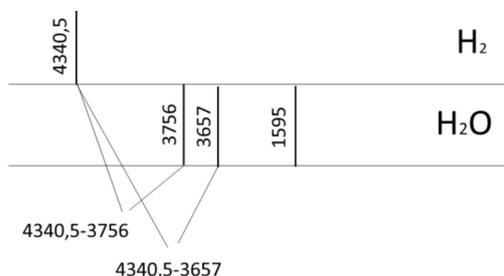


Рис. 3. Определение диапазона спектра прецессии вектора общего наведённого орбитального магнитного момента в инфракрасном спектре в молекуле жидкой воды и электронной частоты двухатомной молекулы водорода в ультрафиолетовом спектре

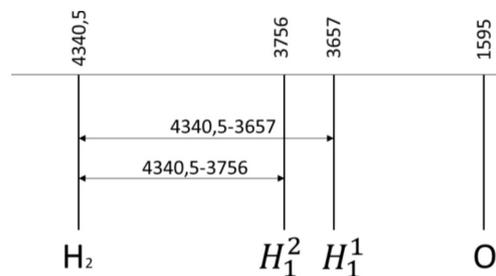


Рис. 4. Определение диапазона спектра прецессии вектора общего наведённого орбитального магнитного момента в инфракрасном спектре в молекуле жидкой воды и электронной частоты двухатомной молекулы водорода в ультрафиолетовом спектре

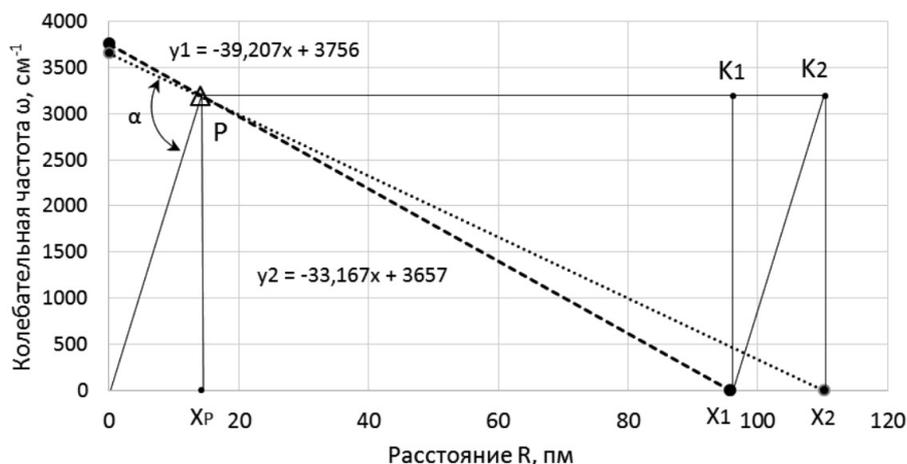


Рис. 5. Молекула водорода H_2 и OH в системе координат ω - R , с точкой пересечения $P(A)$

Физический смысл показателя коэффициента симметрии эквивалентных координат Sh заключается в том, что он определяет, на сколько диапазон прецессии индуцированного общего наведённого орбитального магнитного момента первого атома водорода молекулы воды отличается от диапазона прецессии индуцированного общего наведённого орбитального магнитного момента второго атома водорода согласно меткам в ультрафиолетовом и инфракрасном спектре излучения. А также, как далеко друг от друга расположены центры масс атомов водорода в трехатомных водородосодержащих молекулах и тем самым выражает амплитуду деформационного колебания, как результат изменения межъядерного расстояния между центром масс атома кислорода и центром масс атома водорода.

Математическая модель валентного угла одиночной молекулы жидкой воды

Для определения точки P геометрической модели построим математическую модель молекулы жидкой воды в системе координат колебательной частоты ω и длины ковалентной связи R . Межъядерное расстояние OH_1^1 составляет 110,26 пм. Центр масс атома кислорода совмещен с началом координат согласно рис. 5. В нашей математической модели центр масс молекулы водорода в цепочке OH_1^1 находится в точке X_2 . Водород цепочки OH_1^2 поместим в точку X_1 на расстоянии 95,8 пм от начала координат. Перенесем геометрическую модель (рис. 1) в данную систему координат ω - R . Из рис. 5 видно, что точка X_1 принадлежит прямоугольнику $PK_1X_1X_p$, а X_2 прямоугольнику

$PK_2X_2X_p$. Обозначим значения спектров водородов на оси ординат и соединим их с точками X_1 и X_2 . Точку пересечения полученных линий обозначим через P , координаты которой определяют значение валентного угла.

Валентный угол в соответствии с выражением (1) составляет $105,2^\circ$, и определяется через коэффициент симметрии эквивалентных координат. На рис. 5 представлены две диагонали PX_1 и PX_2 двух прямоугольников, которые определяют угол между прямой OX_1K_2 . Система линейных уравнений, составленной из y_1 и y_2 , при совместном решении определяет точку пересечения, обозначенной буквой P . Точка P симметрична относительно оси ординат и является балансной между колебательной частотой и длиной валентной связи.

Заключение

На основании предложенной идеи расчета валентного угла получена геометрическая модель молекулы жидкой воды с двумя колебательными системами, характеризующимися диагоналями PK_2 и PO (рис. 3). С помощью разработанной методики проведена расшифровка инфракрасного спектра жидкой воды на предмет определения валентного угла. Полученное выражение для определения значения валентного угла базируется на основе представленной геометрической модели молекулы жидкой воды, состоящей из двух колебательных систем, и выраженной как диапазон между частотой индуцированного общего наведённого орбитального магнитного момента молекулы воды и электронной частотой атома

водорода. Полученные значения валентных углов для жидкой воды и водородосодержащих молекул хорошо согласуются с известными результатами. Спектр молекулы водорода H_2 в нормальном электронном состоянии имеет электронную частоту $4340,5 \text{ см}^{-1}$. Состояние $1\sum_g^+$ имеет потенциальную кривую с глубоким минимумом потенциальной энергии, что является необходимым условием при выборе электронной частоты и при определении валентного угла трехатомных водородосодержащих молекул, находящихся в устойчивом состоянии. Таким образом, диапазон частот между метками ультрафиолетового и инфракрасного излучения показывает, как меняется частота молекулы водорода после того, как она вступила в связь с молекулой кислорода для образования молекулы воды.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-38-00448.

Список литературы / References

1. Астапенко В.А. Взаимодействие излучения с атомами и наночастицами. М.: Интеллект, 2010. 496 с.
Astapenko V.A. Interaction of radiation with atoms and nanoparticles. M.: Intelligence, 2010. 496 p. (in Russian).
2. Герцберг Г. Спектры и строение двухатомных молекул. М.: Издательство иностранной литературы, 1949. 413 с.
Gertsberg G. Ranges and structure of diatomic molecules. M.: Publishing house of foreign literature, 1949. 413 p. (in Russian).
3. Герцберг Г. Колебательные и вращательные спектры многоатомных молекул. М.: Рипол Классик, 2013. 652 с.
Gertsberg G. Oscillatory and rotary ranges of polyatomic molecules. M.: Ripol Klassik, 2013. 652 p. (in Russian).
4. Linstrom P.J., Mallard W.G., Eds., NIST Chemistry WebBook, NIST Standard Reference Database Number 69, National Institute of Standards and Technology. URL: <http://webbook.nist.gov> (дата обращения: 04.08.2018).
5. Шорсткий И.А. Комплексный метод определения валентного угла в конфигурации трехатомной симметричной нелинейной молекулы воды // Спектроскопия координационных соединений: тезисы докладов XIV международной конференции. Краснодар: КГУ, 2017. С. 327–328.
Shorstky I.A. A complex method of definition of a valent corner in a configuration of a triatomic symmetric nonlinear molecule of water // Spectroscopy of coordination connections: theses of reports of the XIV international conference. Krasnodar: KGU, 2017. P. 327–328 (in Russian).

УДК 633.16:631.524.84:632.954

ВЛИЯНИЕ ГЕРБИЦИДОВ НА ЗАСОРЁННОСТЬ ПОСЕВОВ И ПРОДУКТИВНОСТЬ ЯРОВОГО ЯЧМЕНЯ

Авдеенко А.П.

*ФГБОУ ВО «Донской государственный аграрный университет», п. Персиановский,
Ростовская область, e-mail: awdeenko@mail.ru*

Приведены результаты исследований по изучению влияния гербицидов и их баковых смесей на засорённость посевов и продуктивность ярового ячменя в условиях Октябрьского района Ростовской области. Установлено влияние гербицида и баковых смесей на произрастающие в посевах ярового ячменя сорные растения, определена биологическая эффективность гербицидов в посевах ярового ячменя, дана оценка влияния гербицидов на структуру урожая ярового ячменя, его урожайность и качество зерна. Установлено, что эффективность гербицидов составила 64,8–92,0%. Наибольшие показатели эффективности действия гербицида были с применением гербицида с действующим веществом метсульфурон-метил, а именно с гербицидом Аккурат. В баковых смесях с гербицидами группы Дикамбы эффективность составила 88,9–89,7%, что несколько ниже одновидового применения данного гербицида – 92,0%. Защита посевов от сорной растительности способствовала повышению всех элементов структуры урожая ярового ячменя, однако наибольшее влияние оказал гербицид Аккурат и его баковые смеси. Применение гербицидов и их баковых смесей способствовало повышению урожайности ярового ячменя до 3,40–3,85 т/га. Прибавка урожая варьировала от 0,54 до 0,99 т/га, или от 19,9 до 36,7% по сравнению с контролем. Наибольшая прибыль от защиты посевов ярового ячменя получена на варианте с применением гербицида Аккурат – 6270 руб/га, а наименьшая прибыль получена по вариантам применения гербицида Диамант и баковой смеси Диамант + Банвел – 2340 и 2964 руб/га соответственно. Для получения урожая ярового ячменя 3,71–3,85 т/га необходимо в фазу кушения растений обрабатывать посеги гербицидом Аккурат (10 г/га) или баковой смесью Аккурат (3 г/га) + Диамант (0,08 л/га). Данная схема способствует защите посевов ярового ячменя от сорной растительности в течение всей вегетации и повышению урожайности культуры.

Ключевые слова: гербицид, яровой ячмень, сорные растения, урожайность, качество зерна

EFFECT OF HERBICIDES ON CROP CULTIVATION AND PRODUCTION OF SPRING BARLEY

Avdeenko A.P.

Don State Agrarian University, Persianovskij, Rostov region, e-mail: awdeenko@mail.ru

The results of studies on the effect of herbicides and their tank mixtures on the contamination of crops and the productivity of spring barley in the conditions of the Oktyabrsky district of the Rostov region are presented. The influence of herbicide and tank mixtures on weed plants growing in spring barley crops was established, the biological effectiveness of herbicides in spring barley crops was determined, the influence of herbicides on the structure of spring barley crop, its yield and grain quality was evaluated. It was found that the effectiveness of herbicides was 64.8-92.0%. The highest efficiency of the herbicide action was with the use of herbicide with the active substance Metsulfuron-methyl, namely with herbicide Akkurat. In tank mixtures with herbicides of the Dicamba group, the efficiency was 88.9-89.7%, which is slightly lower than the single – species application of this herbicide-92.0%. Protection of crops from weed vegetation contributed to the increase of all elements of the structure of the spring barley harvest, but the greatest impact was the herbicide Akkurat and its tank mixtures. The use of herbicides and their tank mixtures contributed to the increase in the yield of spring barley to 3.40-3.85 t/ha. The yield increase ranged from 0.54 to 0.99 t/ha, or from 19.9 to 36.7% compared to the control. The greatest profit from the protection of spring barley crops was obtained on the variant with the use of herbicide Akkurat-6270 rubles/ha, and the lowest profit was obtained by the variants of the use of the herbicide Diamond and the tank mixture Diamond + Banvel – 2340 and 2964 rubles / ha, respectively. To obtain spring barley yields of 3.71-3.85 t/ha is necessary in the tillering phase of plants must be treated with herbicide Accurate (10 g/ha) or tank mixture Exactly (3 g/ha) + Diamond (0.08 l/ha). This scheme contributes to the protection of spring barley crops from weed vegetation throughout the growing season and increase in crop yields.

Keywords: herbicide, spring barley, weeds, yield, grain quality

Сорняки являются соперниками культурных растений за основные факторы окружающей среды. Для роста сорняков необходимо значительно большее количество элементов питания, они интенсивно поглощают питательные вещества из почвы и удобрений, за счёт чего резко снижается действие минеральных и органических удобрений для полевых культур [1]. Своей надземной массой сорные растения способ-

ны сильно затенять культурные растения, при этом заметно снижается коэффициент использования ФАР посева, на 1–4 °С снижается температура верхних слоёв почвы, что оказывает отрицательное влияние на микробиологические процессы. Ещё больший вред наносят сорняки, конкурируя за доступную влагу. Для производства 1 кг органического вещества сорные растения потребляют воды на 150–250% больше, чем

полевые культуры. В большинстве случаев на засорённых посевах содержание продуктивной влаги в верхнем слое уменьшается до 5%, что отрицательно сказывается на росте и развитии культурных растений в начале своей вегетации [2–5].

Вред от сорняков формируется не только количеством и их массой на единице площади, но и фазой развития полевой культуры, так как от неё зависит и ее чувствительность к сорнякам. Это так называемый критический период жизни культурного растения, знание которого позволяет правильно и эффективно бороться с сорным компонентом в оптимальные сроки и получить максимальный эффект от гербицидов [3, 6].

Сложившееся состояние с засорённостью полевых культур не может быть решено без применения гербицидов, которые в современном земледелии незаменимы. Однако применение гербицидов оправдано с экономической и экологической точек зрения, когда применения агротехнических мер борьбы недостаточно [1]. В условиях высокой засорённости фитоценоза ярового ячменя однолетними и многолетними видами сорной растительности получать высокие урожаи без использования гербицидов очень сложно. В свою очередь использование средств защиты растений должно быть биологически адекватным и экономически обоснованным [5, 7–9].

Поэтому изучение в условиях конкретного хозяйства современных средств борьбы с сорняками и их баковых смесей для контроля засорённости посевов ярового ячменя и, как следствие – повышения его продуктивности и качества в современных условиях является актуальным и своевременным, что имеет большую практическую значимость.

Цель исследования: изучить влияние современных гербицидов с различным д.в. и их баковых смесей на динамику сорняков в посевах и продуктивность ярового ячменя Ратник.

В задачи исследований входило: установить влияние изучаемых препаратов и их баковых смесей на произрастающие в посевах ячменя сорные растения; определить эффективность гербицидов; дать оценку влияния гербицидов и их смесей на структуру урожая ярового ячменя, урожайность и качество зерна.

Материалы и методы исследования

Исследования по изучению сортимен- та современных гербицидов с различным

д.в. и их баковых смесей на динамику сорняков в посевах и продуктивность ярового ячменя Ратник проводятся на полях УНПК Донского ГАУ Октябрьского района Ростовской области с 2015 г. Территория УНПК находится в приазовской природно-климатической зоне, характеризующейся недостаточным и неустойчивым выпадением осадков и ГТК 0,7–0,8, в среднем за год выпадает 423 мм, а за вегетационный период – от 122 до 295 мм.

Схема опыта:

1. Без гербицида (контроль).
2. Аккурат (Метсульфурон-метил).
3. Аккурат + Диамант.
4. Диамант (Дикамба (диметиламинная соль)).
5. Аккурат + Банвел.
6. Банвел (Дикамба (диметиламинная соль)).
7. Гранстар про (Трибенурон-метил).

Обработка ярового ячменя проводилась в фазу кущения с расходом рабочей жидкости 250 л/га и дозами гербицидов: Аккурат – 10 г/га; Аккурат (3 г/га) + Диамант (0,08 л/га); Диамант (0,2 л/га); Аккурат (3 г/га) + Банвел (0,15 л/га); Банвел (0,3 л/га); Гранстар про (15 г/га).

Аккурат – высокоселективный гербицид для защиты посевов зерновых культур и льна от однолетних и некоторых многолетних двудольных сорняков. Диамант – селективный системный послевсходовый гербицид против однолетних и некоторых многолетних двудольных сорняков в посевах зерновых культур и кукурузы. Банвел – селективный системный гербицид для послевсходового применения против однолетних и некоторых многолетних широколистных сорняков на зерновых культурах и кукурузе. Гранстар про – высокоэффективный однокомпонентный гербицид для защиты зерновых культур от широкого спектра двудольных сорняков. Изучаемые гербициды рекомендованы для использования на сельскохозяйственных культурах, в том числе и на яровом ячмене, являются современными, что делает наши исследования актуальными и востребованными практикой.

Технология выращивания ярового ячменя после озимой пшеницы соответствовала для приазовской зоны проведения исследований. Повторность в опытах 3-кратная, площадь учётных делянок – по 50 м². При проведении исследований применены общепринятые в агрономической науке методики закладки и проведения полевых опытов по В.Ф. Моисейченко [10].

Расчёт эффективности гербицида (для сорных растений) вели согласно общепринятой методике:

$$\mathcal{E} = 100 - (Bo/Ao \times Ak/Bk \times 100),$$

где \mathcal{E} – эффективность в % (снижение числа сорняков);

Ак – число сорняков на 1 м² при первом учёте на контроле (исходная засорённость);

Вк – число сорняков на 1 м² при втором (третьем и т.д.) учёте на контроле;

Ао – число сорняков на 1 м² при первом учёте в опыте;

Во – число сорняков на 1 м² при втором (третьем и т.д.) учёте в опыте.

В Ростовской области наиболее широко распространены следующие сорные растения:

– однодольные: овсюг (*Avena fatua*), ежовник (*Echinochloa crusgalli*), виды щетинников (*Setaria*), пырей ползучий (*Elymus repens*) и др.;

– двудольные: дьямянка аптечная (*Fumaria officinalis*), подмаренник цепкий (*Galium aparine*), осот полевой (*Sonchus arvensis*), бодяк щетинистый (*Cirsium setosum*), вьюнок полевой (*Convolvulus arvensis*), гречишка вьюнковая (*Fallopia convolvulus*), щирица запрокинутая (*Amaranthus retroflexus*), щирица жминдовидная (*Amaranthus blitoides*), щирица белая (*Amaranthus albus*), амброзия польннолистная (*Ambrosia artemisiifolia*), марь белая (*Chenopodium album*), сурепка (*Sinapis arvensis*) и др.

В исследуемые годы основными сорными растениями в посевах ярового ячменя были: бодяк щетинистый (*Cirsium setosum*), марь белая (*Chenopodium album*), дьямянка аптечная (*Fumaria officinalis*) и амброзия польннолистная (*Ambrosia artemisiifolia*).

В тексте и таблицах представлены результаты исследований в среднем за 2015–2017 гг.

Результаты исследования и их обсуждение

Обработку посевов исследуемыми гербицидами мы проводили в фазу кущения ярового ячменя и уже в фазу выхода в трубку на поле наблюдалось угнетение сорной растительности (табл. 1).

При одинаковой засорённости посевов ярового ячменя перед применением гербицида, которая была равной в среднем 70,4 шт/м² сорных растений уже в выход в трубку были видны различия по вариантам опыта.

Так, на контрольном варианте засорённость повысилась с 70,4 до 85,4 шт/м² сорных растений. По вариантам обработки гербицидов засорённость составила 6,8–30,1 шт/м². Наибольшее снижение засорённости мы наблюдали при обработке гербицидами и баковыми смесями, в которых был задействован гербицид Аккурат – количество сорных растений составило 6,8–9,5 шт/м². При использовании Дьямента, Банвела и Гранстар про количество сорняков в данную фазу было в несколько раз выше – до 23,4–30,1 шт/м².

При расчёте эффективности действия гербицидов нами установлено, что их эффективность составила от 64,8 до 92,0%. Наибольшие показатели эффективности действия гербицида прослеживаются по вариантам с применением гербицида с действующим веществом Метсульфурон-метил, а именно с гербицидом Аккурат. В баковых смесях с гербицидами группы Дикамбы эффективность составила 88,9–89,7%, что несколько ниже одновидового применения данного гербицида – 92,0%. Использование препаратов Дикамбы и Трибенурон-метил группы в чистом виде, вне баковой смеси способствует некоторому снижению действия гербицидов по сравнению с группой Дикамбы до 64,8–72,6%.

Таблица 1

Влияние гербицидов на количество сорняков в посевах ярового ячменя

Вариант	Кущение	Выход в трубку		Перед уборкой	
	шт/м ²	шт/м ²	% гибели	шт/м ²	% гибели
Без гербицида (контроль)	70,4	85,4	---	62,2	---
Аккурат	70,4	6,8	92,0	15,2	70,4
Аккурат + Дьямент	70,4	8,8	89,7	20,1	60,8
Дьямент	70,4	30,1	64,8	33,6	34,5
Аккурат + Банвел	70,4	9,5	88,9	20,4	60,2
Банвел	70,4	25,5	70,1	29,2	43,1
Гранстар про	70,4	23,4	72,6	26,8	47,7

В дальнейшем, за счёт развития растений ярового ячменя и его конкуренции с сорными растениями на контрольном варианте, мы отмечаем снижение количества сорняков с 85,4 до 62,2 шт/м². Однако засорённость повысилась на вариантах, подвергшихся обработке гербицидами. По вариантам обработки гербицидов перед уборкой засорённость составила 15,2–33,6 шт/м². Наибольшее повышение засорённости мы наблюдали при обработке гербицидами и баковыми смесями, в которых был задействован гербицид Аккурат – количество сорных растений увеличилось в два раза и составило 15,2–20,4 шт/м².

С изменением количества сорняков по вариантам исследований меняется и их сухая масса. Перед применением гербицидов мы проводили не только подсчёт количества сорных растений, но и их высушивание и взвешивание. Масса сорного компонента перед обработкой гербицидами в среднем по вариантам исследований составила 32,8 г/м² (табл. 2).

Уже в выход в трубку были видны различия по вариантам опыта по массе сорных растений. Так на контрольном вари-

анте масса сорняков повысилась с 32,8 до 80,2 г/м². По вариантам обработки гербицидов сухая масса составила 6,2–45,8 г/м². Наибольшее снижение веса сорной растительности мы наблюдали при обработке гербицидами и баковыми смесями, в которых был задействован гербицид Аккурат – масса сорных растений составила 6,2–10,2 г/м².

При использовании Даманта, Банвела и Гранстар про сухая масса сорняков в данную фазу была почти в пять раз выше – до 31,0–45,8 шт/м². При расчёте эффективности действия гербицидов нами установлено, что эффективность составила от 42,9 до 92,3 %. Наибольшие показатели прослеживаются по вариантам с применением гербицида с действующим веществом Метсульфурон-метил, а именно с гербицидом Аккурат. В баковых смесях с гербицидами группы Дикамбы эффективность составила 87,3–88,2%, что несколько ниже одновидового применения данного гербицида – 92,3 %. Использование препаратов Дикамбы и Трибенурон-метил группы в чистом виде, вне баковой смеси способствует некоторому снижению действия гербицидов по сравнению с группой Дикамбы до 42,9–61,3 %.

Таблица 2
Влияние гербицидов на накопление сухой массы сорняков в посевах ярового ячменя

Вариант	Кущение	Выход в трубку		Перед уборкой	
	г/м ²	г/м ²	снижение, %	г/м ²	снижение, %
Без гербицида (контроль)	32,8	80,2	---	105,8	---
Аккурат	32,8	6,2	92,3	13,4	69,0
Аккурат + Дамант	32,8	10,2	87,3	30,2	30,2
Дамант	32,8	45,8	42,9	55,2	27,6
Аккурат + Банвел	32,8	9,5	88,2	22,8	47,3
Банвел	32,8	35,4	55,9	44,8	3,5
Гранстар про	32,8	31,0	61,3	43,0	0,6

Таблица 3
Влияние гербицидов на структуру урожая и урожайность ярового ячменя

Вариант	Продуктивная кустистость	Число зёрен в колосе, шт.	Масса, г			Урожайность зерна, т/га
			зерна		1000 зёрен	
			с колоса	с растения		
Без гербицида (контроль)	1,50	18,0	0,72	1,09	40,2	2,71
Аккурат	1,77	20,3	0,87	1,54	42,9	3,85
Аккурат + Дамант	1,75	20,2	0,85	1,48	42,0	3,71
Дамант	1,70	19,8	0,80	1,36	40,4	3,40
Аккурат + Банвел	1,79	18,7	0,80	1,43	42,8	3,58
Банвел	1,77	20,7	0,83	1,46	39,9	3,65
Гранстар про	1,75	20,4	0,83	1,45	40,7	3,63
НСР ₀₉₅	0,08	0,6	0,02	0,04	1,5	0,09

В дальнейшем, от фазы выхода в трубку и до уборки, мы отмечаем увеличение массы сорняков с 80,2 до 105,8 г/м². Однако масса сорняков повысилась и на вариантах, подвергшихся обработке гербицидами. Так, по вариантам обработки гербицидов перед уборкой масса сорняков составила 13,4–55,2 г/м².

Таким образом, гербицид Аккурат способствует значительному снижению массы сорной растительности в посевах ярового ячменя, его эффективность составила 69,0%, а в баковых смесях – 30,2–47,3%.

Анализ действия гербицидов на сорные растения показал, что к уборке количество и масса сорного компонента снижается, что позволит нам сделать качественные выводы о влиянии гербицидной обработки на структуру урожая ярового ячменя (табл. 3).

Таким образом, защита посевов от сорной растительности способствовала повышению всех элементов структуры урожая ярового ячменя, однако наибольшее влияние оказал гербицид Аккурат и его баковые смеси.

Со структурой урожая тесно связана и сама урожайность полевой культуры, которая в наших исследованиях достигала на наиболее урожайных вариантах 3,71–3,85 т/га. На контрольном варианте мы получили урожайность ярового ячменя 2,71 т/га, что значительно ниже остальных вариантов опыта.

Применение гербицидов и их баковых смесей способствовало повышению урожайности ярового ячменя до 3,40–3,85 т/га. Прибавка урожая варьировала от 0,54 до 0,99 т/га, или от 19,9 до 36,7% по сравнению с контролем. Использование гербицида с действующим веществом метсульфурон-метил способствовало получению максимальной урожайности в опыте – 3,85 т/га, прибавка составила 0,99 т/га, или 36,7%. Баковые смеси с метсульфурон-метилом (Аккурат) позволили получить несколько меньшую величину урожайности ярового ячменя – 3,58–3,71 т/га, прибавка урожая составила 26,6–31,4 т/га.

При анализе качества зерна ярового ячменя нами установлено, что содержание азота в зерне варьировало от 1,27 до 1,30%, фосфора – от 0,76 до 0,79%, калия – от 0,63–0,68%. Установить чёткую зависимость влияния гербицидов и их баковых смесей на содержание основных элементов питания в зерне ярового ячменя нам не удалось. Однако все гербициды способствовали незначительному повышению содержания азота и снижению калия. По содержанию крахмала и клетчатки по вариантам исследований также не было существенных различий.

Выбор и внедрение наиболее эффективных вариантов технологий обеспечивают значительный экономический эффект, что чрезвычайно важно для перевода хозяйств на самоокупаемость и самофинансирование.

Закупочная цена зерна ярового ячменя по состоянию на конец августа 2017 г. составила 7800 руб/т, закупочная цена препаратов: Аккурат – 2843 руб. за упаковку 0,25 кг, Диамант – 15500 руб. за 5 л, Банвел – 1971 за 1 л и Гранстар про – 10896 руб. за упаковку 0,5 кг. Затраты на опрыскивание посевов ярового ячменя и уборку дополнительного урожая составили от 1249 до 1366 руб/га с наибольшими значениями по вариантам с гербицидом Аккурат и баковых смесей с Аккуратом – 1366, 1307–1335 руб/га соответственно. Наибольшая прибыль от защиты посевов ярового ячменя получена на варианте с применением гербицида Аккурат – 6270 руб/га, а наименьшая прибыль получена по вариантам применения гербицида Диамант и баковой смеси Диамант + Банвел – 2340 и 2964 руб/га соответственно.

Заключение

Проведённые исследования свидетельствуют о перспективности уточнения схем гербицидной защиты посевов ярового ячменя. Хозяйствам Октябрьского района Ростовской области для получения урожая ярового ячменя 3,71–3,85 т/га необходимо в фазу кущения растений обрабатывать посе́вы гербицидом Аккурат (10 г/га) или баковой смесью Аккурат (3 г/га) + Диамант (0,08 л/га). Данная схема способствует защите посевов ярового ячменя от сорной растительности в течение всей вегетации и повышению урожайности культуры.

Список литературы / References

1. Баздырев Г.И., Смирнов Б.А. Сорные растения и меры борьбы с ними. М.: Московский рабочий, 1986. 189 с.
2. Bazydyrev G.I., Smirnov B.A. Weed plants and measures of fight against them. M.: Moscow worker, 1986. 189 p. (in Russian).
3. Современные средства защиты растений и технологии их применения. Под. общ. ред. В.В. Немченко. Куртамыш: ГУП «Куртамышская типография», 2011. 525 с.
4. Modern means of protection of plants and technology of their application. Under. general edition of V.V. Nemchenko. Kurtamysh: SUE Kurtamyshsky Printing House, 2011. 525 p. (in Russian).
5. Филиппов А.С., Немченко В.В. Технологии применения гербицидов на зерновых культурах в условиях минимализации обработки почвы. Куртамыш: ООО «Куртамышская типография», 2016. 100 с.
6. Filippov A.S., Nemchenko V.V. Technologies of use of herbicides on grain crops in the conditions of minimizing processing of the soil. Kurtamysh: LLC Kurtamyshsky Printing House, 2016. 100 p. (in Russian).
7. Гринько А.В. Влияние гербицидов на продуктивность ярового ячменя медикум 157 в Приазовской зоне

- Ростовской области // Научный альманах. 2015. № 10–3. С. 477–479. DOI: 10.17117/na.2015.10.03.477.
- Grinko A.V. Influence of herbicides on efficiency of the medikum summer barley 157 in the Azov zone of the Rostov region // Nauchny'j al'manax. 2015. № 10–3. P. 477–479. DOI: 10.17117/na.2015.10.03.477 (in Russian).
5. Гринько А.В. Эффективность нового ассортимента гербицидов для защиты ярового ячменя // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2015. № 2 (52). С. 52–55.
- Grinko A.V. Effectiveness of the New Assortment of Herbicides in Spring Barley Protection // Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2015. № 2 (52). P. 52–55 (in Russian).
6. Спиридонов Ю.Я., Шестаков В.Г. Рациональная система поиска и отбора гербицидов на современном этапе. М: РАСХ-ГНУ ВНИИФ, 2006. 272 с.
- Spiridonov Yu.Ya., Shestakov V.G. The rational system of search and selection of herbicides at the present stage. M: RASH-GN VNIIF, 2006. 272 p. (in Russian).
7. Гринько А.В., Маркарова Ж.Р. Оптимизация защиты ярового ячменя от доминирующих сорняков в Ростовской области // Международный журнал гуманитарных и естественных наук. 2018. № 4. С. 104–106.
- Grinko A.V., Makarova Zh.R. Optimization of Spring Barley Protection of the Dominant Weed in the Rostov Region // Mezhdunarodny'j zhurnal gumanitarny'x i estestvenny'x nauk. 2018. № 4. P. 104–106 (in Russian).
8. Баранов А.И. Влияние гербицидов на урожайность и засоренность ярового ячменя / А.И. Баранов, А.В. Гринько // Зерновое хозяйство России. 2014. № 6. С. 22–26.
- Baranov A.I., Grinko A.V. Influence of herbicides on weediness and productivity of spring barley // Grain Economy of Russia. 2014. № 6. P. 22–26 (in Russian).
9. Гринько А.В. Загрязнение почв при применении гербицидов // Почвоведение – продовольственной и экологической безопасности страны: тезисы докладов VII Съезда почвоведов им. В.В. Докучаева и Всероссийской с международным участием научной конференции / Отв. ред.: С.А. Шоба, И.Ю. Савин. Белгород: Издательский дом «Белгород», 2016. Часть II. С. 75–76.
- Grinko A.V. Pollution of soils at use of herbicides // Soil science – food and ecological security of the country: theses of reports of the VII Congress of soil scientists of V.V. Dokuchayev and the scientific conference, All-Russian with the international participation / Editor-in-chiefs: S.A. Shoba, I.Yu. Savin. Belgorod: Belgorod publishing house, 2016. Part II. P. 75–76 (in Russian).
10. Моисейченко В.Ф., Трифонова М.Ф., Заверюха А.Х., Ещенко В.Е. Основы научных исследований в агрономии. М.: Колос, 1996. 336 с.
- Moiseychenko V.F., Trifonova M.F., Zaveryukh A.Kh., Eshchenko V.E. Bases of scientific research in agronomics. M.: Kolos, 1996. 336 p. (in Russian).

УДК 634.21:574.4:631.672.3(470.67)

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПАРООБРАЗНОЙ ВЛАГИ АТМОСФЕРЫ ДЛЯ ВОДОБЕСПЕЧЕНИЯ ДРЕВЕСНЫХ РАСТЕНИЙ В АРИДНЫХ УСЛОВИЯХ ВНУТРЕННЕГОРНОГО ДАГЕСТАНА

Асадулаев З.М., Мирзоев Э.М.-Р., Газиев М.А., Залибеков М.Д., Габимова А.Д.
ФГБУН «Горный ботанический сад» ДНЦ РАН, РФ, Махачкала, e-mail: asgorbs@mail.ru

В работе представлены результаты испытания каменного кургана, предназначенного для снабжения влагой деревьев абрикоса методом конденсации парообразной воды из атмосферы на аридных южных склонах Внутреннегорного Дагестана. Площадь склонов, малоприспособленных под сады, из-за недостатка воды и отсутствия возможности орошения, в Горном Дагестане составляет более 300 тыс. га. Опыт показал, что существует реальная возможность для освоения таких земель под посадку абрикоса путем использования каменных конденсаторов для получения воды из атмосферы. Это курганный каменный способ конденсации парообразной воды атмосферы, основанный на выкопке систем ям и траншей при посадке дерева. Вокруг приствольного круга на расстоянии 1,5 м от центра в противоположных направлениях копают 4 ямы глубиной 0,6–0,8 и шириной 0,3 м. Далее по линии приствольного круга и от ям до центра копают траншеи глубиной 0,4–0,5 и шириной 0,3 м. Затем ямы, траншеи и весь приствольный круг, заполняются речными обкатанными камнями, чтобы образовался курган высотой от центра до 0,6–0,8 м. Образующаяся при конденсации парообразная влага атмосферы даёт возможность обеспечить посаженное дерево необходимым количеством воды для своего роста и плодоношения. Использование данного способа позволило в среднем за три года увеличить общий прирост побегов абрикоса в 8 раз по сравнению с контролем. Таким образом, каменный курган в засушливых условиях Горного Дагестана играет существенную роль в воздухообмене и накоплении конденсированной атмосферной влаги камнями в районе корневой системы, значительно улучшая тем самым условия воздухообмена и увлажнения корнеобитаемого слоя почвы.

Ключевые слова: речные камни-булыжники, курган, конденсация атмосферной влаги, ямы, траншеи, деревья абрикоса

THE USE OF VAPOROUS MOISTURE OF THE ATMOSPHERE FOR WATER SUPPLY OF WOOD PLANTS IN ARID CONDITIONS OF INLAND DAGESTAN

Asadulaev Z.M., Mirzoev E.M., Gaziev M.A., Zalibekov M.D., Gabimova A.D.

Mountain Botanical garden, Dagestan Scientific Center, Russian Academy of Sciences, Makhachkala,
e-mail: asgorbs@mail.ru

The paper presents the test results of a stone mound supplying moisture to apricot trees by condensation of vapor water from the atmosphere on the arid southern slopes of the Inland Dagestan. There are more than 300 thousand hectares of slopes unsuitable for gardens due to lack of water and lack of irrigation in the mountainous Dagestan. Experience has shown that there is a real opportunity to develop such land for planting apricots by using stone condensers to produce water from the atmosphere. This is a barrow stone method of condensation of vapor-like water of the atmosphere, based on the excavation of pit and trench systems during tree planting. 4 pits are dug with a depth of 0.6-0.8 and a width of 0.3 m around the shaft circle at a distance of 1.5 m from the center in opposite directions. Then, along the line of the shaft and from the pits to the center, they dig trenches with a depth of 0.4-0.5 and a width of 0.3 m. then, the pits, trenches and the entire shaft are filled with river rolled stones to form a mound with a height from the center to 0.6-0.8 m. the vaporous moisture of the atmosphere formed during condensation makes it possible to provide the planted tree with the necessary amount of water for its growth and growth and fruiting. The use of this method has allowed to rise total increase in apricot shoots 8 times compared to the control in three years approx. Thus, the stone mound in arid conditions of Dagestan mountains plays an important role in the air exchange and accumulation of condensed atmospheric moisture by stones in the area of the root system, thus significantly improving the conditions of air exchange and moisture of the root layer of the soil.

Keywords: river stones, barrow, condensation of atmospheric moisture, pits, trenches, apricot trees

Общая площадь Дагестана 5,03 млн га, из них горы и предгорья занимают 60% территории и около 40% сельхозугодий. А сельскохозяйственно бесполезные, оголенные, сухие, покрытые редкой ксерофитной растительностью склоны, занимают территорию, превышающую миллион гектаров. Под садами, виноградниками, пашней и сенокосами используются только 300 тыс. га, или 11% сельхозугодий.

Площадь, занятая под садами, в 1960 г. по всем категориям хозяйств составляла

65,5 тыс. га. С начала 1990-х гг. площади садов во всех категориях хозяйств к 2009 г. сократились до 26,2 тыс. га и, как результат – Дагестан не покрывает даже половины собственной потребности во фруктах.

С целью расширения садов важную роль должны сыграть горно-долинные районы Дагестана. На эти районы, считающиеся наиболее оптимальными для возделывания абрикоса и персика, приходится 0,778 млн га (15,5%).

Промышленные сады здесь расположены в основном вдоль долин крупных рек

Аварского и Андийского Койсу и их притоков. Наличие воды для орошения сделали этот район издавна крупным центром садоводства.

Однако большая часть территории занята склонами с маломощными смытыми почвами и каменистыми осыпями. Территория их даже по скромным подсчетам занимает более 300 тыс. га, из которых больше половины приходится на склоны южных экспозиций малопригодных для освоения под сады из-за недостатка воды и отсутствия возможности орошения.

Поэтому если удастся освоить хотя бы 1% этих бесплодных сухих земель горно-долинных районов Дагестана под посадку абрикоса, то это составит до 3 тыс. га, что дало бы возможность почти в два раза увеличить площадь под насаждениями абрикоса. Основная проблема здесь – дефицит атмосферного увлажнения и недостаток влаги в почвенном профиле при общих благоприятных температурных условиях для возделывания абрикоса. А температурный фактор является наиболее важным, так как в основном определяет жизненные функции абрикоса.

Абрикос относится к числу наиболее засухоустойчивых плодовых пород. По данным Ю.В. Трунова [1], абрикос успешно произрастает на таких почвах, на которых другие плодовые культуры не могут расти. Эти ценные биологические особенности абрикоса связаны с расположением его корневой системы, проникающей на значительную глубину. Глубокое проникновение мощных, с большой поглощающей способностью корней абрикоса исторически определилось условиями его произрастания в диком виде на каменистых склонах.

Однако культурные сорта абрикоса не могут развиваться и давать высокие урожаи в условиях высокого дефицита влаги.

При недостаточной влажности почвы происходит подавление ростовых процессов, уменьшается прирост и общая листовая поверхность, угнетается рост корневой системы, интенсивность дыхания выше и уменьшается зимостойкость и морозостойкость генеративных почек [2].

Основой плодородия земель является содержание влаги в почве, созданное самой природой. Причина водного голода планеты кроется не в недостатке пресной воды на земном шаре, а в нарушении цепи, связывающей воду с почвой.

Известно, что источником пресной воды на поверхности суши земного шара является

парообразная вода атмосферы. В атмосфере в виде пара содержится 14 тыс. км³ воды (а во всех речных руслах всего 1,2 тыс. км³). С поверхности суши и океана ежегодно испаряется 577 тыс. км³ воды, столько же потом выпадает в виде осадков, и, что интересно, самый крупный источник – вода в атмосфере – почти не используется [3].

Система получения парообразной воды из атмосферы путем конденсации известна еще с незапамятных времен. Такими свойствами обладают и пирамиды в Египте.

По мнению Ф.И. Зибольда (цитировано по П. Яновичу [4]), конденсация водяных паров воздуха лежала в основе древней системы водоснабжения г. Феодосии в Крыму, на склонах г. Тебе-Оба он насчитал до 10 «щебневых куч-конденсаторов».

Ветер, проходя через эти конденсационные установки, оставлял на камнях миллиарды капелек воды.

Накоплением воды непосредственно из воздуха интересовались многие ученые. Профессора Н.А. Головкинский и А.Ф. Лебедев (цитировано по П. Яновичу [4]) подсчитали, что в Крыму конденсация водяных паров из атмосферы более чем в два раза превышала количество воды, полученной от дождей.

Знаменитые висячие сады Семирамиды в древнем Вавилоне 2600 лет назад росли на террасах, поднимающихся по склонам ступенчатого сооружения. Полагают, что воду получали на месте на разных уровнях из воздуха с помощью своеобразных щебеночных «куч», которые вырабатывали из воздуха воды вполне достаточное для подпитки сада [5].

Цель исследования: извлечение парообразной влаги из воздуха атмосферы для обеспечения деревьев абрикоса на аридных южных склонах Внутреннегорного Дагестана достаточным для роста и развития количеством воды. Для достижения поставленной цели использован курганный, каменный способ конденсации атмосферной парообразной влаги в почве [6].

Материалы и методы исследования

С целью накопления из воздуха влаги на сухом южном склоне Цудахарской экспериментальной базы был заложен опыт с выращиванием абрикоса.

Способ включает посадку саженца дерева, копку четырех ям глубиной 0,60–0,80 м на расстоянии 1,5 м от штамба саженца, ориентированных по странам света. От каждой ямы роют траншею до штамба саженца глубиной 0,40–0,50 и шириной 0,30–0,35 м,

затем на такую же глубину по линии круга радиусом 1,5 м, от штамба саженца также роют траншею. Затем ямы и траншеи заполняют речными гладкими камнями, создают на поверхности почвы вокруг посаженного саженца сплошной каменный курган радиусом 1,5 м, высотой 0,60 м, охватывающий все выкопанные ямы и траншеи.

Заполненные камнями траншеи способствуют свободной циркуляции воздуха и отводу сконденсированной воды в зону корневой системы дерева. Это своеобразный вечный двигатель по производству воды из воздуха.

В качестве контроля использована обычная посадка. Посадка проведена двухлетними сеянцами абрикоса без полива.

Учет фенологических фаз роста и развития деревьев абрикоса велся в соответствии с общепринятой программой и методикой изучения плодовых культур с целью выявления отношения абрикоса к экологическим условиям изучаемого района [7].

Для характеристики влагообеспеченности района опыта использовали гидротермический коэффициент увлажнения (ГТК) по Г.Т. Селянинову [8], который широко используется в агрономии для общей оценки климата и выделения зон различного уровня влагообеспеченности с целью определения целесообразности выращивания тех или иных с/х культур.

Классификация зон увлажнения по ГТК: влажная – 1,6–1,3; слабозасушливая 1,3–1,0; засушливая – 1,0–0,7; очень засушливая 0,7–0,4; сухая – < 0,4. Колебание значений

ГТК для зон неустойчивого увлажнения значительны и связаны с неравномерностью выпадения осадков.

Результаты исследования и их обсуждение

Одним из весьма эффективных методов обеспечения деревьев влагой в аридных условиях является каменный конденсатор паровозной влаги атмосферы, который используется для прямого извлечения воды из воздуха атмосферы и накопления ее в активной корневобитаемой зоне почвенного профиля. Он основан на принципах аэрации и увеличения циркуляции воздуха атмосферы в каменном кургане, где в силу разности температурного режима воздуха и камней происходят процессы конденсации паровозной влаги атмосферы. Это давно известные пирамидальные каменные конструкции, которые могут стать постоянным источником поступления воды для засушливых регионов.

Механизм работы кургана заключается в следующем: наружные камни под солнцем нагреваются, а основная масса камней внутри кучи имеет более низкую температуру. Когда потоки горячего воздуха, несущие в себе пары воды, пронизывают каменную кучу и соприкасаются с поверхностью холодных камней, он охлаждается и переходит из паровозного в жидкое состояние. Это обеспечивает надежный теплообмен и полную конденсацию избыточной влаги, которая собирается и стекает в прикорневую зону дерева.

Таблица 1

Показатели ГТК за май, июнь, июль, август и сентябрь месяцы в среднем за 2014–2017 гг. по Цудахару

Месяцы	Среднемесячная температура в °С	Сумма эф. температур выше +10°С	Кол-во атм. ос. мм	ГТК Селянинова	Классификация зон увлажнения
Май	+15,3	163	52	3,2	Влажная
Июнь	+20,1	585	42	0,7	Засушливая
Июль	+22,0	649	49	0,8	Засушливая
Август	+23,7	423	21	0,5	Очень засушливая
Сентябрь	+19,3	278	14	0,5	Очень засушливая

Таблица 2

Рост саженцев абрикоса под каменным курганом и в контроле. Средние данные за 2015–2017 гг.

Варианты опыта	Общее сост. в баллах	Диам. штамба, мм	Высота дерева, см	Ширина кроны, см	Кол. побегов, шт	Ср. длина поб., см	Общий прирост побегов, см
Каменный курган вокруг дерева	5,0	37,7	200	167	32,0	57	1824
Контроль без камней	3,2	18,0	130	63	18,3	12,7	232

ГТК влажности по Селянинову рассчитывали за пять месяцев вегетации (май, июнь, июль, август и сентябрь). Как видно из табл. 1, только май характеризовался как влажный, июнь и июль как засушливые, а август и сентябрь – очень засушливые. Если учитывать, что опыт закладывается на засушливом южном склоне, то показатели будут значительно суше.

В табл. 2 приведены основные показатели роста деревьев абрикоса в зависимости от вариантов опыта.

Как видно из таблицы, в варианте с использованием каменного кургана вокруг дерева и траншей, заполненных камнями, деревья имеют устойчивый прирост побегов. В среднем за три года общий прирост побегов здесь составил 1824 см, а в контроле всего 232 см. Аналогичными были и другие показатели роста. Так, в конце первого года вегетации диаметры штамба в 2015 г. в обоих вариантах различались незначительно – в опыте 16 мм, в контроле – 15 мм. На следующий год диаметр штамба в опытном варианте увеличился до 35 мм, а в контроле составил всего 18 мм. Соответственно и в 2017 г. – 62 и 21 мм, т.е. в опытном варианте ежегодно диаметр штамба увеличивался двукратно, а в контроле только на 20 %.

Это показывает, что слой каменного кургана высотой 60 см плюс 60 см камней в траншеях играют существенную роль в воздухообмене и накоплении конденса-

рованной влаги камнями в районе корневой системы.

Количество конденсируемой воды зависит от размера кургана, т.е. чем выше курган, тем больше воды конденсируется. Так, подсчитано, что пирамидальный каменный конденсатор воды при высоте 1,4 м и сторонам основания по 2,3 м обеспечивают сбор ежесуточно до 90–150 л воды [5]. Если исходить из этих показателей, то построенный нами конденсатор высотой 0,6 м и радиусом от штамба дерева по кругу в 1,5 м может обеспечить примерно ежесуточно до 30 л воды. Кроме того, камни в радиусе 1,5 м вокруг дерева играют также роль мульчи, благодаря чему значительно улучшаются водно-физические и биохимические условия верхнего слоя почвы, где расположены корни.

Естественно, такая посадка потребует первоначальных капитальных вложений с созданием каменных курганов вокруг деревьев. На каждое дерево потребуется около 3,5–4,0 м³ речных камней. Если учесть, что в дальнейшем почти не потребуется проводить работы, связанные по уходу за таким садом, кроме формирования и обрезки деревьев, первые 2–3 урожая с деревьев могут окупить сделанные затраты. Кроме того, надо учитывать защиту склонов от эрозии почвы, возможность, помимо конденсации влаги, полного сохранения выпадающих атмосферных осадков от стоков.

На рис. 1 показан процесс подготовки участка и посадка дерева (2015 г.).



Рис. 1. 1-й этап: копка траншей и заполнение их камнями, посадка дерева. Цудахар, апрель 2015 г.

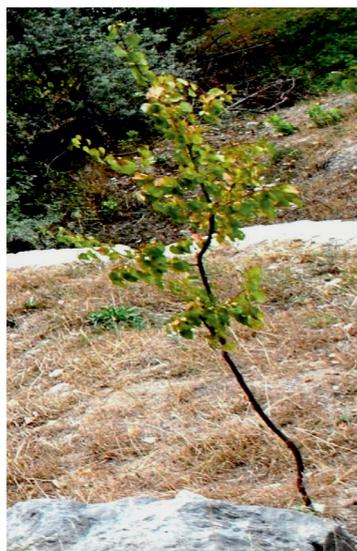


Рис. 2. Деревья абрикоса через три года после посадки, слева опытный вариант, справа контроль. Цудахар, сентябрь 2017 г.

Снимки, сделанные в сентябре 2017 г., показывают, что в опыте с каменным конденсатором парообразной воды дерево отличается не только лучшим ростом побегов, но и хорошей облиственностью и темно-зеленым цветом листьев (рис. 2, слева). В контроле (рис. 2, справа) листья начали желтеть и осыпаться.

Выводы

1. Горные долины, считающиеся наиболее оптимальными для возделывания абрикоса, занимают 778 тыс. га, что составляет более 15% территории Дагестана. Однако более 300 тыс. га территории здесь занято склонами с маломощными смытыми почвами и каменистыми осыпями не пригодными для освоения под сады из-за недостатка воды и отсутствия возможности для орошения.

2. Доказана реальная возможность освоения части сельхознепригодных сухих горных склонов Горного Дагестана под посадку абрикоса путем использования каменных курганов для конденсации парообразной воды из атмосферы воздуха для обеспечения дерева необходимым количеством влаги.

3. Курганный способ конденсации парообразной воды атмосферы основан на выкопке траншеи вокруг приствольного круга дерева на расстоянии 1,5 м от центра и двух траншей, соединяющих по диаметру круга в противоположных направлениях глубиной 0,5–0,6 м и шириной 0,3–0,4 м.

Траншеи и приствольный круг заполняются гладкими речными камнями на высоту

0,6–0,8 м, создавая своеобразный каменный курган. За счёт притока конденсата в прикорневую зону дерева это позволило увеличить в восемь раз, в среднем за три года, общий прирост побегов дерева абрикоса в сравнении с контрольной посадкой.

Список литературы / References

1. Трунов Ю.В., Самошенко Е.Г. Плодоводство. М.: Колос, 2012. 416 с.
Trunov Yu.V., Samoshchenkov E.G. Fruit growing. M.: Kolos, 2012. 416 p. (in Russian).
2. Ноздрачёва Р.Г. Абрикос. Технология выращивания. М.: Издательский дом «Социум», 2013. 60 с.
Nozdrachyova R.G. Apricot. Technology of cultivation. M.: Izdatel'skiy dom «Socium», 2013. 60 p. (in Russian).
3. Михайлов В.Н., Добровольский А.Д., Добролюбов С.А. Гидрология. М.: Высшая школа, 2008. 463 с.
Mikhaylov V.N., Dobrovolsky A.D., Dobrolyubov S.A. Hydrology. M.: Vy'sshaya shkola, 2008. 463 p. (in Russian).
4. Янович П. Вода из воздуха // Наука и жизнь. 1968. № 11. С. 64–66.
Yanovich P. Water from air // Science and life. 1968. № 11. P. 64–66 (in Russian).
5. Коровина Е. Таинственные сады Семирамиды. М.: Гелеос, 2007. 320 с.
Korovina E. Mysterious gardens of Semiramis. M.: Geleos, 2007. 320 p. (in Russian).
6. Асадулаев З.М., Гасанов Г.Н., Мирзоев Э. М-Р, Газиев М.А., Баламирзоев М.А., Магомедов И.А. Курганный способ конденсации парообразной влаги в почве. Патент РФ № 2629228. 2017. Бюл. № 25.
7. Методы исследований в плодоводстве и виноградарстве. Саратов: СГАУ им. Н.И. Вавилова, 2014. 44 с.
Methods of researches in fruit growing and wine growing. Saratov: SGAU of N.I. Vavilov, 2014. 44 p. (in Russian).
8. Черенкова Е.А. Количественные оценки атмосферных засух в Европейской части России // Известия РАН. Серия географическая. 2013. № 6. С. 76–85.
Cherenkova Ye.A. Quantitative Evaluation of Atmospheric Drought in Federal Districts of the European Russia // Izvestiya RAN. Seriya geograficheskaya. 2013. № 6. P. 76–85 (in Russian).

УДК 633.112.1«321»:631.58:631.53.041(470.40/43)

ПРЯМОЙ ПОСЕВ ЯРОВОЙ ТВЁРДОЙ ПШЕНИЦЫ В СРЕДНЕМ ЗАВОЛЖЬЕ

Горянин О.И., Щербинина Е.В.

ФГБНУ «Самарский научно-исследовательский институт сельского хозяйства
имени Н.М. Тулайкова», пгт. Безенчук, Самарская область, e-mail: samniish@mail.ru

Представлены результаты исследований по испытанию трёх технологий возделывания яровой твёрдой пшеницы с прямым посевом (предшественник соя), в сравнении с традиционными (интенсивный и экстенсивный фон), на чернозёме обыкновенном за 2011–2017 гг. Результаты исследований в зернопаропашном севообороте свидетельствуют о том, что современные технологии не ухудшают водный режим почвы в осенний и весенне-летний периоды. Предпосевное внесение аммиачной селитры способствует увеличению содержания нитратов в период всходов культуры при традиционной технологии на 24,7 мг/кг (81,8%), при прямом посеве на 17,1–18,4 мг/кг (58,0–65,2%), обеспечивает наибольшую урожайность – 1,99–2,01 т/га зерна и более рациональный расход влаги на единицу продукции на 176–436 м³/т (13,8–37,8%) меньше значений, чем на других вариантах. В острозасушливые годы (ГТК менее 0,58) более рациональный расход влаги установлен на технологии прямого посева с интенсивным по минеральному питанию фоном – 1572 м³/т, при значениях на других вариантах – 2010–2611 м³/т. Увеличение ГТК до 0,65–0,94 обеспечило существенное возрастание урожайности, по сравнению с засушливыми годами до 1,69–2,40 т/га, которое способствовало значительному снижению коэффициента водопотребления до 1086–1539 м³/т при наилучших показателях на вариантах с применением удобрений и интегрированной защитой растений 1086–1205 м³/т. На основании исследований предлагается прямой посев яровой твёрдой пшеницы протравленными семенами, предпосевным внесением аммиачной селитры (N₃₀), с обработкой гербицидом по вегетации культуры – Секатор турбо, и двукратным применением контактных инсектицидов.

Ключевые слова: прямой посев, яровая твёрдая пшеница, интенсификация

DIRECT SEEDING OF SPRING DURUM WHEAT IN THE MIDDLE VOLGA

Goryanin O.I., Shcherbinina E.V.

Federal State Budget Scientific Institution «Samara Scientific Research Institute of Agriculture
named after N.M. Tulyaykov», Bezenchuk, Samara region, e-mail: samniish@mail.ru

The results of research on the test of three technologies of cultivation of spring durum wheat with direct sowing (soybean precursor), in comparison with traditional (intensive and extensive background), on ordinary Chernozem for 2011–2017 are presented. The results of studies in grain-crop rotation indicate that modern technologies do not worsen the water regime of the soil in the autumn and spring-summer periods. Pre-sowing application of ammonium nitrate increases the content of nitrates in the period of crop germination with traditional technology by 24.7 mg/kg (81.8%), with direct sowing by 17.1–18.4 mg/kg (58.0–65.2%), provides the highest yield – 1.99–2.01 t/ha of grain and a more rational moisture consumption per unit of production by 176–436 m³/t (13.8–37.8%) less than in other options. In acute dry years (SCC less than 0.58), a more rational moisture consumption is installed on direct seeding technology with an intensive background on mineral nutrition – 1572 m³/t, with values on other variants – 2010–2611 m³/t. an Increase in SCC to 0.65–0.94 provided a significant increase in yield, compared with dry years to 1.69–2.40 t/ha, which contributed to a significant reduction in the water consumption ratio to 1086–1539 m³/t with the best performance on variants with the use of fertilizers and integrated plant protection. 1086–1205 m³/t. On the basis of studies, it is proposed to direct sowing of spring durum wheat with etched seeds, presowing introduction of ammonium nitrate (N₃₀), with treatment with herbicide for crop vegetation – turbo Secator, and double use of contact insecticides.

Keywords: direct sowing, spring hard wheat, intensification

Основные направления ведения сельскохозяйственного производства в рыночных условиях, которые сложились в настоящее время в России – конкурентоспособность продукции, её востребованность и эффективность. Одним из путей решения данных требований в растениеводстве является разработка ресурсосберегающих технологий [1]. При этом в современных условиях особенно перспективно внедрение технологий прямого посева и производственных систем No-till, адаптированных к почвенно-климатическим условиям региона [2–5].

В засушливых условиях Заволжья основным лимитирующим фактором получения растениеводческой продукции является влага. Во втором минимуме, на большинстве чернозёмов региона с большим количеством фосфатов и обменного калия, находится азотный режим почв [6].

Для устранения этих недостатков необходимы мероприятия, направленные на накопление и сохранение запасов продуктивной влаги в корнеобитаемом слое, улучшение азотного режима почв.

Многочисленными исследованиями установлено, что при применении тех-

нологий прямого посева, по сравнению с традиционной технологией, сокращается испарение влаги из почвы, происходит накопление и сохранение органического вещества в верхнем слое, увеличивается защита почв от водной и ветровой эрозии, снижается количественная засорённость малолетними сорняками [2, 3, 5–8]. Распространению технологий прямого посева способствуют имеющийся ассортимент комбинированных посевных машин отечественного и зарубежного производства, гербицидов общего и избирательного действия [6].

В настоящее время самой перспективной зерновой культурой в богарных условиях Заволжья является яровая твёрдая пшеница. Новые, соответствующие мировому уровню сорта местной селекции позволяют получать в регионе урожай культуры на уровне 2,5–3,0 т/га [4]. Однако при этом недостаточно изучено влияние технологии прямого посева яровой твёрдой пшеницы на водный и питательный режимы почвы.

Вследствие этого целью исследований являлось определение при прямом посеве водопотребления, питательного режима на чернозёме обыкновенном Среднего Заволжья и их влияния на продуктивность яровой твёрдой пшеницы.

Материалы и методы исследования

Исследования проводили в зернопаропропашном севообороте (чистый пар – озимая мягкая пшеница – соя – яровая твёрдая пшеница – ячмень – подсолнечник) отдела земледелия и новых технологий ФГБНУ «Самарский НИИСХ». С 2011 по 2017 гг. изучали пять агротехнологий возделывания яровой твёрдой пшеницы:

1. Традиционная с ежегодной вспашкой на 22–24 см + протравливание семян + гербициды по вегетации культуры – Секатор турбо (контроль).

2. Контроль + предпосевное внесение аммиачной селитры (N_{30}) + инсектициды (Децис Профи – двукратно).

3. Ресурсосберегающая с прямым посевом культуры (АУП-18.05) + протравливание семян + гербициды по вегетации зерновых – Секатор турбо (Фон).

4. Фон + биопрепараты в кущение яровой пшеницы (Бионекс Кеми, Фитоспорин).

5. Фон + предпосевное внесение аммиачной селитры (N_{30}) + инсектициды (Децис Профи – двукратно).

В опыте высевали сорт пшеницы Безенчукская Нива. Почва изучаемого участка –

чернозем обыкновенный, малогумусный, среднемощный, среднесуглинистый.

Повторность опыта 3-кратная, размер делянок 1100 м².

По данным Безенчукской АЭ, в районе исследований среднегодовая температура воздуха составляет 5,4 °С, сумма активных температур (выше 10 °С) – 2800–3000 °С. Среднегодовое количество осадков равно 454,1 мм, ГТК мая-августа – 0,71.

При проведении исследований в большинстве лет отмечены засушливые условия. В 2012, 2014 гг. установлена весенняя (ГТК за вегетацию пшеницы = 0,65–0,68), в 2015 и 2016 гг. весенне-летняя засухи (ГТК = 0,45–0,57). В 2011 и 2013 гг. выявлены хорошие условия для ростовых процессов культуры (ГТК = 0,70–0,74). В 2017 г. при ГТК = 0,94 получена максимальная урожайность яровой твёрдой пшеницы.

В опытах проводились следующие учёты и наблюдения: влажность почвы – термостатно-весовым методом [9]. Нитраты определяли согласно ГОСТ 26951-86 [10].

Результаты учётов и наблюдений обрабатывали методом дисперсионного анализа на ЭВМ (Программа AGROS ver. 2.09).

Результаты исследования и их обсуждение

Соя является хорошим предшественником яровой твёрдой пшеницы. После её уборки не выявлено существенных изменений запасов продуктивной влаги в осенний период в зависимости от изучаемых вариантов. При традиционной технологии их количество составило 120,3–126,6 мм, на вариантах без осенней обработки – 119,5–122,7 мм (табл. 1).

Применение мульчи из измельчённой соломы при прямом посеве способствовало получению одинаковых с традиционной технологией запасов продуктивной влаги в период всходов яровой пшеницы. При этом в период наблюдений показатель не зависел от применяемых средств интенсификации.

Возделывание яровой твёрдой пшеницы по технологии прямого посева с использованием мульчи из соломы предшествующих культур создало благоприятные условия для сохранения влаги, снижения температуры поверхности почвы, по сравнению с традиционной технологией. В период всходов культуры содержание нитратов на естественном фоне по плодородию (1, 3, 4 варианты) не зависело от изучаемых технологий и составило 28,2–30,2 мг/кг (табл. 2).

Таблица 1

Весенние запасы продуктивной влаги в метровом слое при разных технологиях, мм

Годы	Технологии					НСР0,05
	1	2	3	4	5	
2011	123,2	112,4	121,5	124,7	139,1	20,9
2012	183,9	197,3	169,0	182,3	193,4	28,0
2013	141,5	157,7	169,8	168,6	172,1	27,7
2014	181,3	189,0	196,1	184,6	174,4	17,9
2015	176,5	156,5	161,4	161,3	167,7	37,1
2016	170,0	164,6	163,6	147,6	142,3	13,7
2017	174,6	153,5	161,4	170,0	185,7	15,8
среднее	164,4	161,6	163,3	162,7	167,1	22,3

Таблица 2

Содержание NO₃ под посевами яровой пшеницы в слое 0–40 см, мг/кг почвы (среднее за 2011–2017 гг.)

Период наблюдений	Технологии					НСР0,05
	1	2	3	4	5	
Весна	30,2	54,9	28,2	29,5	46,6	10,8
Осень	23,9	31,3	18,8	18,0	25,0	6,7

При анализе зависимости содержания нитратов в весенний период от абиотических факторов, воднофизических и химических свойств почвы на технологиях с ежегодной вспашкой установлена средняя прямая связь элемента с температурой воздуха за апрель – май ($r = 0,52$), количеством осадков за вневегетационный период сентябрь – апрель ($r = 0,58$) и относительной влажностью воздуха мая ($r = 0,77$). На технологии с прямым посевом (3 вариант) накопление NO₃ в наибольшей степени было сопряжено с количеством осадков апреля ($r = 0,70$).

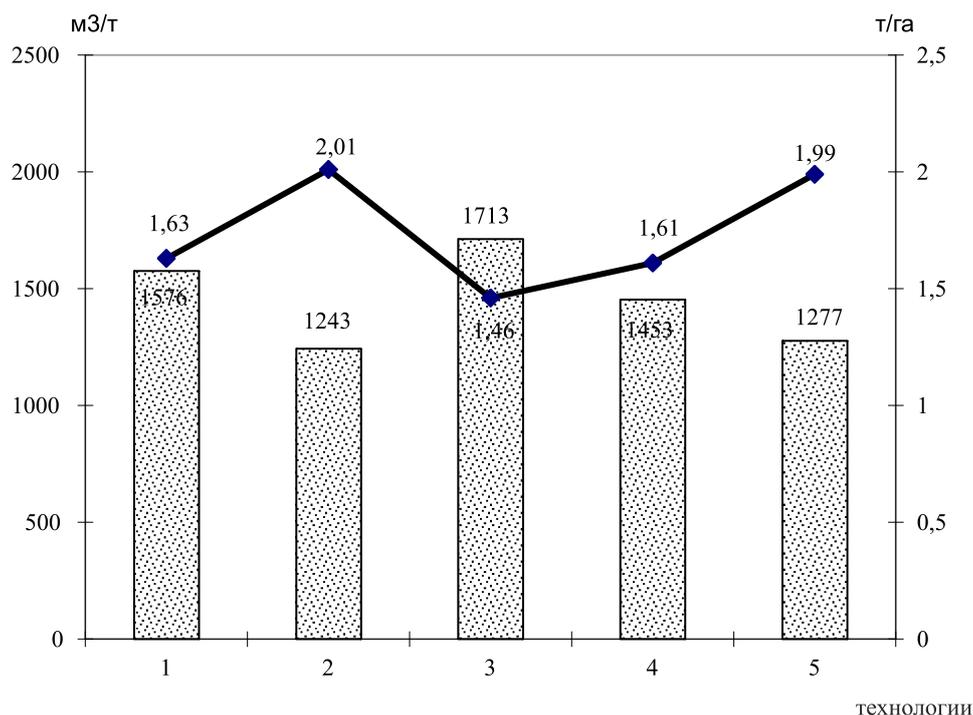
Предпосевное внесение аммиачной селитры обеспечило увеличение содержания нитратов в период всходов культуры при традиционной технологии на 24,7 мг/кг (81,8%), при прямом посеве на 17,1–18,4 мг/кг (58,0–65,2%). Содержание нитратов на этих вариантах в наибольшей степени зависело от температуры воздуха за апрель-май ($r = 0,65$).

За вегетационный период происходило потребление основных питательных веществ растениями и, соответственно, снижение их количества. Лучший водный и азотный режимы почвы при прямом посеве с применением азотных удобрений обеспечили лучшие условия для роста и развития растений и, соответственно, большее потребление азота по сравнению с экстенсивными по минеральному питанию вариантами (1, 3, 4 варианты). Вследствие

этого содержание NO₃ после уборки сельскохозяйственных культур, в зависимости от изучаемых систем основной обработки и уровня питания изменялось незначительно и составило 18,0–31,3 мг/кг почвы, при значениях на контроле 23,9 мг/кг (табл. 2).

Содержание нитратов в послеуборочный период при традиционной технологии находилось в существенной зависимости от климатических условий вегетационного периода яровой пшеницы. Коэффициент корреляции между содержанием элемента и количеством осадков и ГТК июня составил $-0,98^{**}$ – $-0,99^{**}$ соответственно. На технологии прямого посева (3, 4 варианты) выявлена обратная связь с количеством осадков вневегетационного периода сентябрь – апрель ($r = -0,90^{*}$ – $-0,96^{**}$). На всех изучаемых вариантах прямого посева установлена средняя прямая связь количества нитратов с запасами продуктивной влаги в весенний период в слое почвы 0–40 см ($r = 0,45$ – $0,64$).

При незначительном различии расхода влаги на единицу площади в зависимости от изучаемых технологий – 2499–2568 м³/га (традиционная) – 2339–2541 м³/га (прямой посев) и улучшении азотного режима почвы на интенсивных фонах выявлен более рациональный расход влаги – 1243–1277 м³/т, что на 176–210 м³/т (13,8–16,9%) меньше значений варианта с применением биопрепаратов в фазу кущения (4) (рисунок).



Коэффициент водопотребления и урожайность яровой твёрдой пшеницы при разных технологиях (2011–2017 гг.)

Применение интегрированной защиты растений и улучшение азотного режима почвы обеспечило наибольший урожай зерна пшеницы – 1,99–2,01 т/га, что достоверно ($HCp_{05} = 0,17$ т/га) выше остальных изучаемых вариантов на 0,35–0,55 т/га (21,3–37,7%). При снижении урожайности на экстенсивных по минеральному питанию фонах (1, 3, 4 варианты) установлено увеличение коэффициента водопотребления до 1576–1713 м³/т.

При прямом посеве не установлено ухудшения водного режима почвы, по сравнению с традиционной технологией и в осенний период. Наибольшие запасы продуктивной влаги в метровом слое почвы выявлены на вариантах с прямым посевом и традиционной технологией (интенсивный фон) – 44,3–51,4 мм, что на 4,1–11,2 мм (10,2–27,9%) больше традиционной технологии (экстенсивный фон).

В проведённых исследованиях установлено влияние ГТК вегетационного периода на коэффициент водопотребления яровой пшеницы при изучаемых технологиях. В годы с ГТК меньше среднемноголетнего значения (0,45–0,57) более рациональный расход влаги установлен на технологии прямого посева – 1572–2497 м³/т, при значении на традиционной – 2119–2611 м³/т.

При анализе влияния средств интенсификации на водный режим почвы наиболее экономное водопотребление установлено на интенсивном фоне. Здесь преимущество прямого посева, по сравнению с традиционной технологией, на единицу продукции, при максимальной урожайности из изучаемых вариантов 1,36 т/га составило 547 м³/т (34,8%), при абсолютных значениях 1572–2611 м³/т. На экстенсивном фоне при урожайности 0,90–1,07 т/га, что на 0,01–0,18 т/га (1,1–20,2) больше традиционной технологии, водопотребление снижалось на 114–601 м³/т (4,6–29,9%) (табл. 3).

Увеличение в годы проведения исследований ГТК более 0,65 обеспечило существенное возрастание урожайности, по сравнению с засушливыми годами до 1,69–2,40 т/га, которое обеспечило значительное снижение коэффициента водопотребления до 1086–1539 м³/т, при этом в эти годы также наиболее экономное расходование влаги было установлено на вариантах с применением удобрений и интегрированной защитой растений – 1086–1205 м³/т. При минимальной урожайности 1,69 т/га при прямом посеве без применения удобрений (3 вариант) выявлен наибольший коэффициент водопотребления – 1539 м³/т.

Таблица 3

Урожайность яровой твёрдой пшеницы в зависимости от ГТК вегетационного периода, т/га

Значения ГТК	Технологии					НСР _{0,05}
	1	2	3	4	5	
0,58 и менее	0,89	1,05	0,90	1,07	1,36	0,16
0,65 и более	1,97	2,40	1,69	1,82	2,25	0,18

Рациональный расход влаги на варианте с прямым посевом (максимальный уровень интенсивности) обеспечил наибольший условный чистый доход и уровень рентабельности – 10561,0 руб/га и 135,1% соответственно, что на 1534,3 руб/га и 34,3% больше традиционной технологии (интенсивный фон) и на 3826,4 руб/га и 47,0% традиционной технологии без применения удобрений и инсектицидов.

Выводы

Проведённые исследования в зернопаропропашном севообороте на чернозёме обыкновенном свидетельствуют о том, что современные технологии с прямым посевом яровой твёрдой пшеницы не ухудшают водный режим почвы, по сравнению с традиционной технологией. Предпосевное внесение аммиачной селитры способствует увеличению содержания нитратов в период всходов культуры при традиционной технологии на 24,7 мг/кг (81,8%), при прямом посеве на 17,1–18,4 мг/кг (58,0–65,2%), обеспечивая наибольшую урожайность – 1,99–2,01 т/га и более рациональный расход влаги на единицу продукции – на 176–436 м³/т (13,8–37,8%) меньше значений на других вариантах. В острозасушливые годы более рациональный расход влаги установлен на технологии прямого посева (интенсивный фон) – 1572 м³/т. Увеличение ГТК до 0,65–0,94 обеспечило существенное возрастание урожайности, по сравнению с засушливыми годами до 1,69–2,40 т/га, которое способствовало значительному снижению коэффициента водопотребления до 1086–1539 м³/т при наилучших показателях на вариантах с применением удобрений и интегрированной защитой растений 1086–1205 м³/т. На основании исследований предлагается прямой посев яровой твёрдой пшеницы протравленными семенами, предпосевным внесением аммиачной селитры (N₃₀), с обработкой гербицидом по вегетации культуры – Секатор турбо, и двукратным применением контактных инсектицидов.

Список литературы / References

1. Жученко А.А. Проблемы ресурсосбережения в процессах интенсификации сельскохозяйственного производ-

ства // Проблемы адаптивной интенсификации земледелия в Среднем Поволжье: сборник научных трудов (Посвящ. 135-летию со дня рождения Н.М. Тулайкова. ГНУ Самарский НИИЦХ). Самара: СамНИЦ РАН, 2012. С. 8–33.

Zhuchenko A.A. Resource-saving problems in processes of an intensification of agricultural production // Problem of an adaptive intensification of agriculture on average the Volga region: collection of scientific works (Posvyashch. to the 135 anniversary since the birth of N.M. Tulaykov. I BEND the Samara NIISH). Samara: SAMNZ RAHN, 2012. P. 8–33 (in Russian).

2. Аллен Ч.П. Прямой посев и минимальная обработка почвы. Пер. с англ. Пушкарёва М.Ф. М.: Агропромиздат, 1985. 208 с.

Allen Ch.P. Direct crops and minimum processing of the soil. The translation from English Pushkaryov M.F. M.: Agropromizdat, 1985. 208 p. (in Russian).

3. Нарушев В.Б., Одинокоев В.Е., Одинокоев Е.В., Косолапов Д.С. Влияние прямого посева на плодородие почвы и урожайность полевых культур в Саратовском Правобережье // Известия Оренбургского ГАУ. 2015. № 3 (53). С. 54–55.

Narushev V.B., Odinokov V.Ye., Odinokov Ye.V., Kosolapov D.S. Effect of Direct Sowing on Soil Fertility and Field Crops Yield Under the Conditions of Saratov Pravoberezhye. // Izvestiya Orenburgskogo GAU. 2015. № 3 (53). P. 54–55 (in Russian).

4. Горянин О.И., Горянина Т.А. Перспективы возделывания полевых культур в Среднем Заволжье // Успехи современного естествознания. 2018. № 4. С. 49–53. DOI: 10.17513/use.36724.

Goryanin O.I., Goryanina T.A. Aspects of Agricultural Crops Cultivating in the Middle Volga Region // Advances in Current Natural Sciences 2018. № 4. P. 49–53. DOI: 10.17513/use.36724 (in Russian).

5. Кроветто К. Прямой посев (No-till). Самара, 2010. 206 с.

Krovetto K. Direct crops (No-till). Samara, 2010. 206 p. (in Russian).

6. Концепция формирования современных ресурсосберегающих комплексов возделывания зерновых культур в Среднем Поволжье. Научный редактор, составитель В.А. Корчагин. Изд. 2-е., перераб. и доп. Самара, 2008. 88 с.

Concept of formation of modern resource-saving complexes of cultivation of grain crops on average Volga region. Scientific editor, originator V.A. Korchagin. Prod. the 2nd., reslave. and additional Samara, 2008. 88 p. (in Russian).

7. Дридигер В.К. Технологии прямого посева в Аргентине // Земледелие. 2013. № 1. С. 21–24.

Dridiger V.K. Technology of direct sowing in Argentina // Zemledelie. 2013. № 1. P. 21–24 (in Russian).

8. Дорошко Г.Р., Шабалдас О.Г., Зайцев В.К., Бородин Д.Ю. Прямой посев полевых культур и его эффективность // Земледелие. 2013. № 8. С. 20–23.

Dorozhko G.R., Shabaldas O.G., Zaitsev V.K., Borodin D.Yu. Direct sowing of field crops in the Stavropol region // Zemledelie. 2013. № 8. P. 20–23 (in Russian).

9. ГОСТ 28268-89. Почвы. Методы определения влажности, максимальной гигроскопической влажности и влажности устойчивого завядания растений. Введ. 1990-06-01. М.: Стандартинформ, 2000. 8 с.

10. ГОСТ 26951 – 86. Почвы. Определение нитратов ионометрическим методом. Введ. 1987-07-01. М.: Изд-во стандартов, 1984. 7 с.

УДК 633.15:631.527.53:631.527.541.2

ОЦЕНКА КОМБИНАЦИОННОЙ СПОСОБНОСТИ ЛИНИЙ КУКУРУЗЫ В ДИАЛЛЕЛЬНЫХ СКРЕЩИВАНИЯХ ПО ВЫСОТЕ ПРИКРЕПЛЕНИЯ ПОЧАТКА

Жужукин В.И., Зайцев С.А., Волков Д.П., Гудова Л.А.

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

В селекционной практике важное значение имеет отбор не только по признакам и свойствам исходного материала, но и по высокой комбинационной способности используемых форм. Результаты анализа комбинационной способности позволяют организовать работу с перспективными родительскими линиями, подобрать компоненты для получения новых высокогетерозисных гибридных комбинаций. В статье приводятся результаты оценки комбинационной способности самоопыленных линий кукурузы по высоте заложения початка при различной густоте стояния растений (восемь вариантов от 15 до 85 тыс. раст/га). Целью исследований является установление на разнообразном исходном материале (линии кукурузы) проявления эффектов ОКС и СКС по признаку «высота прикрепления верхнего початка». В эксперимент включены 8 линий (PH26, Мк 11, Мк 130 У, РСК7, РСК 25, Ук12 Д2, Х 46, Ом 255) и гибриды F₁ (28 комбинаций), полученные по диаллельной схеме (метод 2, модель 1). В результате оценки на комбинационную способность у линии Мк 11 отмечены высокие значения ОКС и СКС, отличающиеся стабильностью в различных условиях внешней среды, что позволяет использовать линию в синтетических сортах и для выделения ценных комбинаций по данному признаку. Нецелесообразно браковать линии РСК 25, Мк 130 У, у которых наряду с низким или средним эффектом ОКС выявлена высокая дисперсия СКС, так как такие линии могут использоваться для выделения ценных комбинаций скрещиваний. Линия Х 46, имеющая низкую ОКС и невысокую дисперсию СКС, не перспективна в использовании на увеличение признака «высота заложения початка».

Ключевые слова: кукуруза, линия, комбинационная способность, ОКС, СКС, признак, высота заложения початка, дисперсионный анализ, густота стояния

EVALUATION COMBINING ABILITY OF MAIZE LINES IN DIALLEL CROSSBREEDING BY HEIGHT ATTACHING THE COB

Zhuzhukin V.I., Zaytsev S.A., Volkov D.P., Gudova L.A.

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

In selection practice it is important to choose not only by characteristics and properties of the source material, but also by the high combinational ability of the forms used. The results of the analysis of combinational ability make it possible to organize work with prospective parent lines, to select components for obtaining new highly heterotic hybrid combinations. The results of the evaluation of the combinational ability of self-pollinated corn lines in the height of cob-laying at different plant density (eight variants from 15 to 85 thousand plants / ha) are given in the article. The aim of the research is to establish the effects of GCA and SCA on a variety of source material (maize line) on the basis of the "height of attachment of the upper cob". The experiment includes 8 lines (PH26, Mk 11, Mk 130 U, RSK7, RSK 25, Vk12 D2, X46, Om 255) and F₁ hybrids (28 combinations) obtained using a diallelic scheme (method 2, model 1). As a result of the evaluation of the combinational ability of the Mk 11 line, high values of GCA and SCA are noted, which are stable in various environmental conditions, that allows using the line in synthetic grades and isolating valuable combinations for this feature. It is inappropriate to discard the lines of RSK 25, Mk 130 Y, which, in addition to the low or medium effect of SCA, revealed a high dispersion of SCA, since such lines can be used to isolate valuable combinations of crosses. Line X 46, which has a low GCA and low dispersion of SCA, doesn't have potential in use for increasing the sign of the «cob-laying height».

Keywords: corn, line, combinational ability, GCA, SCA, trait, cob height, variance analysis, standing density

Внедрение зональных технологий возделывания кукурузы, новых высокопродуктивных гибридов является существенным резервом, обеспечивающим максимальное использование возможностей этой культуры [1]. В селекционной практике важное значение имеет отбор не только по признакам и свойствам исходного материала, но и по высокой комбинационной способности используемых форм. Анализ результатов комбинационной способности позволяет организовать работу с перспективными

родительскими линиями и подобрать компоненты для получения новых высокогетерозисных гибридов. Наиболее полную информацию о комбинационной способности селекционных форм получают в системе диаллельных скрещиваний [2, 3].

Высота прикрепления початка является важным морфологическим признаком, определяющим технологичность уборки кукурузы на зерно. Пороговой высотой прикрепления початка при уборке кукурузы с минимальными потерями считается 50 см.

Однако для высокорослых растений высота прикрепления початка требуется относительно низкая, так как конструктивные особенности кукурузоуборочных комбайнов не позволяют без потерь проводить уборку.

Многочисленными исследованиями установлено, что высота прикрепления початка определяется общей высотой растений. В зависимости от изучаемых объектов исследований в контроле высоты прикрепления початка выявлено различное проявление генов: аддитивное, доминантное, сверхдоминирование и эпистаз [3–5].

При анализе генетической основы общей и специфической комбинационной способности предполагается отсутствие эпистаза, который состоит из аддитивного проявления генов, а также средней доминантной, а СКС определяется в основном доминированием. В случае сверхдоминирования селекция на ОКС по определённому признаку считается неперспективной, а вероятность получить положительный эффект возрастает в селекции на СКС.

Для оценки комбинационной способности используются различные методы: свободное опыление, поликросс, топкросс и диаллельные скрещивания. С целью получения наиболее точной информации о СКС используются диаллельные скрещивания. В силу значительной трудоёмкости данного метода диаллельные скрещивания применяются на завершающем этапе селекции, когда исходный материал после предварительных и контрольных отборов включается в программы гибридизации. ОКС в меньшей степени зависит от варьирования условий окружающей среды, а для получения надёжной оценки СКС испытания проводятся в большем числе пунктов и в течение более длительного периода.

В условиях Нижнего Поволжья урожайность зерна гибридов кукурузы определяют в основном верхние початки. В случае образования второго початка, он, как правило, менее продуктивный и отстает в скорости снижения влажности зерна, что сдерживает начало уборки. Для оптимизации уборочных работ в сельскохозяйственном производстве предпочтение отдают однопочатковым высокоурожайным гибридам кукурузы, обеспечивающим синхронность уборки и сушки зерна [6].

Цель исследования: установление на разнообразном исходном материале (линий кукурузы) проявления эффектов ОКС и СКС по признаку «высота прикрепления верхнего початка».

Материалы и методы исследования

Исследования проводились на территории Саратовской области, г. Саратов, поля ФГБНУ РосНИИСК «Россорго». Климат региона характеризуется как резко континентальный и суровый. Гидротермический коэффициент (ГТК) во влажные годы – 1,20–1,45; в средневлажные – 0,70–0,95 и засушливые – 0,60–0,68. Среднегодовая сумма осадков – 360–455 мм.

Почва опытного участка – чернозем южный малогумусный среднетяжелосуглинистый. В пахотном слое содержание гумуса (по Тюрину) составляет 3,80–4,60%, общего азота – 0,17–0,22%, валового фосфора – 0,11–0,14%, калия – 1,10–1,38%, подвижного фосфора (по Мачигину) – 18,0–22,0 мг/кг, обменного калия (по Мачигину) – 280,0–320,0 мг/кг почвы; рН близка к нейтральной (рН_{сол} – 6,1; рН_{водн} – 7,0); сумма поглощенных оснований – 38,0–41,0 мг-экв/100 г почвы. Плотность почвы составляет 1,20–1,32 г/см³, наименьшая влагоемкость (НВ) слоя 0–30 см – 101,1 мм, слоя 0–100 см – 295,6 мм, влажность устойчивого завядания растений (ВУЗ) – 36,3; 151,4 мм соответственно.

Изучение комбинационной способности при различной густоте растений проводилось в 2016–2017 гг. В эксперимент включены гибриды, полученные по диаллельной схеме и их родительские линии (метод 2, модель 1 Гриффинга). Повторность – трехкратная. Учетная площадь делянки 7,7 м²; длина делянки 5,5 м. Густота стояния растений (15, 25, 35, 45, 55, 65, 75, 85 тыс. растений/га) формировалась вручную в фазу 3–5 листьев. Агротехника в опыте – зональная, разработанная в ФГБНУ РосНИИСК «Россорго». Для проведения учетов, наблюдений и оценки эффекта ОКС и дисперсии СКС изучаемых линий использовались соответствующие методики [4–6].

Агротехника возделывания включала вспашку (на 23 см), весеннее боронование (БЗСС-1), культивацию (КПС-4), посев кассетной сеялкой СКС-6-10, 2 междурядные обработки (КРН-2,8). Под предпосевную культивацию вносили гербицид гезагард (3,0 л/га), а в фазу 3–5 листьев – препарат Титус (40 г/га) + Тренда 90 (200 мл/га) (опрыскиватель ОНШ-600). Расход рабочей жидкости – 200 л/га.

Результаты исследования и их обсуждение

Дисперсионный анализ комбинационной способности линий кукурузы по высоте прикрепления початка при различном

количестве растений на 1 га позволил рассчитать средние квадраты (табл. 1). Отношения средних квадратов ОКС и СКС более 1, что указывает на преобладание аддитивных эффектов генов в контроле признака. Абсолютные значения средних квадратов ОКС несколько снижаются с увеличением густоты стояния, что свидетельствует о высокой наследуемости признака и о преобладающем влиянии генетической системы.

Исходя из результатов анализа данных диаллельной схемы, в 2016 г. отрицательными низкими значениями эффектов общей комбинационной способности (ОКС) по признаку «высота прикрепления початка»

характеризуется линия Х 46, а положительными высокими эффектами ОКС – линия Мк 11 (табл. 2). В 2016 г. выявлены нестабильные значения ОКС у линий Мк 130У, Ук12Д2, РСК 7. В 2017 г. низкие эффекты ОКС выявлены у линий РН 26, Х 46, Ом 255, высокие – Мк 130 У, Мк 11.

В 2016 г. относительно низкие значения дисперсии СКС отмечены у линий Ом 255, Х 46, а высокие – Ук 12 Д 2, Мк 130 У, Мк 11 (табл. 3). В 2017 г. относительно низкой дисперсией СКС характеризовались линии РН 26, Ук 12 Д 2, Ом 255, Х 46, а высокие значения дисперсии СКС отмечены у линий Мк 11, РСК 25.

Таблица 1

Дисперсионный анализ комбинационной способности по высоте початка растений

Средний квадрат	Число растений, тыс. шт/га							
	15	25	35	45	55	65	75	85
ОКС	156,9	122,1	91,6	140,2	91,4	107,1	103,1	98,2
	118,9	114,8	124,1	104,8	95,0	97,0	100,0	85,8
СКС	48,0	42,4	43,1	45,6	26,5	26,7	31,2	43,5
	52,5	46,1	29,0	32,2	28,5	33,3	27,3	28,4
ОКС/СКС	3,27	2,88	2,13	3,07	3,45	4,01	3,30	2,26
	2,26	2,49	4,28	3,25	3,33	2,91	3,66	3,02

Примечание. Числитель – эффект ОКС по высоте початка, 2016 г., знаменатель – эффект ОКС по высоте початка, 2017 г.

Таблица 2

Эффекты ОКС по высоте початка растений самоопыленных линий кукурузы

Линия	Число растений, тыс. шт/га							
	15	25	35	45	55	65	75	85
РН26	-1,97	-3,11	0,84	2,13	1,38	1,49	1,03	-0,23
	-2,75	-3,06	-3,29	-3,21	-2,22	-1,77	-2,10	-2,18
Мк 130 У	-0,62	1,80	-0,63	3,37	1,74	2,63	2,80	3,20
	4,91	5,36	3,77	2,34	3,30	3,19	1,93	2,00
Мк 11	6,64	6,20	4,87	4,76	4,82	5,30	5,07	4,79
	2,46	1,44	4,24	4,70	4,03	3,93	4,47	4,05
Ук12Д2	2,76	1,82	2,68	-0,27	0,54	-0,89	-0,34	0,35
	-0,82	-1,28	-1,46	-0,89	-0,54	0,11	0,28	1,06
РСК 25	0,54	0,38	0,77	0,06	-2,05	-2,77	-2,48	-1,78
	2,19	1,22	1,20	1,62	1,38	1,57	2,27	1,81
Ом 255	-2,46	-1,51	-2,40	-1,25	-1,28	-0,62	-0,94	1,24
	-1,22	-0,50	-0,92	-0,76	-2,62	-3,87	-3,12	-2,75
Х46	-6,66	-5,35	-4,93	-7,50	-5,45	-5,36	-5,50	-4,77
	-6,07	-5,58	-5,85	-5,38	-4,82	-4,47	-5,02	-4,73
РСК 7	1,77	-0,21	-1,20	-1,29	0,31	0,22	0,37	-2,81
	1,29	2,38	2,30	1,57	1,48	1,31	1,29	0,75
F _{факт}	17,2*	6,9*	9,2*	14,5*	7,0*	9,9*	13,1*	8,2*
	18,5*	26,7*	78,9*	35,9*	45,4*	46,0*	49,2*	42,4*
НСР (ОКС линий)	3,80	5,31	3,98	3,92	4,54	4,13	3,53	4,35
	3,19	2,61	1,58	2,15	1,82	1,83	1,79	1,79

Примечание. Числитель – эффект ОКС по высоте початка, 2016 г., знаменатель – эффект ОКС по высоте початка, 2017 г.

Таблица 3

Дисперсия СКС по высоте початка самоопыленных линий кукурузы

Линия	Число растений, тыс. шт/га							
	15	25	35	45	55	65	75	85
РН26	<u>27,38</u> 7,88	<u>42,63</u> 12,51	<u>24,29</u> 13,65	<u>28,30</u> 14,14	<u>21,51</u> 6,87	<u>16,83</u> 6,61	<u>12,51</u> 12,42	<u>24,62</u> 12,32
Мк 130 У	<u>47,04</u> 17,76	<u>16,84</u> 20,22	<u>24,54</u> 15,24	<u>49,68</u> 19,85	<u>16,27</u> 19,11	<u>13,49</u> 23,25	<u>28,37</u> 21,79	<u>43,82</u> 19,99
Мк 11	<u>47,46</u> 82,98	<u>40,43</u> 47,36	<u>35,28</u> 29,52	<u>47,20</u> 34,43	<u>16,58</u> 29,54	<u>23,06</u> 40,35	<u>27,80</u> 25,86	<u>44,86</u> 37,96
Ук12Д2	<u>61,75</u> 8,96	<u>50,83</u> 12,43	<u>67,83</u> 7,71	<u>50,21</u> 8,38	<u>24,82</u> 9,06	<u>29,62</u> 9,65	<u>29,91</u> 8,59	<u>29,16</u> 10,16
РСК 25	<u>30,00</u> 89,27	<u>41,02</u> 47,00	<u>37,39</u> 38,87	<u>41,47</u> 38,10	<u>25,52</u> 32,63	<u>30,44</u> 37,70	<u>25,06</u> 24,54	<u>21,80</u> 36,33
Ом 255	<u>36,77</u> 4,96	<u>18,14</u> 8,00	<u>12,75</u> 8,07	<u>16,55</u> 11,70	<u>11,88</u> 10,37	<u>15,03</u> 9,52	<u>19,61</u> 6,57	<u>16,28</u> 3,95
Х46	<u>34,93</u> 9,41	<u>25,80</u> 13,62	<u>30,80</u> 13,29	<u>10,60</u> 10,79	<u>9,23</u> 9,88	<u>5,79</u> 13,20	<u>8,04</u> 12,62	<u>5,48</u> 11,79
РСК 7	<u>34,42</u> 13,01	<u>54,19</u> 19,05	<u>23,68</u> 10,10	<u>25,76</u> 19,50	<u>35,18</u> 21,51	<u>22,14</u> 28,50	<u>26,48</u> 23,50	<u>35,07</u> 29,74
F _{факт}	<u>5,3*</u> 8,2*	<u>2,4*</u> 10,7*	<u>4,3*</u> 18,4*	<u>4,7*</u> 11,0*	<u>2,0*</u> 13,6*	<u>2,5*</u> 15,8*	<u>4,0*</u> 13,5*	<u>3,6*</u> 14,0*

Примечание. Числитель – дисперсия СКС по высоте початка, 2016 г., знаменатель – дисперсия СКС по высоте початка, 2017 г.

Для выявления лучших конкретных комбинаций были вычислены константы специфической комбинационной способности линий кукурузы по высоте прикрепления верхнего початка. Анализ показал определенную тенденцию проявления эффекта СКС в некоторых комбинациях.

В годы исследований эффекты СКС у гибридов кукурузы варьировали. В комбинациях РСК 7 / РСК 25, РСК 25 / Мк 130 У в 2016 г. отмечен высокий эффект СКС, но в 2017 г. они характеризовались низкими значениями. Относительная стабильность значений эффектов СКС отмечена у гибридов Ук 12 Д 2 / Мк 11, РСК 7 / Мк 130 У.

Генетический контроль признака «высота прикрепления початка» отражен различными авторами в публикациях. Однако, поскольку признак очень сложный, то и информация достаточно противоречива [2–5]. Значения генетического компонента «D», который характеризует аддитивное действие генов, в 2016 г. невысокие и только в двух случаях из восьми существенны, в 2017 г. достоверная аддитивность зарегистрирована во всех вариантах (табл. 4). Значения компонента F в большинстве случаев (87,5%) несут существенны, что свидетельствует о примерно равном соотношении рецессивных и доминантных генов.

Абсолютные значения компонента H_1 варьируют в 2016 г. и не выявлено определенной зависимости от густоты стояния растений. В 2017 г. значения компонента доминирования H_1 во всех вариантах значимы. Отношение $\sqrt{H_1/D}$ в 87,5% вариантах больше 1, что свидетельствует о положительной роли сверхдоминирования в контроле высоты прикрепления початка. Отношение H_1/H_2 во всех вариантах незначительно отличается от максимального (0,25), что указывает на равномерное распределение аллелей с отрицательными и положительными эффектами. Число групп генов, контролирующих высоту прикрепления початка и проявляющих доминирование, варьирует от 1 до 4. Проявляется определенная закономерность: в более благоприятных условиях 2017 г. во всех вариантах увеличивается количество генов, контролирующих проявление высоты прикрепления початка.

Влияние эпистатического взаимодействия генов проявляется в опыте с частотой 14,1%, доминирования – 15,6%, аддитивности – 70,3%. Наиболее часто эпистаз проявляется в скрещиваниях с участием линий Мк 11, РСК 25. У некоторых линий (РН 26, Мк 130 У, Ом 255) не установлено проявление эпистаза в контроле высоты прикрепления початка.

Таблица 4

Компоненты генетической дисперсии по высоте початка растений
самоопыленных линий кукурузы

Компонент	Густота стояния, тыс. растений/га							
	15	25	35	45	55	65	75	85
D	25,75* 67,46*	21,32 83,84*	15,00 57,84*	27,66 51,86*	4,83 34,84*	15,36 37,07*	26,63* 21,26*	13,50 60,18*
F	2,40 30,06	-8,39 8,79	0,42 15,73	-30,23 30,44*	-34,35 9,55	-0,42 8,57	-7,16 -3,81	3,09 30,20*
H ₁	142,80* 52,71*	61,48 68,40*	121,20* 66,79*	121,46* 83,38*	43,87 72,34*	66,46 77,21*	87,26* 67,04*	117,49* 60,93*
H ₂	121,98* 48,51*	56,39* 69,74*	113,03* 58,85*	117,61* 72,19*	46,25 67,11*	50,33 71,70*	79,09* 66,98*	111,20* 53,05*
h	19,01 163,34*	41,95* 201,04*	118,93* 188,15*	142,99* 126,13	47,09* 154,61*	80,81* 176,02*	112,01* 125,14*	124,69* 124,38*
E	21,67* 14,61*	22,50* 12,39*	25,90* 6,04*	29,69* 5,35*	38,78* 6,73*	28,69* 6,51*	22,66* 7,31*	28,46* 4,34*
fr PH26	43,63 -8,94*	15,45 7,29*	-32,23 6,64*	12,54 0,54	1,95 -8,75	-6,43 22,20	-17,31 0,97	-68,03 56,53*
fr МК 130 У	-115,5* 21,59	-22,60 17,60	-9,63 34,58	92,46 28,22	-44,76 29,46	30,80 24,92	54,10 -32,77	40,62 46,90*
fr МК 11	эпист. эпист.	42,31 эпист.	эпист. 65,23*	9,19 эпист.	23,72 эпист.	2,48 эпист.	26,32 57,46	57,06 116,97*
fr Ук12Д2	-14,00 29,20	эпист. 36,01	46,28 -25,94	-195,3* 30,37	-111,3* -13,55	эпист. -8,37	-64,54 -9,01	-62,09 23,65
fr РСК 25	17,80 128,75*	эпист. эпист.	21,48 эпист.	-104,45 96,35*	-117,1* 80,74*	-154,9* 76,20*	-69,93 эпист.	-7,30 эпист.
fr Ом 255	28,58 66,03*	3,16 53,55	58,58 25,84	16,56 20,80	8,21 14,76	77,99 -4,20	24,61 -34,48	107,48* 39,69
fr Х46	-2,44 -38,18	-18,15 -87,71*	-34,71 -76,24*	2,41 -46,10	-8,26 -56,84*	58,83 56,14*	33,55 эпист.	эпист. -105,53
fr РСК 7	58,76 11,99	-70,52 25,99	-46,83 79,99*	-75,32 82,91*	-27,33 21,04	-11,64 8,98	-44,07 -5,05	-46,10 эпист.
m11-m10	2,79 6,55	3,76 7,23	5,77 6,92	6,28 5,68	4,07 6,29	4,92 6,70	5,55 5,70	5,93 5,64
$\sqrt{H_1/D}$	2,35 0,88	1,70 0,90	2,84 1,07	2,10 1,27	3,01 1,44	2,08 1,44	1,81 1,78	2,95 1,01
H ₂ /4H ₁	0,21 0,23	0,23 0,25	0,23 0,22	0,24 0,22	0,26 0,23	0,19 0,23	0,23 0,25	0,24 0,22
$\sqrt{(4DH_1) + F/\sqrt{(4DH_1)-F}}$	1,00 1,00	1,00 1,00	1,00 1,00	1,00 1,00	0,96 1,00	1,00 1,00	1,00 1,00	1,00 1,00
h/H ₂	0,16 3,37	0,74 2,88	1,05 3,20	1,22 1,75	1,02 2,30	1,61 2,45	1,42 1,87	1,12 2,34

Примечание. Числитель – компоненты генетической дисперсии по высоте початка, 2016 г., знаменатель – компоненты генетической дисперсии по высоте початка, 2017 г.

Выводы

Таким образом, самоопыленные линии и гибриды кукурузы реагируют на изменение условий возделывания, что является причиной изменчивости оценок общей и специфической комбинационной способности. В результате оценки на комбинационную способность у линии Мк 11 отмечены высокие значения ОКС и СКС, отличающиеся стабильностью в различных условиях внешней среды, что позволяет использовать линию в синтетических сортах

и для выделения ценных комбинаций по данному признаку. Нецелесообразно брать линии РСК 25, Мк 130 У, у которых наряду с низким или средним эффектом ОКС выявлена высокая дисперсия СКС, так как такие линии могут использоваться для выделения ценных комбинаций. Линия Х 46, имеющая низкую ОКС и невысокую дисперсию СКС, не перспективна в использовании на увеличение признака «высота заложения початка».

Использование диаллельного анализа позволило провести оценку эксперимен-

тального материала самоопыленных линий кукурузы, включенных в рабочую коллекцию по созданию раннеспелых синтетических популяций и гибридов, пригодных для современной технологии возделывания в Нижневолжском регионе. Разрешающая способность метода оценки комбинационной способности позволила объективно оценить перспективность использования конкретных инцухт-линий кукурузы в селекции на оптимальную высоту прикрепления верхнего початка.

Список литературы / References

1. Жужукин В.И., Горбунов В.С., Зайцев С.А., Волков Д.П. Совершенствование методических подходов в селекции среднеранних гибридов кукурузы в Нижнем Поволжье // *Зерновое хозяйство России*. 2017. № 5. С. 25–29.
2. Zhuzhukin V.I., Gorbunov V.S., Zaytsev S.A., Volkov D.P. The improvement of breeding methods of middle-maturing hybrids of maize in Nizhnee Povolzhye // *Grain Economy of Russia*. 2017. № 5. P. 25–29 (in Russian).
3. Гульяшкин А.В., Чуйкин П.В., Анашенков С.С. Оценка комбинационной способности новых самоопыленных линий кукурузы с различной генетической // *Селекция. Семеноводство. Технология возделывания кукурузы: материалы научно-практической конференции. Пятигорск: «Кавказская здравница», 2012. С. 109–119.*
4. Gulnyashkin A.V., Chuykin P.V., Anashenkov S.S. Otsenk of combinational ability of the new self-pollinated lines of corn with various genetic // *Selection. Seed farming. Technology of cultivation of corn: materials of a scientific and practical conference. Pyatigorsk: «The Caucasian health resort», 2012. P. 109–119 (in Russian).*
5. Орлянский Н.А., Орлянская Н.А., Зубко Д.Г. Влияние густоты стояния растений на элементы структуры урожая диаллельных гибридов кукурузы // *Селекция гибридов кукурузы для современного семеноводства: материалы Всероссийской научно-практической конференции. Белгород, 2016. С. 301–313.*
6. Orlyansky N.A., Orlyanskaya N.A., Zubko D.G. Influence of density of standing of plants on elements of structure of a harvest of diallelic hybrids of corn // *Selection of hybrids of corn for modern seed farming: materials of the All-Russian scientific and practical conference. Belgorod, 2016. P. 301–313 (in Russian).*
7. Гульяшкин А.В., Варламова И.Н., Варламов Д.В. Оценка экологической пластичности и стабильности новых гибридов кукурузы // *Селекция гибридов кукурузы для современного семеноводства: материалы Всероссийской научно-практической конференции. Белгород, 2016. С. 265–271.*
8. Gulnyashkin A.V., Varlamova I.N., Varlamov D.V. Otsenk of ecological plasticity and stability of new hybrids of corn // *Selection of hybrids of corn for modern seed farming: materials of the All-Russian scientific and practical conference. Belgorod, 2016. P. 265–271 (in Russian).*
9. Супрунов А.И., Ласкин Р.В., Соболева Н.П. Селекционная ценность новых раннеспелых линий кукурузы // *Селекция. Семеноводство. Технология возделывания кукурузы: материалы научно-практической конференции. Пятигорск, 2012. С. 77–85.*
10. Suprunov A.I., Laskin R.V., Soboleva N.P. Selection value of new early ripe lines of corn // *Selection. Seed farming. Technology of cultivation of corn: materials of a scientific and practical conference. Pyatigorsk, 2012. P. 77–85 (in Russian).*
11. Сотченко В.С. Перспективы возделывания кукурузы для производства высокоэнергетических кормов // *Селекция. Семеноводство. Технология возделывания кукурузы: материалы научно-практической конференции. Пятигорск, 2009. С. 12–22.*
12. Sotchenko V.S. The prospects of cultivation of corn for production of high-energy forages // *Selection. Seed farming. Technology of cultivation of corn: materials of a scientific and practical conference. Pyatigorsk, 2009. P. 12–22 (in Russian).*

УДК 631.617:630*114.445.2:631.41

ИЗМЕНЕНИЕ КАЛИЙНОГО СОСТОЯНИЯ СОЛОНЦОВ ПРИ ДЛИТЕЛЬНОМ АГРОЛЕСОМЕЛИОРАТИВНОМ ВОЗДЕЙСТВИИ

Кулакова Н.Ю.

ФГБУН «Институт лесоведения» РАН, п/о Успенское, Московская область,
e-mail: nkulakova@mail.ru

В полупустыне Северного Прикаспия солонцы составляют около 25% территории. Главной задачей при хозяйственном освоении почв солонцового комплекса является рассоление и рассолонцевание солонцов. Альтернативой дороговому и часто экологически опасному орошению солонцовых почв являются разработанные на Джаныбекском стационаре ИЛАН РАН приемы агролесомелиорации. Они включают плантажную вспашку, разрушающую солонцовый горизонт и вовлекающую в пахотный слой гипс, залегающий под солонцовым горизонтом, для рассолонцевания солонцов, посадку лесных кулис, собирающих дополнительное количество снега для рассоления почв. В работе исследовались почвы лесомелиоративной системы с узкими 18-метровыми межкулисными пространствами и однорядными кулисами из вяза приземистого (*Ulmus pumila* L.) (Государственная защитная лесная полоса Чапаевск – Владимировка 1951 г. посадки) и почвы под естественными растительными ассоциациями. Межкулисное пространство практически не использовалось под сельскохозяйственные культуры, но почву ежегодно вспахивали для сокращения потерь влаги и поддержания процессов рассолонцевания. Цель работы заключалась в оценке калийного состояния целинных и мелиорированных солонцов. Показано, что запасы необменного и легкообменного калия в солонцах, расположенных между лесными кулисами, не изменяются, обменного калия – снижаются, а в почве под кулисами запасы всех форм калия увеличиваются. Изученные солонцы характеризуются невысокими величинами ΔK_1 , $AR_{ог}$ и AR_0 по всему профилю. В солонцовых горизонтах значения фактора интенсивности (AR) минимальны по профилю, что связано с уменьшением активности ионов K^+ . В пахотных горизонтах относительно гумусовых горизонтов целинных почв происходит изменение термодинамических показателей – увеличение значений калийного потенциала и буферности почв по отношению к калию, что свидетельствует об ухудшении обеспеченности растений калием.

Ключевые слова: солонцы, Северный Прикаспий, агролесомелиоративные системы, калийное состояние почв

CHANGE IN POTASSIUM STATUS OF SOLONETZES UNDER LONG-TERM AGROFOREST RECLAMATION

Kulakova N.Yu.

*Institute of Forest Science, Russian Academy of Sciences (ILAN), Uspenskoe, Moscow region,
e-mail: nkulakova@mail.ru*

Solonetztes occupy about 25% of semidesert plain area in Northern Caspian Sea region. The major concern of Solonetz soil complex economic development is desalinization and desolining of solonets. The agroforestry reclamation methods developed at the Dzhanybek Research Station of the Institute of Forestry of the RAS are alternatives to expensive and often ecologically dangerous irrigation of solonetz soils. These include deep-plowing to destroy the solonetzic horizon and admix gypsum lying beneath, to disintegrate solonets, planting shelterbelts to accumulate additional amounts of snow for desalinization of soils. In this paper, we studied the soil of forest-reclamation system with narrow 18-meter inter-cusp spaces and single-row scenes of elm shelterbelts (*Ulmus pumila* L.) of the State protective shelterbelts of Chapaevsk-Vladimirovka (planted in 1951) and the soil under native plant associations. The soil was plowed annually to reduce moisture losses and solonetzic alkalinity. The aim of the work was to estimate the potassium status in virgin and reclaimed solonetztes. Due to agroforest reclamation procedures the stocks of non-exchangeable and readily exchangeable potassium in solonetztes located between shelterbelts do not change, the stocks of exchangeable potassium decrease, and the stocks of all forms of potassium in the soil beneath the shelterbelt increase. Studied solonetztes are characterized by low values of ΔK_1 , $AR_{ог}$, and AR_0 throughout the profile. In sodic horizons, values of intensity factor (AR) are minimal in the profile that is associated with decrease in the activity of K^+ ions. In arable horizons thermodynamic parameters are changing compared to humus horizons of virgin soils. The values of potassium potential and soil buffering capacity with respect to potassium increase, which indicates a deterioration in the potassium availability.

Keywords: solonetztes, Northern Caspian Sea region, forest reclamation systems, potassium status of soils

Основной задачей при хозяйственном освоении почв солонцового комплекса является рассоление и рассолонцевание солонцов. Для этой цели на Джаныбекском стационаре Института лесоведения РАН в 1950-х гг. были разработаны методы, включающие плантажную вспашку для вовлечения в пахотный слой гипса и рассолонцевания солонцов, посадку лесных

кулис, собирающих дополнительное количество снега для рассоления почв. Эти мероприятия, необходимые для выращивания с/х культур и лесных насаждений [1] без дополнительного орошения, приводят к перераспределению питательных веществ в почвенном профиле [2; 3] и изменению их подвижности. Калий необходим в различных биохимических процессах, спо-

собствующих адаптации растений к засухе и засолению почв: участвует в процессах открытия и закрытия устьиц, поглощения влаги корневыми клетками. Калий конкурирует с натрием в процессе поглощения растениями. Дефицит калия в почве может приводить к усилению потребления натрия, что сопровождается инактивацией ферментов и нарушением метаболизма. Для характеристики калийного состояния почв недостаточно исследование экстенсивных показателей – содержания различных форм элемента в почве. Для оценки доступности растениям калия важным показателем является буферная способность почв по отношению к калию (ПБС^к). Величина ПБС^к представляет собой отношение фактора емкости к фактору интенсивности ($\Delta K_0/AR_0$) и характеризует способность почвы поддерживать в равновесном растворе определенный уровень соотношения $a_{K^+}/a_{(Ca^{2+} + Mg^{2+})}$ при снижении количества калия за счет потребления его растениями и участия в реакциях обмена [4].

Цель работы заключалась в оценке калийного состояния целинных и мелиорированных солонцов: буферности почв по отношению к калию, запасам необменного, обменного и легкообменного калия.

Район исследований находится в глинистой полупустыне Северного Прикаспия. Почвенный покров характеризуется комплексностью. Солонцы занимают от 40 до 50% площади межпадинной равнины [5]. Солевой режим целинных и мелиорированных солонцов подробно исследован [6; 7]. Освещены особенности состояния и динамики нативных экосистем солонцового комплекса [8].

Материалы и методы исследования

Объектами исследования были почвы под естественными растительными ассоциациями и почвы Государственной защитной лесной полосы Чапаевск – Владимировка (1951 г. посадки). Однорядные кулисы из вяза приземистого (*Ulmus pumila L.*) разделяются 18-метровым межкулисным пространством, которое практически не использовалось под сельскохозяйственные культуры, но ежегодно вспахивалось для сокращения потерь влаги и поддержания процессов рассолонцевания. Мелиорированные почвы находятся как под влиянием агролесомелиоративных приемов, так и под воздействием самих лесных культур, так как корневые системы деревьев распространяются как минимум на 10 м от края кулисы.

Определяли необменный калий по методу Пчёлкина, обменный – по методу Масловой в образцах из верхних генетических горизонтов шести целинных солонцов и девяти мелиорированных (в шести, находящихся в межкулисном пространстве, и трёх – под кулисой вяза приземистого). Легкообменный калий определяли в 0,2 н CaCl₂ вытяжке, ПБС^к – по методу Беккета в образцах из генетических горизонтов трёх целинных и трех мелиорированных солонцов межкулисного пространства и одного солонца под кулисой вяза.

Результаты исследования и их обсуждение

Запасы разных форм калия в исследуемых солонцах

Процесс биогенного накопления калия охватывает верхнюю 30–40 см толщу, в которой находится основная масса корней растений.

К микроповышениям, занятым солонцами, часто приурочены сусликовины, верхняя часть некоторых микроповышений сложена из перемешанного материала более нижних горизонтов [9]. Поэтому солонцы отличаются большим разнообразием свойств верхней части профиля, в частности, характеризуются пестрыми значениями содержания необменного калия (от 11 до 35 ммоль экв/кг в верхней 40 см толще). В условиях агролесомелиорации эта пестрота нивелируется.

Достоверных изменений в накоплении необменных форм калия в пахотных горизонтах межкулисных солонцов относительно соответствующих им по глубине целинных горизонтов не обнаруживается. Запасы необменного калия под кулисой вяза приземистого на всех исследуемых глубинах существенно выше, чем на других участках (табл. 1).

В верхнем слое целинных солонцов мощностью 40 см запасы обменного калия составляют в среднем 36,2 ммоль/га (табл. 1). В мелиорированных солонцах межкулисного пространства эта величина ниже, уменьшение достоверно для слоев 0–3 и 3–20 см. В солонце под кулисой запасы обменного калия в слое 0–40 см в 1,7 раза выше, чем на целине, увеличение достоверно для глубин 3–20 и 20–40 см (табл. 1). Слой аккумуляции обменных форм калия в солонцах соответствует мощности надсолонцового и солонцового горизонтов 0–28 (30) см. Содержание обменного калия в мелиорированных со-

лонцах и в солонцах под целинной растительностью составляет в этом слое от 6 до 10 ммоль экв/кг, что, учитывая тяжело-суглинистый гранулометрический состав почв, позволяет отнести их к оптимально обеспеченным по калию [10].

Достоверных различий в запасах легкообменного калия в 40 см слое мелиорированных солонцов межкулисного пространства и целинных солонцов не обнаруживается, а под кулисой вяза они в 2,6 раза выше (табл. 1).

Термодинамические показатели калийного состояния солонцов

Изотермы обмена, полученные для изучаемых почв, состояли из двух прямолинейных участков, с несколько различающимися углами наклона к оси абсцисс (рисунок), лишь одна изотерма имела прямолинейную форму (горизонт В_{2Ca}). Для расчета термодинамических параметров пользовались несколькими показателями буферности почв. Линейную буферность рассчитывали по линейному уравнению для всех точек изотермы прямолинейной формы или для точек верхнего отрезка изотермы в случаях, когда изотермы состояли из двух отрезков.

Тангенциальную буферность рассчитывали по линейному уравнению для нижних отрезков изотерм, состоящих из двух прямолинейных участков.

Значения AR_{o}^{otg} и AR_{o} . Показатель AR_{o} [$AR_{o} = (a_{K^{+}}/\sqrt{(a_{Ca^{2+}} + a_{Mg^{2+}})})$] в растворе, из которого почва не поглощает и в который не отдает калий [4], определяли как отрезок, отсекаемый продолжением верхней части изотермы на оси абсцисс; показатель AR_{o}^{otg} – как

отрезок, отсекаемый нижней частью изотермы на оси абсцисс. В целинных солонцах в гумусовых горизонтах наблюдаются максимальные значения AR_{o} и AR_{o}^{otg} , что связано с накоплением калия в органических остатках. Значения AR_{o}^{otg} здесь изменяются от 2×10^{-3} до $4,2 \times 10^{-3}$ (моль)^{1/2} (табл. 2).

В солонцовом горизонте целинных почв величины AR_{o} или AR_{o}^{otg} существенно понижаются, что может объясняться участием Na и Mg в реакциях обмена и более низкими значениями активности ионов K^{+} в солонцовых горизонтах, чем в гумусовом и подсолонцовых [11].

Некоторое повышение значений AR_{o}^{otg} в горизонтах, содержащих гипс, может быть связано с осаждением гипса при введении хлорида кальция в систему, содержащую сульфаты натрия, и уменьшением в связи с этим активности ионов кальция. В пахотных горизонтах мелиорированных солонцов значения AR_{o}^{otg} примерно соответствуют средним значениям AR_{o}^{otg} в солонцовом и надсолонцовом горизонтах целинных почв. Исключение составляет участок под кулисой. Здесь на всю глубину пахотного горизонта соотношение $a_{K^{+}}/\sqrt{a_{Ca^{2+}}}$ существенно выше, чем в других разрезах пахотных почв, что связано с накоплением калия.

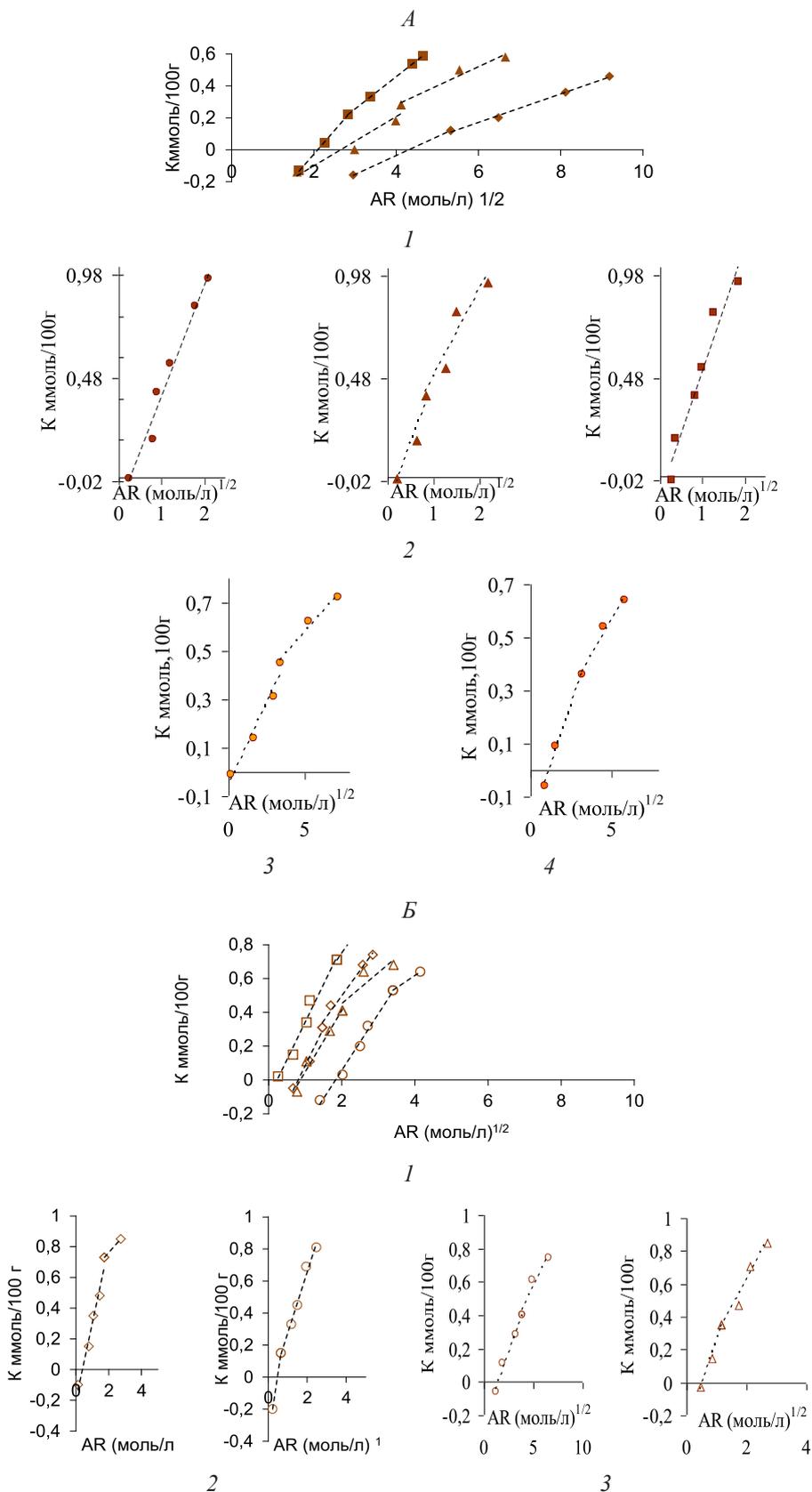
В разрезе мелиорированного солонца участка 6 пахотный горизонт характеризуется такими же низкими значениями AR_{o}^{otg} , как солонцовый горизонт целинных почв, что соответствует и значениям ΔK_L в этом горизонте. Это может быть связано, в частности, с увеличением доли участия солонцового горизонта в формировании этого пахотного слоя.

Таблица 1

Запасы разных форм калия в солонцах, ммоль/га
(показаны доверительные интервалы *при n = 6, $\alpha \leq 0,05$, ** при n = 3, $\alpha \leq 0,05$)

Глубина, см		0–3	3–20	20–40	0–40
необменный					
Целинные*		10,8 ± 2,2	60,8 ± 19,3	61,1 ± 10,9	132,6 ± 32,7
мелиорированные	A*	10,2 ± 0,9	58,5 ± 4,7	63,7 ± 6,4	132,4 ± 11,0
	B**	13,2 ± 1,7	87,7 ± 6,7	102,1 ± 2,7	203 ± 10,5
обменный					
Целина*		4,3 ± 0,5	16,4 ± 1,7	15,6 ± 2,5	36,2 ± 1,9
мелиорированные	A*	2,4 ± 0,1	13,7 ± 1,0	15,1 ± 0,7	31,1 ± 1,7
	B**	4,2 ± 0,7	23,5 ± 1,7	25,8 ± 2,1	53,5 ± 4,5
легкообменный					
Целина**		0,6 ± 0,1	1,3 ± 0,5	0,7 ± 0,5	2,6 ± 0,2
мелиорированные	A**	0,1 ± 0,1	0,9 ± 0,5	0,9 ± 0,5	2,0 ± 0,8
	B	0,5	2,8	3,3	6,7

Примечание. А – солонцы межкулисного пространства, В – под лесной кулисой.



Изотермы обмена $K^+ - Ca^{2+}$ в солонцах. А – в целинных солонцах: 1 – в гумусовых горизонтах, 2 – в солонцовых горизонтах, 3 – в горизонте $B3_{CaCs}^2$, 4 – в горизонте $B3_{CaCs}^2$. Б – в мелиорированных солонцах: 1 – в пахотных горизонтах, 2 – в горизонтах $B3_{Ca}$, 3 – в горизонтах $B3_{CaCs}^2$

Таблица 2

Термодинамические показатели калийного состояния солонцов

Условия	№ участка	Глубина	Параметры линейной буферности			Параметры тангенциальной буферности			ΔK_x ммоль/ 100 г	КП	
			ΔK_0 и ΔK_0^* ммоль/ 100 г	$AR_0 \times 10^{-3}$ (моль) ^{1/2}	ПБС ^к	ΔK_L ммоль/ 100 г	$AR_{0lg} \times 10^{-3}$ (моль) ^{1/2}	ПБС ^к или ПБС ^{тг}			
Целина	1	0–6	<i>0,37</i>	<i>4,11</i>	<i>90</i>	0,50	4,25	120	0,13	2,37	
		6–28	0,14	0,26	536				–	3,58	
		28–68	–	–	–	0,21	1,17	179	–	2,93	
		68–140	–	–	–	0,06	0,43	140	–	3,36	
	2	0–9	<i>0,20</i>	<i>1,67</i>	<i>120</i>	0,41	2,73	154	0,21	2,56	
		9–33	–	–	–	0,16	0,27	629	–	3,57	
	3	0–9	–	–	–	0,54	2,08	260	–	2,68	
		9–28	–	–	–	0,13	0,20	657	–	3,70	
Мелиорация	Межкулисное пр.	4	0–31	<i>0,10</i>	<i>0,33</i>	<i>299</i>	0,55	0,94	544	0,45	3,02
			31–40	–	–	–	0,20	0,30	694	–	3,52
			40–84	–	–	–	0,17	0,38	448	–	3,42
			84–134	–	–	–	0,24	1,41	170	–	2,85
	5	0–38	–	–	–	0,32	0,89	360	–	3,05	
	6	0–44	–	–	–	0,13	0,27	488	–	3,57	
	Кулиса	7	0–43	–	–	–	0,60	1,83	328	–	2,74
			43–77	–	–	–	0,12	0,3	397	–	3,52
			77–130	–	–	–	0,29	0,54	537	–	3,27

Примечание. *Курсивом выделены показатели линейной буферности, рассчитанные для верхних прямолинейных участков изотерм. **Жирным шрифтом выделены показатели линейной буферности, рассчитанные для изотермы, имеющей прямолинейную форму.

Все значения калийного потенциала (КП) в солонцовых почвах рассчитывались по показателям AR_{0lg} , полученным при пересечении с осью абсцисс нижних участков изотерм обмена или их продолжений. Только в одном случае, когда изотерма обмена имела прямолинейную форму, использовалось значение AR_0 (табл. 2). На основе величины КП, вычисляемого как $IgAR_0$, возможна классификация почв по обеспеченности растений калием [4]. Значения КП, рассчитанные для гумусовых горизонтов (2,37–2,68), свидетельствуют о недостаточном уровне калийного питания растений в целинных солонцах. В мелиорированных солонцах условия снабжения растений калием ухудшаются, что подтверждается повышенными значениями калийного потенциала (2,74–3,03).

Значения ΔK_0 и ΔK_L . Для изотерм, состоящих из двух участков, имеющих разный угол наклона к оси абсцисс, значения ΔK_0 соответствовали отрезку, отсекаемому на оси ординат продолжением верхнего прямолинейного участка изотермы обмена. Этот показатель характеризует резерв калия на неспецифических адсорбционных позици-

ях [4]. Значения ΔK_L для таких изотерм соответствовали отрезку, отсекаемому на оси ординат продолжением нижнего более крутого участка изотерм обмена. Показатель ΔK_L (табл. 2) отражает содержание калия как на специфических, так и на неспецифических адсорбционных позициях.

Прямая форма изотерм свидетельствует об однородности обменных центров. Так как это суммарное количество обменного калия, переходящего в раствор с обменных позиций, то этот показатель мы назвали ΔKL , так же, как и показатель, характеризующий общее количество обменного калия для изотерм непрямолинейной формы.

В целинных почвах наибольшие значения ΔK_L (0,4–0,54 мг экв/100 г почвы) приходятся на гумусовый надсолонцовый горизонт (табл. 2), в солонцовом и подсолонцовых горизонтах значения ΔK_L уменьшаются (в среднем до 0,19 мг экв/100 г), что связано с уменьшением притока биогенного калия на глубине и, возможно, с влиянием ионов Na^+ и Mg^{2+} на адсорбцию калия. В условиях агролесомелиорации в пахотных горизонтах межкулисных солонцов значения ΔK_L в среднем составляют

0,3 мг·экв/100 г; в два раза более высокие значения ΔK_L в пахотном горизонте разреза под кулисой вяза приземистого объясняются теми же причинами, что и высокое содержание здесь других форм калия.

Ниже по профилю мелиорированного солонца значения ΔK_L нигде не превышают 0,29 мг·экв/100 г почвы.

Значения ПБС^к. Основная часть экспериментальных точек на графиках изотерм для всех горизонтов расположена над осью абсцисс, т.е. в процессе определения ПБС^к в выбранном диапазоне соотношений активностей K^+ и Ca^{2+} почвы обладают способностью к поглощению калия.

Наименьшие значения буферности свойственны гумусовым горизонтам, а наибольшие значения – солонцовым горизонтам целинных почв (табл. 2). Первый факт объясняется наибольшим в профиле содержанием органического вещества в гумусовых горизонтах. Высокие значения ПБС^к_{tg} и ПБС^к в солонцовых горизонтах целинных солонцов связаны с резким уменьшением значений AR_{otg} и AR_o по сравнению с гумусовыми горизонтами из-за уменьшения величин активности здесь иона K^+ , что, в свою очередь, вызвано снижением активности K^+ в присутствии сульфат-иона и возможным участием в реакциях обмена Na и Mg. Ниже по профилю, в подсолонцовых горизонтах, значения ПБС^к вновь снижаются в соответствии с увеличением значений AR_{otg} в гипсовых горизонтах.

Значения ПБС^к_{tg} пахотных горизонтов выше, чем в гумусовых, и ниже, чем в солонцовых, что соответствует промежуточным значениям величин других показателей и объясняется участием надсолонцового и солонцового горизонтов в формировании пахотного слоя.

Выводы

Изученные солонцы характеризуются невысокими величинами ΔK_L , AR_{otg} и AR_o по всему профилю. В солонцовых горизонтах значения фактора интенсивности (AR) минимальны по профилю, что связано с уменьшением активности ионов K^+ .

По всему профилю в мелиорированных солонцах значения буферности возрастают относительно целинных почв, а значения КП, рассчитанные по величинам AR_{otg} и AR_o , понижаются. В пахотных горизонтах уменьшаются запасы обменного калия. Это свидетельствует об ухудшении условий калийного питания растений по сравнению с солонцами целинных экосистем.

Лесомелиоративные мероприятия на почвах солонцового комплекса не оказывают заметного влияния на содержание и запасы

необменных и легкообменных форм калия в межкулисном пространстве.

Отмечено отчетливое накопление исследованных форм калия непосредственно под кулисой вяза, что можно объяснить изменениями в биологическом круговороте, аккумуляцией кулисой органических остатков и пыли.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 18-04-00246).

Список литературы / References

1. Сиземская М.Л., Сапанов М.К. Современное состояние экосистем и стратегия адаптивного природопользования в полупустыне Северного Прикаспия // Аридные экосистемы. 2010. Т. 16. № 5 (45). С. 15–24.

Sizemskaya M.L., Sapanov M.K. The Modern Condition of Ecosystems and Strategy of Adaptive Nature Management in Northern Pricaspian Semi-Desert // Arid ecosystems. 2010. V. 16. № 5 (45). P. 15–24 (in Russian).

2. Кулакова Н.Ю. Влияние лесомелиорации на содержание углерода и азота в почвах в условиях полупустыни // European Journal of Forest Research. 2012. Vol. 131. Issue 6. P. 1717–1726. DOI: 10.1007/s10342-012-0613-x.

3. Кулакова Н.Ю. Влияние лесомелиорации на содержание основных элементов питания в лугово-каштановой почве западин полупустыни Северного Прикаспия // Агротехника. 2010. № 5. С. 22–28.

N. Yu. Kulakova Effect of Forest Amelioration on the Content of Essential Nutrients in Meadow-Chestnut Soil in Microdepressions of the Northern Caspian Semidesert // Agricultural Chemistry. 2010. № 5. P. 22–28 (in Russian).

4. Соколова Т.А. Калийное состояние почв. М.: МГУ, 1987. 48 с.

Sokolova T.A. Potash condition of soils. M.: MSU, 1987. 48 p. (in Russian).

5. Роде А.А., Польский М.Н. Почвы полупустыни Северо-Западного Прикаспия и их мелиорация // Труды Почвенного института им. В.В. Докучаева. М.: АН СССР, 1960. Т. 56. С. 3–214.

Rode A.A., Polish M.N. Soils of the semi-desert of Northwest Prikaspiya and their melioration // Works of Soil institute. of V.V. Dokuchayev. M.: Academy of Sciences of the USSR, 1960. V. 56. P. 3–214 (in Russian).

6. Сиземская М.Л. Современная природно-антропогенная трансформация почв полупустыни Северного Прикаспия. М.: КМК, 2013. 276 с.

Sizemskaya M.L. Modern natural and anthropogenic transformation of soils of the semi-desert of Northern Prikaspiya. M.: KMK, 2013. 276 p. (in Russian).

7. Габченко М.В. Современное состояние засоленности почв солонцового комплекса района Джаньбекского стационара (Северный Прикаспий) // Почвоведение. 2008. № 3. С. 360–370.

Gabchenko M.V. Modern State of Soil Salinity in Solonchets Soil Complexes at the Dzhanybek Research Station in the North Caspian Region. Eurasian Soil Science. 2008. V. 41, № 3. P. 322–332 DOI: 10.1007/s11475-008-3010-1.

8. Сапанов М.К., Сиземская М.Л. Изменение климата и динамика целинной растительности в Северном Прикаспии // Поволжский экологический журнал. 2015. № 3. С. 307–320.

Sapanov M.K., Sizemskaya M.L. Climate Changes and the Virgin Vegetation Dynamics in the Northern Caspian Lowland // Povolzhskij e'kologicheskij zhurnal. 2015. № 3. P. 307–320 (in Russian).

9. Кулакова Н.Ю., Абатуров В.Д. Элементы азотного цикла в ландшафтах Северного Прикаспия // Биология. 2011. Т. 38. № 10. С. 992–996. DOI: 10.1134/S1062359011100098.

10. Якименко В.Н. К вопросу оценки калийного состояния почв агроценозов // Плодородие. 2009. № 4. С. 8–10.

Yakimenko V.N. Estimation of soil potassium status in agrocenoses // Plodorodie. 2009. № 4. P. 8–10 (in Russian).

11. Борзенко С.Г., Дронова Т.Я., Колесников А.В., Соколова Т.А., Толпешта И.И., Сиземская М.Л. Химико-минералогическая характеристика солончакового солонца и лиманной солонды // Вестник МГУ. Сер. 17: Почвоведение. 2003. № 3. С. 3–8.

Borzenko S.G., Dronova T.Ya., Kolesnikov A.V., Sokolova T.A., Tolpeshta I.I., Sizemskaya M.L. The chemical and mineralogical characteristic of saline solonetz and lemon malt // Vestnik MGU. Ser. 17: Pochvovedenie. 2003. № 3. P. 3–8 (in Russian).

УДК 635.044:633.63:631.8

ВЛИЯНИЕ СТИМУЛЯТОРОВ РОСТА НА МОРФОМЕТРИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ К НАЧАЛУ ФАЗЫ ПЛОДНОШЕНИЯ ТЕПЛИЧНОГО ОГУРЦА

Олива Т.В., Лицуков С.Д., Панин С.И.

*ФГБОУ ВО «Белгородский государственный аграрный университет имени В.Я. Горина»,
пос. Майский, Белгородская область, e-mail: olivatv@mail.ru*

Проведены исследования по изучению влияния стимуляторов роста на морфометрические показатели роста и развития растений огурца в фазу интенсивного вегетативного роста и перехода к плодоношению. Исследования проведены в условиях ООО «Сельскохозяйственное предприятие «Теплицы Белогорья» на партенокарпическом гибриде корнришона Кибрия F1. В научно-производственном опыте выращиваемые растения огурца на ватоминеральных кубиках с системой капельного полива дополнительно вегетативно обрабатывали гуминовыми удобрениями, микроудобрениями с природным стимулятором роста биофлавоноидом дигидрокверцетрином, экстрактом спирулины, с кремний- и селенсодержащим микроудобрениями. Проводили фенологические наблюдения и определяли морфометрические показатели: высоту растения, массу стебля и листьев, площадь листьев, длину и массу корневой системы, площадь всасывающей корневой поверхности. К 56 дню роста растения масса листьев и стебля во всех вариантах опыта была выше контрольных значений в среднем на 22–45% и на 5–22% соответственно. Под влиянием обработок площадь листовой поверхности огурца также увеличилась в среднем на 15–33%. Масса корневой системы опытных растений возросла в среднем в 1,1–1,7 раза. Наивысшая площадь всасывающей поверхности корневой системы обнаружена у растений огурца, обрабатываемых гуминовыми удобрениями и борным микроудобрением с биофлавоноидом. При аллокации фитомассы растения огурца обнаружено, что к 56 дню развития под влиянием вегетативных обработок у партенокарпического огурца в сравнении с контролем более интенсивно формируется стебель. Наивысшая высота растения обнаружена при использовании биологического удобрения БелБио-1, БелБио-3, Органомикс и кремнийсодержащего удобрения. У сформированной лианы огурца из опытных вариантов обнаружена корневая система с наивысшей площадью всасывающей поверхности. Таким образом, с помощью дополнительного вегетативного применения экологически безопасных удобрений можно управлять органогенезом растений культуры огурца и в дальнейшем повышать процессы плодообразования.

Ключевые слова: теплица, капельный полив, ватоминеральные кубики, гуминовые удобрения, микроудобрения, вегетативная фаза роста огурца, морфометрические показатели

INFLUENCE OF GROWTH STIMULANTS ON MORPHOMETRIC INDICATORS BY THE BEGINNING OF THE FRUITING STAGE OF THE HOTHOUSE CUCUMBER

Oliva T.V., Litsukov S.D., Panin S.I.

*Belgorod State Agrarian University named after V. Gorin, Mayskiy, Belgorod region,
e-mail: olivatv@mail.ru*

Researches of growth stimulants' influence upon morphometric indicators of cucumber growth and development in phase of intensive vegetative growth and transition to fructification has been made. Researches are conducted in conditions of LLC «Agricultural Enterprise «Teplitsy Belogorya» on parthenocarpic cornichon hybrid Kibriya F1. Within scientific and production experiment on grown-up cucumber plants on mineral cotton cubes with the system of drip watering were additionally vegetatively cultivated by humic fertilizers, microfertilizers with a natural growth stimulator bioflavonoid digidrokvertsetrin, spirulina extract, with silicium – and selenium-containing microfertilizer. Phenological observations were made and morphometric indicators were identified: plant height, stalk and leaves mass, the area of leaves, length and mass of root system, the area of the adsorbing rooted surface. By 56th day of plant growth the mass of leaves and stalk in all variants of experiment was above control values on average by 22–45% and by 5–22% respectively. Under the influence of treating the area of a leaf surface of a cucumber has also increased on average by 15–33%. The mass of root system of experimental plants increased on average 1,1–1,7 times. Maximum area of the absorption surface of root system was found in the plants of cucumber, treated by humic fertilizers and boracium microfertilizer with bioflavonoid. It was found out that at allocation of plant of cucumber phytomass by the 56th day of development under the influence of vegetative treatment in parthenocarpic cucumber in comparison with control the stalk was more intensively formed. The greatest height of a plant was achieved with the use of the biological fertilizer Belbio-1, Belbio-3, Organomiks and siliceous fertilizer. The root system with the most adsorbing rooted surface was registered with the formed cucumber liana from experimental variants. Thus, by means of additional vegetative use of ecologically-safe fertilizers it is possible to operate cucumber organofaction and further improve processes of fruit formation.

Keywords: greenhouse, drip watering, mineral cotton cubes, humic fertilizers, microfertilizers, vegetative growth phase of cucumber, morphometric indicators

У покупателей тепличных овощей круглогодичного цикла существует убеждение, что данная продукция может накапливать потенциально опасные для здоровья вещества. Поэтому выращивание

овощей в защищенном грунте с применением биологических удобрений будет влиять не только на качество, но и на отношение покупателей к овощной продукции. Применение разнообразных экологически без-

опасных стимуляторов роста, как альтернативы синтетическим, также повысит не только качество выходящей продукции защищенного грунта, но и существенно оздоровит экологическую ситуацию самого производства, что соответствует индикаторам и стратегии развития современного сельскохозяйственного рынка продукции.

Известно, чтобы получить высокий генетически запрограммированный урожай современных гибридов тепличных овощей, в том числе и огурца, при выращивании на малообъемном субстрате с использованием капельного полива необходимо регулировать периоды вегетативного и генеративного типа развития культуры. Так как рост вегетативных органов: корней, листьев, побегов – и генеративных органов: цветов и плодов – взаимосвязаны [1], необходимо разрабатывать приемы для управления органогенезом растений путем применения удобрений и стимуляторов роста растений для повышения процесса плодообразования.

Цель исследования: изучение влияния применения биологических стимуляторов роста на морфометрические показатели культуры огурца в период формирования вегетативного типа растения к началу фазы плодоношения. Задачей исследования было сравнительное изучение процесса развития надземной части и корневой системы организма растения тепличного огурца.

Материалы и методы исследования

Научно-производственный опыт был заложен и проведен в период зимне-весеннего оборота 2016 г. в условиях ООО СХП «Теплицы Белогорья». Предметом исследования был партенокарпический гибрид культуры огурца корнишон Кибрия F1. Данный гибрид включен в Государственный реестр и рекомендован к культивированию в зимне-весенних и весенне-летних оборотах. Растения огурца дополнительно к основному питательному раствору системы капельного полива вегетативно обрабатывали растворами удобрений в фазы появления первого листа, формирования 3–4 листа, после переноса растений в цех роста блок № 1 и через пятнадцать дней в фазу интенсивного роста, перед цветением и в фазу начала образования плодов. Схема опыта включала применение следующих удобрений: вариант 1 – гуминовое удобрение БелБио-1 в концентрации 0,001 %; вариант 2 – гуминовое удобрение БелБио-2 (0,001 %); вариант 3 – гуминовое удобрение БелБио-3

(0,001 %); вариант 4 – хелатное удобрение с природным стимулятором роста биофлавоноидом дигидрохверцетрином Органомикс (0,001 %); вариант 5 – хелатное удобрение с природным стимулятором роста биофлавоноидом дигидрохверцетрином Органобор (0,001 %); вариант 6 – раствор кремнийсодержащего удобрения (силикат натрия) в концентрации 0,01 %; вариант 7 – раствор селенсодержащего удобрения (селексена) в концентрации 0,01 %; вариант 8 – раствор экстракта из спирулины (0,01 %) и вариант 9 – контроль с дистиллированной водой. Применение биологических удобрений и стимуляторов роста представляют собой экологически безопасные методы повышения обменных процессов в организме растений [2, 3]. А так как питательный капельный раствор, применяемый в тепличном производстве овощей, не содержит кремний и селен, обработка растений этими микроудобрениями должна обеспечить повышение продуктивности культуры [4, 5]. Перед посевом семена огурца замачивали в растворах всех изучаемых удобрений в соответствии с вариантами опыта в течение 4 ч. Характеристика и состав удобрений, динамика всхожести семян, развития рассады культуры огурца к 24 дню роста после всходов описаны нами в предыдущих публикациях [6, 7]. Задача последующей работы – это формирование вегетативного типа растения огурца гибрида Кибрия F1 к началу периода плодообразования, а именно: сбалансированное развитие корневой системы и надземной системы органов. Растения огурца в ватоминеральных кубиках со сформированными шестью листьями перевозили в цех роста блока № 1 ООО СХП «Теплицы Белогорья» и ставляли на ватоминеральные маты. Всего в научно-производственном опыте было 720 растений. Проводили фенологические наблюдения, в возрасте культуры огурца 56 дней после всходов методом рандомизации отбирали по пять растений из каждого варианта для определения морфометрических показателей (высоты растения, массы стебля и листьев, площади листьев, длины и массы корневой системы, площади всасывающей корневой поверхности). Корневую систему растения огурца вручную выделяли из ватоминерального кубика (рис. 1), затем образцы отмывали, взвешивали и измеряли.

Площадь всасывающей поверхности корней и их длину определяли косвенным методом по известным формулам [8].



Рис. 1. Авторская фотография: выделение корней растения огурца из ватоминерального кубика

Обработку результатов исследования осуществляли с использованием программы Microsoft Excel.

Результаты исследования и их обсуждение

Влияние удобрений на морфометрические характеристики вегетативных надземных органов растения огурца на 56 сутки роста после всходов представлены в табл. 1.

Масса листьев во всех вариантах опыта была выше контрольных значений, и это различие получило подтверждение статистическим анализом. Самые большие весовые различия наблюдались после применения Органомикса и Силиката натрия: на 126,1 (44,5%) и на 82,87 г (34,5%) соответственно по сравнению с контролем ($p < 0,01$). Минимальную разницу показали БелБио-1 и Селексен – на 44,84 (22,2%) и на 47,34 г (23,1%) ($p < 0,05$) (рис. 2).

Весовые различия стеблей огурцов по отношению к контролю, в отличие от листовой массы, для вариантов с БелБио-1, Органобором и Селексеном статистически оказались недостоверными. Наиболее существенный прирост массы стебля ($p < 0,01$) наблюдался для вариантов с использованием Органомикса на 92,19 г (22,3%) и силиката натрия на 67,33 г (17,4%) по сравнению с контролем (рис. 3).

Площадь листовой поверхности, как и следовало ожидать, во всех вариантах опыта превышала уровень контрольных значений, и это различие подтвердилось статистическим анализом. Обработка огурцов Органомиксом и БелБио-3 сопровождалась значительным увеличением листовой поверхности на 2564,4 (32,8%) и на 2362,87 см² (31,0%) по сравнению с контролем при $p < 0,01$ (рис. 4).

Влияние удобрений на динамику развития корневой системы огурца Кибрия F1 к началу фазы плодоношения представлено в табл. 2. Масса корня опытных растений возросла в среднем в 1,1–1,7 раза.

Из данных таблицы также следует, что при выращивании культуры огурца гибрида Кибрия F1 вегетативное применение растворов изучаемых удобрений вариантов 1, 3, 5 и 7 максимально стимулировало развитие длины корневой системы по сравнению с контрольным вариантом. Отметим, что в фазу активного вегетативного развития лианы огурца, выращиваемой на ватоминеральных кубиках с ограниченным объемом субстрата и отсутствием ризосферных микроорганизмов, биологические гуминовые удобрения ничуть не уступают и в варианте 3 превосходят влияние хелатов с природным биостимулятором на процесс корнеобразования. Наивысшая площадь всасывающей

Таблица 1

Влияние удобрений на метрические характеристики надземных органов растения огурца (натуральное вещество), 56 сутки опыта

Вариант	Масса надземных органов 1 растения, г		Площадь листовой поверхности, см ² /1 растение
	листья	стебель	
БелБио-1	202,19 ± 12,74*	355,07 ± 12,43	6210,10 ± 264,3*
БелБио-2	221,10 ± 13,79*	361,76 ± 12,15*	7199,92 ± 286,2**
БелБио-3	228,05 ± 14,11**	363,81 ± 12,64*	7621,67 ± 294,5**
Органомикс	283,36 ± 14,43**	412,86 ± 13,65**	7823,20 ± 291,7**
Органобор	209,65 ± 13,23*	347,03 ± 12,91	6494,04 ± 271,3*
Силикат натрия	240,22 ± 14,18**	388,0 ± 13,74**	7094,87 ± 281,2**
Селексен	204,69 ± 13,12*	337,80 ± 12,32	6130,81 ± 273,4*
Экстракт спирулины	227,64 ± 13,45**	364,87 ± 13,16*	6883,40 ± 287,6**
Контроль	157,35 ± 13,47	320,67 ± 12,56	5258,80 ± 274,5

Примечание. * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$ по сравнению с контрольным вариантом.

поверхности корневой системы обнаружена у растений огурца, обрабатываемых гуминовыми удобрениями и Органобором. Влияние на экологическую пластичность организма растений в отношении изменения температуры, влажности и освещенности среды в условиях тепличного производства, развитая корневая система, образуя фитогормоны, инициирует рост и закладку стеблевых почек и определя-

ет дальнейшую продуктивность растений [9, 10]. Влияние удобрений на биометрические показатели растения огурца представлено в табл. 3. Наивысшая высота и масса надземной части растения огурца гибрида Кибрия F1 обнаружены при использовании для вегетативных обработок раствора силиката кремния, биологического гуминового удобрения БелБио-3 и Органомикса.

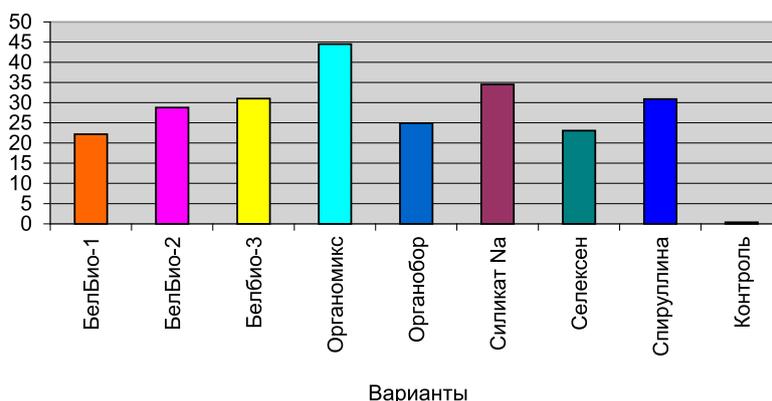


Рис. 2. Влияние удобрений на общую массу листьев растения огурца в процентах к контролю на 56 сутки опыта

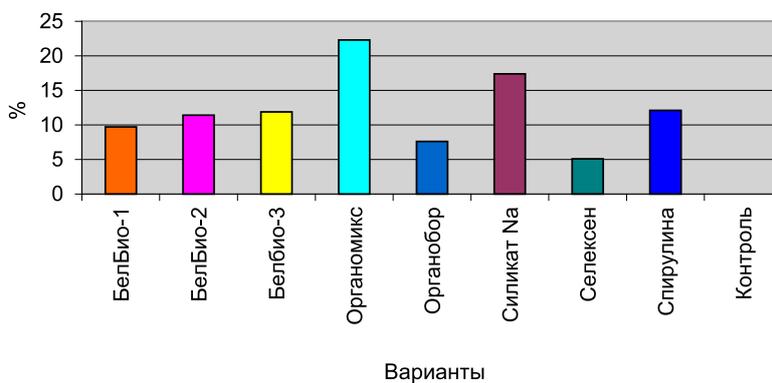


Рис. 3. Влияние удобрений на массу стебля растения огурца в процентах к контролю на 56 сутки опыта

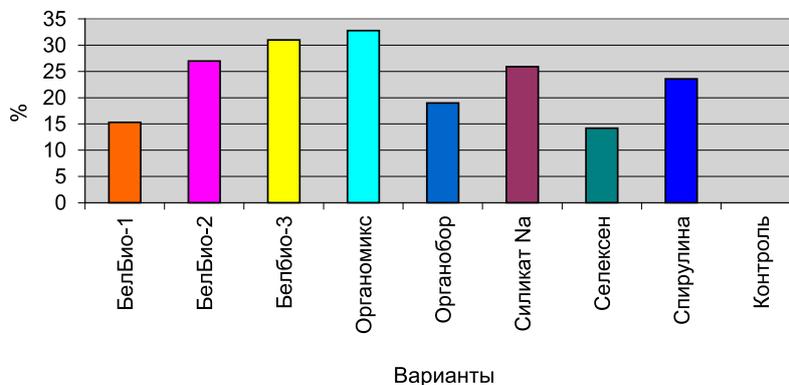


Рис. 4. Влияние удобрений на площадь листовой поверхности растения огурца в процентах к контролю на 56 сутки опыта

Таблица 2

Влияние удобрений на развитие корневой системы растения огурца (натуральное вещество), 56 сутки опыта

Показатели	Масса корня растения, г	Поверхность корневой системы, см ²	Длина корня, см	Отношение длины корня к длине контроля
1. БелБио-1	166,56 ± 1,12	80,6 ± 2,0	25,7 ± 0,4	1,4
2. БелБио-2	197,00 ± 4,09	72,0 ± 1,2	22,93 ± 1,2*	1,2
3. БелБио-3	187,58 ± 1,14	98,0 ± 1,0*	31,2 ± 1,3**	1,7
4. Органомикс	171,15 ± 8,18	63,0 ± 2,0	20,1 ± 1,4	1,1
5. Органобор	193,57 ± 0,76	98,0 ± 2,4*	24,5 ± 1,3*	1,3
6. Силикат натрия	194,17 ± 3,20	68,0 ± 2,0	21,6 ± 1,5	1,2
7. Селексен	164,08 ± 2,12	80,0 ± 1,0*	25,5 ± 1,4*	1,4
8. Экст. спирулины	181,25 ± 15,25	68,0 ± 2,1	21,7 ± 1,6	1,2
9. Контроль	188,36 ± 7,14	60,0 ± 2,0	19,1 ± 1,0	–

Примечания. * – $p < 0,05$; ** – $p < 0,01$ по сравнению с контролем.

Таблица 3

Биометрическая характеристика растения огурца гибрида Кибрия F1

Варианты	Биометрические параметры			
	Средняя высота, см	Отношение к контролю	Средняя надземная масса, г	Отношение к контролю
1. БелБио-1	148,8 ± 2,9*	1,36	557,26 ± 12,6	1,18
2. БелБио-2	142,0 ± 1,5*	1,30	582,86 ± 12,9*	1,22
3. БелБио-3	145,3 ± 1,8*	1,33	591,86 ± 13,38	1,24
4. Органомикс	146,0 ± 2,0*	1,33	696,22 ± 14,10*	1,46
5. Органобор	140,0 ± 2,5*	1,28	556,68 ± 13,08	1,18
6. Силикат натрия	144,0 ± 2,5*	1,32	628,22 ± 13,96*	1,32
7. Селексен	125,0 ± 4,5	1,14	542,49 ± 12,72	1,14
8. Экст. спирулины	127,5 ± 3,5	1,16	592,51 ± 13,32*	1,24
9. Контроль	109,6 ± 9,6	–	478,02 ± 13,01	–

Примечание. * – $p < 0,05$ по сравнению с контролем.

Сравнительное изучение процесса развития надземной части и корневой системы организма растения огурца (аллокация фитомассы) в фазу интенсивного роста представлена на диаграмме (рис. 5).

При сравнении показателей развития корневой системы и общей надземной вегетативной массы растения, делаем заключение, что максимальных эффект стимуляции роста и развития растений проявился при применении растворов удобрений вариантов опыта № 4, 6, затем № 3, 2 и 8 и, наконец, № 5, 1 и 7. Из рисунка видно, что у гибрида Кибрия F1 в эту фазу развития идет преимущественное наращивание массы стебля. Отметим, что у лианы огурца под влиянием вегетативной обработки интенсивнее формируется ассимилирующий листовой аппарат и корневая система с наибольшей площадью всасывающей поверхности. Это позволяет культуре огурца получать оптимальное ко-

личество питательных веществ и опережать на несколько дней фазы развития растения огурца контрольного варианта. И так, надземная часть растения огурца развивается активнее, что должно приводить к остановке нарастания корней и, как следствие, к старению всего растения, что в целом сказывается на общей урожайности культуры. То есть ограничивающим фактором проявления потенциальной продуктивности культуры огурца является наличие корреляций между ростом и развитием корневой системы и его надземной системы. Поэтому создание благоприятных условий развития корневой системы огурца в ватоминеральных кубиках, и прежде всего увеличения площади всасывающей поверхности, под влиянием вегетативных обработок изучаемыми удобрениями удлиняют активный вегетационный период развития огурца и, несомненно, будут повышать урожайность культуры.

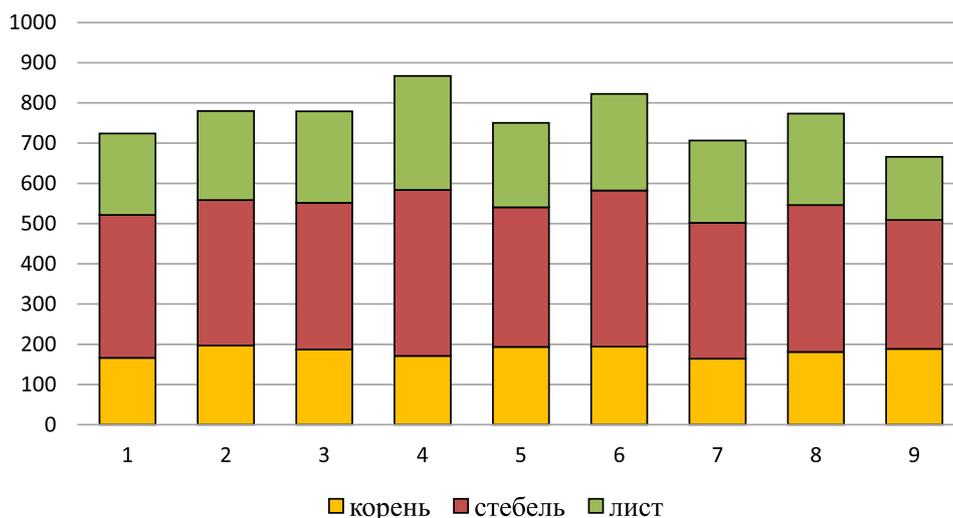


Рис. 5. Аллокация фитомассы растения огурца (♀) в фазу интенсивного роста по вариантам опыта № 1 – 8 и контроля № 9

Заключение

Установлено, что вегетативная обработка тепличных растений культуры огурца гибрида Кибрия F1, выращиваемых на ватоминеральных кубиках с системой капельного полива с ограниченным объемом субстрата и микробной ризофлорой, гуминовыми удобрениями, микроудобрениями с природным стимулятором роста биофлавоноидом дигидрокверцетрином, экстрактом спирулины, с кремний- и селенсодержащим микроудобрениями, положительно влияет на развитие надземной части организма растений, на длину и площадь всасывающей поверхности корневой системы. Таким образом, с помощью дополнительного вегетативного применения экологически безопасных удобрений можно управлять органогенезом растений культуры огурца и в дальнейшем повышать процессы плодообразования.

Список литературы / References

1. Медведев С.С. Механизмы регуляции морфогенеза растений // В материалах VII съезда общества физиологов растений России. Материалы докладов (в двух частях). Часть II. Нижний Новгород, 2011. С. 470–471.
 Medvedev S.S. Mechanisms of regulation of a morphogenesis of plants // In materials of the VII congress of society of physiologists of plants of Russia. Materials of reports (in two parts). Part II. Nizhny Novgorod, 2011. P. 470–471 (in Russian).
 2. Аллаhverдиев С.Р., Ерошенко В.И. Современные технологии в органическом земледелии // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2017. № 1. С. 76–79.
 Allakhverdiev S.R., Eroshenko V.I. Modern technology in organic farming // Mezhdunarodny' zhurnal prikladny'x i fundamental'ny'x issledovaniy. 2017. № 1. P. 76–79 (in Russian).

3. Кузьмицкая Г.А., Кулякина Н.В. Экологически безопасные методы повышения продуктивности огурцов // Agrarnaya nauka. 2011. № 8. С. 19–20.
 Kuzmitskaya G.A., Kulyakina N.V. Ecologically safe methods of increase in cucumber production // Agrarnaya nauka. 2011. № 8. P. 19–20 (in Russian).
 4. Панова Г.Г. Фитопротекторная роль кремнийсодержащих хелатных микроудобрений // Вестник РАСХН. 2009. № 2. С. 19–21.
 Panova G.G. Phytoprotecting role of silicon-containing chelate trace fertilizer // Vestnik RASXN. 2009. № 2. P. 19–21 (in Russian).
 5. Голубкина Н.А., Папазян Т.Т. Селен в питании. Растения, животные, человек. М.: Печатный город, 2006. 254 с.
 Golubkina N.A., Papazyan T.T. Selenium in food. Plants, animals, person. M.: Pechatny'j gorod, 2006. 254 p. (in Russian).
 6. Олива Т.В. Разработка экологически устойчивых технологий выращивания рассады огурца в теплице // Успехи современной науки. 2016. Т. 3. № 10. С. 94–98.
 Oliva T.V. Development of environmentally sustainable growth technology of plantlet cucumber in the greenhouse // Uspehi sovremennoj nauki. 2016. T. 3. № 10. P. 94–98 (in Russian).
 7. Олива Т.В., Лицуков С.Д., Панин С.И., Колесниченко Е.Ю., Кузьмина Е.А. Особенности роста культуры огурца гибрида Кибрия F1 в ювенильный период развития // Успехи современного естествознания. 2018. № 1. С. 35–42.
 Oliva T.V., Litsukov S.D., Panin S.I., Kolesnichenko E.Yu., Kuzmina E.A. Growth Characteristics of Cucumber Hybrid Kibriya F1 at Juvenile Period // Advances in current natural sciences. 2018. № 1. P. 35–42 (in Russian).
 8. Рожков В.А., Кузнецова И.В., Рахматуллоев Х.Р. Методы изучения корневой системы растений в поле и лаборатории. М.: ГОУ ВПО МГУЛ, 2008. 51 с.
 Rozhkov V.A., Kuznecova I.V., Raxmatulloev X.R. Methods of studying of root system of plants in the field and laboratory. M.: GOU VPO MGUL, 2008. 51 p. (in Russian).
 9. Fellix D., Dacora & Donald A. Phillips. Root exudates as mediators of mineral acquisition in low-nutrient environments. Plant and soil. 2002. № 245. P. 35–47.
 10. Vancura V., Hanzlikova A. Root exudates of plants. IV. Differences in chemical composition of seed and seedlings exudates. Plant and Soil. 1972. № 36. P. 271–282.

УДК 630*161.4:633.877

ОСОБЕННОСТИ ВОДНОГО РЕЖИМА ХАБАРОВСКИХ КЛИМАТИПОВ КЕДРА КОРЕЙСКОГО *PINUS KORAIENSIS* (SIEBOLD ET ZUCC.) В ГЕОГРАФИЧЕСКИХ КУЛЬТУРАХ

Репин Е.Н.

ФНЦ биоразнообразия наземной биоты Восточной Азии ДВО РАН, Владивосток,
e-mail: revnik59@yandex.ru

Участок географических культур 10 климатипов Хабаровского края расположен вблизи дендрария Горнотаежной станции ДВО РАН. Растения кедра здесь растут компактно, рядовыми посадками в одинаковых условиях. Задачей данной работы является сравнение некоторых параметров водного режима разных климатипов кедра корейского с целью определения особенностей их адаптации к конкретным факторам среды. Изучались некоторые параметры водного режима кедра: удержание воды в хвое (термовесовым методом), интенсивность транспирации (методом быстрого взвешивания) и ОСВ (относительное содержание воды в хвое). Для контроля факторов среды одновременно фиксировали влажность корнеобитаемого слоя почвы, температуру и влажность воздуха, скорость ветра. По результатам исследований отмечаются различия в величине параметров водного режима как между отдельными климатипами, так и в пределах каждого отдельно взятого климатипа в разные периоды сезона исследований. Наибольшие различия между климатипами наблюдаются в первой половине лета (июнь – июль), и к сентябрю эти различия становятся минимальными. Отмечается отсутствие прямой зависимости между величиной скорости транспирации и содержанием воды в хвое. Это свидетельствует о том, что поддержание водного баланса на должном уровне не определяется только величиной транспирации с поверхности хвои. Для более полной характеристики водного режима изучаемых групп растений и определения различий их адаптации к условиям произрастания необходимы дополнительные исследования. По итогам анализа полученных данных, среди растений кедра хабаровских климатипов нет групп растений с ярко выраженной склонностью к высокой или низкой адаптации к условиям, сложившимся во время проведения исследований.

Ключевые слова: кедр корейский, географические культуры, климатипы, транспирация, содержание воды, адаптация

PECULIARITIES OF THE WATER MODE OF KHABAROVSK CLIMATYPES OF *PINUS KORAIENSIS* (SIEBOLD ET ZUCC.) IN GEOGRAPHIC CULTURES

Repin E.N.

*Federal Scientific Center of the East Asia Terrestrial Biodiversity,
Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, Vladivostok, e-mail: revnik59@yandex.ru*

Researches of the water *Pinus koraiensis* mode in geographical cultures were conducted. The site is located near a tree nursery of the Gornotayezhnaya station. The cedar grows in ordinary landings in identical conditions here. In total on the site of 10 climatype from different areas of Khabarovsk Territory. Work purpose: to compare parameters of the water mode of these climatypes. Such parameters of the water relationships as intensity of a transpiration and water content in needles were studied. At the same time humidity of a high layer of earth, temperature and air humidity and wind speed were fixed. Differences in the size of parameters of the water relationships between separate climatypes and between plants of one climatype during the different periods of the period of researches are were found. The greatest differences between climatypes are observed in the first half of summer (June-July). In August – September these distinctions become minimum. The direct dependence between the size of speed of a transpiration and water content is not found in needles. Thus, maintaining of water balance depends not only on transpiration size from a needles surface. It is necessary to conduct padding researches for more total characteristic of the water balance and determination of distinctions of adaptation of plants to growth conditions. Among plants of a cedar of the Khabarovsk climatypes there are no plants with pronounced tendency to high or low adaptation to conditions of Primorsky Krai.

Keywords: Korean cedar, geographical cultures, climatypes, transpiration, water content, adaptation

Основным методом изучения географической изменчивости наследственных свойств разных древесных видов является создание географических культур – выращивание и сравнительная оценка семенного потомства разного географического происхождения в одном пункте выращивания [1, с. 103; 2, с. 32]. Результаты исследований географических объектов имеют практическое значение в решении проблем лесовосстановления как основание для отбора пер-

спективных климатипов и районирования переброски семян с целью создания высокопродуктивных устойчивых насаждений в конкретных условиях [3, с. 32]. Подчеркивается необходимость изучения географической и индивидуальной изменчивости растений разного географического происхождения в одинаковых условиях [4, с. 78]. В географических культурах климатипы растений из разных лесорастительных зон отличаются между собой по основным по-

казателям водного режима: оводненности хвои, водоудерживающей способности и интенсивности транспирации. Водоудерживающая способность и интенсивность транспирации являются важными показателями адаптационных свойств климатических экотипов в новых для них лесорастительных условиях [5]. При этом важно проведение сравнительных исследований закономерностей варьирования компонентов водного режима, зависимости водообмена от условий среды обитания и климатических факторов [6, с. 300; 7, с. 18; 8, с. 65].

Цель исследования: сравнение некоторых параметров водного режима разных климатических кедров корейского с целью определения особенностей их адаптации к конкретным факторам среды. В задачи входило определение степени удержания воды в хвое (термовесовым методом), интенсивности транспирации (методом быстрого взвешивания) и ОСВ (относительного содержания воды в хвое).

Материалы и методы исследования

Географические культуры сосны корейской (*Pinus koraiensis* Siebold et Zucc.) были заложены в мае 2009 г. на склоне северо-западной экспозиции на территории, прилегающей к дендрарию Горнотаежной станции ДВО РАН. Исследования проводились в 2015–2016 гг. с июня по сентябрь. Несмотря на то, что структура лесного хозяйства с момента сбора семян для закладки географических культур изменилась, для удобства изложения мы продолжаем принятое ранее деление территории на лесхозы, условно выделив климатипы по их наименованию.

Биологический возраст саженцев к моменту посадки достиг 10 лет. Посадку осуществляли ручным способом с комом земли в предварительно подготовленные ямки с обязательным поливом. В каждом ряду было высажено по 10 саженцев, шаг посадки 3 м, расстояние между рядами 4 м [9, с. 117].

Интенсивность транспирации измеряли методом быстрого взвешивания [10, с. 163].

Определение относительного содержания воды (ОСВ) проводили на отдельной хвое, которую взвешивали и помещали в чашки Петри в воду на 6 ч до полного насыщения. Величину ОСВ рассчитывали как процент содержания воды в хвое от ее содержания в тканях в состоянии полного насыщения [11, с. 469].

Текущее содержание воды в хвое и в корнеобитаемом горизонте почвы определялось стандартным термовесовым спо-

собом. Погодные условия в дни наблюдений фиксировались люксметром ТКА-ПКМ-42. Транспирация измерялась один раз в месяц с июня по сентябрь 6 раз в день в трех повторностях. Остальные показатели – один раз в месяц. Статистическую обработку полученных данных проводили с помощью программы Microsoft Excel.

Результаты исследования и их обсуждение

Транспирация фактически является главенствующим процессом в водообмене растений, так как она в большой степени определяет скорость поглощения и передвижения воды по растению и вызывает водный дефицит. На скорость транспирации оказывают большое влияние внешние условия, показатели которых на даты проведения исследований приведены в табл. 1 и 2.

Таблица 1

Динамика влажности корнеобитаемого горизонта почвы на участке географических культур в течение вегетационного периода 2015 г.

Месяцы	Влажность, %
Июнь	17,5 ± 0,6
Июль	19,4 ± 0,08
Август	19,0 ± 0,3
Сентябрь	22,4 ± 0,4

Влажность верхнего горизонта почвы, как один из параметров приходной части водного баланса растений, непосредственно влияет на величину интенсивности транспирации. Вода поступает в корень при условии более низкого водного потенциала корня по сравнению с потенциалом почвы. Соответственно, с уменьшением влажности почвы интенсивность транспирации снижается. Условия почвенного увлажнения вегетационного периода можно считать недостаточными для выстраивания ненатянутого водного режима растений.

Таблица 2

Средние температура и влажность воздуха в дни измерений

Месяцы	Температура воздуха, °С	Влажность воздуха, %	Скорость ветра, м/с
Июнь	19,3	72	2
Июль	27,2	54	2
Август	24,2	76	4
Сентябрь	21,1	61	4

Изменение влажности воздуха в ту или иную сторону влияет на величину транспирации обратно пропорционально. Температура воздуха и скорость ветра изменяют скорость транспирации более опосредованно путем воздействия на величину влажности воздуха.

Динамика удерживания воды тканями хвои в большой степени отражает уровень обеспеченности растения влагой. Из данных табл. 3 в целом видно постепенное повышение влажности хвои с июня по сентябрь у всех климатипов.

Содержание воды в хвое в большей мере связано со степенью увлажнения почвы по сравнению с остальными факторами. Наибольшие различия между климатипами наблюдаются в первой половине лета (июнь – июль) и к сентябрю эти различия становятся минимальными. Наибольшей водоудерживающей способностью хвои отличаются климатипы Советский и Уликанский, наименьшей – Сукпайский.

Изменение содержания воды в листьях в течение вегетации считается хорошим свидетельством подвижности или устойчивости водного режима, показателем способности регулировать водный баланс, адапти-

роваться к условиям обитания. В этой связи снижение напряженности водного баланса у растений всех климатипов наблюдается в конце вегетации (август – сентябрь).

Транспирация создает условия для передвижения воды и растворенных в ней минеральных веществ от корней к другим частям растения, осуществляет терморегуляцию органов растения. На величину скорости транспирации влияют многие экологические факторы, которые действуют в различных сочетаниях, что затрудняет выяснение причин тех или иных изменений в разные часы суток.

Сравнительная величина скорости транспирации у климатипов в течение вегетационного периода была нестабильна (табл. 4).

Например, наибольшим этот показатель был в июне у сосен Гурского и Облученского климатипов; в июле – у Гурского и Уликанского; в августе – у Мухенского, а у Гурского этот показатель был минимальным в этом месяце, как, впрочем, и в сентябре. Наибольшая величина средней за период измерений скорости транспирации отмечена у растений Хабаровского и Облученского климатипов, наименьшая – у Хехцирского.

Таблица 3

Динамика удерживания воды (%) листовыми органами географических культур сосны корейской лесхозов Хабаровского края в течение вегетационного периода 2015 г.

Климатипы	Месяцы				Среднее за вегетационный период
	июнь	июль	август	сентябрь	
Советский	$50,6 \pm 0,21^*$ 12,2	$58,4 \pm 0,28$ 12,5	$56,5 \pm 0,25$ 13,7	$59,7 \pm 0,23$ 13,3	$56,3 \pm 0,24$ 12,9
Кур-Урмийский	$47,2 \pm 0,56$ 17,8	$50,8 \pm 0,51$ 18,4	$58,6 \pm 0,47$ 17,2	$58,3 \pm 0,58$ 19,1	$53,7 \pm 0,53$ 18,1
Уликанский	$52,0 \pm 0,46$ 21,2	$55,1 \pm 0,34$ 18,6	$59,8 \pm 0,48$ 19,5	$60,3 \pm 0,39$ 22,0	$56,8 \pm 0,42$ 17,8
Хабаровский	$47,1 \pm 0,32$ 13,4	$54,4 \pm 0,27$ 14,1	$57,9 \pm 0,34$ 13,8	$62,0 \pm 0,25$ 16,1	$55,4 \pm 0,29$ 15,3
Хехцирский	$49,5 \pm 0,28$ 19,2	$53,0 \pm 0,32$ 18,5	$56,7 \pm 0,37$ 18,8	$61,0 \pm 0,31$ 20,1	$55,1 \pm 0,32$ 19,2
Мухенский	$42,6 \pm 0,42$ 14,4	$54,1 \pm 0,48$ 15,7	$56,2 \pm 0,39$ 14,9	$60,6 \pm 0,45$ 16,6	$53,4 \pm 0,43$ 15,4
Сукпайский	$42,4 \pm 0,37$ 13,7	$50,6 \pm 0,33$ 15,2	$56,4 \pm 0,42$ 14,8	$57,8 \pm 0,35$ 15,6	$51,8 \pm 0,37$ 14,8
Гурский	$49,0 \pm 0,23$ 18,8	$55,2 \pm 0,27$ 19,4	$58,6 \pm 0,31$ 18,1	$57,0 \pm 0,25$ 20,2	$54,9 \pm 0,26$ 19,1
Оборский	$44,7 \pm 0,28$ 12,6	$50,4 \pm 0,31$ 14,3	$58,5 \pm 0,36$ 14,9	$59,6 \pm 0,27$ 13,4	$53,3 \pm 0,31$ 13,8
Облученский	$44,8 \pm 0,56$ 20,2	$53,3 \pm 0,51$ 19,5	$60,4 \pm 0,48$ 21,3	$60,2 \pm 0,53$ 18,8	$54,7 \pm 0,52$ 20,0

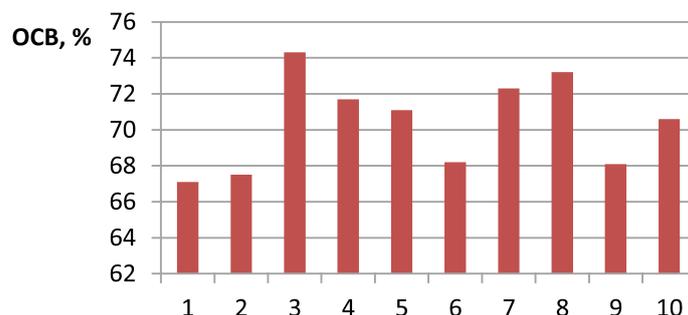
Примечание. * В числителе среднее \pm ошибка средней, в знаменателе – коэффициент вариации, %.

Таблица 4

Среднедневная динамика скорости транспирации (мг/г сырой массы в час) географических культур сосны корейской 10 лесхозов Хабаровского края за вегетационный период 2015 г.

Климатипы	Месяцы				Среднее за вегетационный период
	июнь	июль	август	сентябрь	
Советский	$514,8 \pm 0,35^*$ 16,8	$170,1 \pm 0,38$ 18,2	$224,3 \pm 0,41$ 17,5	$101,8 \pm 0,34$ 18,9	$252,8 \pm 0,28$ 17,9
Кур-Урмийский	$541,7 \pm 0,29$ 13,8	$140,9 \pm 0,24$ 15,5	$253,0 \pm 0,33$ 16,1	$131,9 \pm 0,27$ 13,7	$266,9 \pm 0,28$ 14,8
Уликанский	$482,5 \pm 0,22$ 12,6	$196,1 \pm 0,27$ 14,4	$192,4 \pm 0,31$ 14,9	$111,4 \pm 0,25$ 13,3	$245,6 \pm 0,26$ 13,8
Хабаровский	$547,7 \pm 0,54$ 17,7	$151,2 \pm 0,58$ 19,9	$220,7 \pm 0,49$ 18,3	$173,4 \pm 0,51$ 20,1	$273,3 \pm 0,53$ 19,0
Хехцирский	$418,0 \pm 0,42$ 15,2	$173,9 \pm 0,50$ 16,7	$198,2 \pm 0,49$ 15,9	$142,6 \pm 0,44$ 18,4	$230,7 \pm 0,46$ 16,6
Мухенский	$482,6 \pm 0,51$ 20,2	$132,6 \pm 0,48$ 18,6	$327,9 \pm 0,53$ 21,3	$125,2 \pm 0,58$ 19,5	$267,1 \pm 0,53$ 19,9
Сукпайский	$467,7 \pm 0,48$ 14,9	$148,4 \pm 0,41$ 18,4	$182,9 \pm 0,46$ 17,5	$143,6 \pm 0,50$ 20,1	$235,7 \pm 0,46$ 17,7
Гурский	$559,8 \pm 0,36$ 17,5	$195,5 \pm 0,42$ 20,2	$164,2 \pm 0,48$ 19,9	$97,2 \pm 0,39$ 18,4	$254,2 \pm 0,34$ 19,0
Оборский	$540,9 \pm 0,29$ 16,1	$154,6 \pm 0,24$ 18,3	$190,7 \pm 0,33$ 17,7	$85,3 \pm 0,25$ 20,6	$242,9 \pm 0,28$ 18,2
Облученский	$551,3 \pm 0,22$ 19,5	$165,1 \pm 0,29$ 17,5	$244,9 \pm 0,36$ 18,4	$151,5 \pm 0,31$ 16,7	$278,2 \pm 0,30$ 18,0

Примечание. * В числителе среднее \pm ошибка средней, в знаменателе – коэффициент вариации, %.



Относительное содержание воды (ОСВ) в хвое хабаровских климатипов сосны корейской (7.07.2016 г.): 1 – Советский климатип, 2 – Кур-Урмийский, 3 – Уликанский, 4 – Хабаровский, 5 – Хехцирский, 6 – Мухенский, 7 – Сукпайский, 8 – Гурский, 9 – Оборский, 10 – Облученский

В достаточной степени корректно состояние водного баланса растений характеризует относительное содержание воды (ОСВ) в хвое, отражающее степень насыщенности тканей водой по сравнению с их полной тургесцентностью. Иными словами, уровень относительного содержания воды в хвое является показателем стабильности водного обмена растений. Относительное содержание воды в тканях хвои кедра в географических культурах (рисунок) у разных климатипов варьирует от 67,1 до 74,3%.

Наибольшей величиной ОСВ характеризуются растения Уликанского и Гурского

климатипов, наименьшей – Советского и Кур-Урмийского. Это может свидетельствовать о наличии у последних двух климатипов реального водного дефицита. Соответственно, растения Уликанского и Гурского климатипов, характеризующиеся относительно высоким уровнем ОСВ, имеют большую адаптивную способность, чем остальные климатипы.

Выводы

1. Устойчивое увеличение уровня оводненности хвои (в среднем от 46,9% до 59,7%) и понижение интенсивности транс-

пирации (510,7 – 254,7 мг/г в час) с июня по сентябрь у всех климатипов свидетельствует о напряженности водного режима растений в этот период.

2. Растения, экономно расходующие воду на транспирацию и имеющие относительно высокий уровень ОСВ, можно считать более адаптированными к условиям недостаточного увлажнения почвы, которые сложились в Приморском крае в вегетационный период 2016 г. К этой группе растений относятся Уликанский (ОСВ 74,2%), Сукпайский (72,3%) и Гурский (73,3%) климатипы кедр корейского. Советский (ОСВ 66,8%) и Кур-Урмийский (67,2%) климатипы по этим показателям можно отнести к менее адаптированным к сложившимся условиям.

3. Не обнаружено прямой зависимости между интенсивностью транспирации, содержанием воды в хвое и показателями метеоусловий вегетационного периода. Для ее определения необходимы дополнительные исследования, касающиеся морфо-анатомических характеристик транспирирующей поверхности хвои.

Список литературы / References

- Кузнецова Г.В. Рост, состояние и развитие кедровых сосен в географических культурах на юге Красноярского края // Хвойные бореальной зоны. 2010. Т. XXVII, № 1–2. С. 102–107.
- Kuzmina N.A., Kuzmin S.R. Selection of perspective Scots pine climatotypes in the provenance trial in Priangarie of Krasnoyarsk region // Conifers of the boreal area. 2010. V. XXVII. № 1–2. 2010. P. 102–107 (in Russian).
- Краснобаева С.Ю. Лучшие климатипы ели обыкновенной в географических культурах в республике Татарстан // Лесотехнический журнал. 2013. № 2(10). С. 31–37.
- Krasnobaeva S.Yu. Top climatotypes of common spruce in provenance in the Republic of Tatarstan // Forestry Engineering Journal. 2013. № 2(10). P. 31–37 (in Russian).
- Кузьмина Н.А., Кузьмин С.Р. Анализ динамики роста климатипов сосны обыкновенной в географических культурах в средней Сибири // Сибирский лесной журнал. 2017. № 2. С. 31–39. DOI: 10.15372/SJFS20170204.
- Kuzmina N.A., Kuzmin S.R. Analysis of Scots Pine Climatotypes Growth Dynamics in the Provenance Trial in Central Siberia // Sibirskij lesnoj zhurnal. 2017. № 2. P. 31–39. DOI: 10.15372/SJFS20170204 (in Russian).
- Колосовский Э.В., Матвеева Р.Н., Буторова О.Ф. Рост 56-летней сосны кедровой сибирской в географических культурах при сомкнутости полога древостоя 0,5–0,6 // Хвойные бореальной зоны. 2018. Т. 36. № 1. С. 75–79.
- Kolosovskiy E.V., Matveeva R.N., Butorova O.F. The Growth of 56-Year-Old Pine Cedar Siberian in Geographic Cultures When the Closeness Canopy Stand 0.5–0.6 // Conifers of the boreal area. 2018. V. XXXVI. № 1. P. 75–79 (in Russian).
- Морозова Е.В., Иозус А.П. Особенности водного режима климатических экотипов сосны в географических культурах Волгоградской области // Современные проблемы науки и образования. 2015. № 4. URL: <http://www.science-education.ru/127-20585> (дата обращения: 17.08.2018).
- Morozova E.V., Iozus A.P. Features of Water Regime Climatic Ecotypes of Pine in Geographical Cultures Volgograd Region // Modern problems of science and education. 2015. № 4. URL: <https://www.science-education.ru/en/article/view?id=20585> (date of appeal: 08.17.2018) (in Russian).
- Сазонова Т.А., Софронова И.Н., Новичонок Е.В., Придача В.Б. Водный режим древесных растений в условиях достаточного почвенного увлажнения на северо-западе России // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2015. № 8–2. С. 299–302.
- Sazonova T.A., Sofronova I.N., Novichonok E.V., Pridacha V.B. Water regime of woody plants under sufficient soil moisture conditions in Northwest Russia // International Journal of Applied and Fundamental Research. № 8. 2015. P. 299–302 (in Russian).
- Сенькина С.Н. Водный режим сосны и ели в фитоценозах. Екатеринбург: РИО УрО РАН, 2013. 104 с.
- Senkina S.N. The water mode of a pine and fir-tree in fitotsenoza. Ekaterinburg: RIO UrO RAN, 2013. 104 p. (in Russian).
- Бендер О.Г., Зотикова А.П., Велисевич С.Н. Особенности водного обмена и состояния пигментного комплекса хвои кедр сибирского (*Pinus sibirica* du Tour) в горах Северо-восточного Алтая // Вестник Томского государственного университета. Биология. 2009. № 3 (7). С. 63–72.
- Bender Olga G., Zotikova Albina P., Velisevich Svetlana N. Water Relation Features and Pigment Complex State of *Pinus sibirica* Du Tour Needles in the North-Eastern Altai Mountains // Tomsk State University Journal of Biology. 2009. № 3 (7). P. 63–72 (in Russian).
- Poleschuk V.A., Poleschuk A.V., Poleschuk T.N. Creation of geographical cultures of the cedar korean (*Pinus koraiensis* Siebold et Zucc.) in conditions mountain-taiga station far eastern branch of the Russian academi of science // Proceedings of Internentional Conference–Ecology and diversity of forest ecosystems in the Asiatic part of Russia Kosteles nad Cerriymi lesy, Ceska republika. Tribun EU, 2012, P. 117–124.
- Пустовой И.В., Филлин В. И., Корольков А.В. Практикум по агрохимии. М.: Колос, 1995. 336 с.
- Pustova I.V., Filin V.I., Korolkov A.V. Praktikum on agrochemistry. M.: Ear, 1995. 336 p. (in Russian).
- Castillo F.J. Antioxidative Protection in the Inducible CAM Plant *Sedum album* L. Following the Imposition of Severe Water Stress and Recovery. Oecologia. 1996. V. 107. P. 469–477.

УДК 630*22:630*231:630*182.21

АНАЛИЗ ВИДОВОГО СОСТАВА ФЛОРЫ КУНДРЮЧЕНСКОГО ОХОТХОЗЯЙСТВА ПОД ВЛИЯНИЕМ АНТРОПОГЕННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ

Симонович Е.И.

*Академия биологии и биотехнологии Южного федерального университета, Ростов-на-Дону,
e-mail: elena_ro@inbox.ru*

В данной работе выполнен мониторинг и анализ естественной флоры Кундрюченского охотничьего хозяйства. До 2005 г. Кундрюченское охотхозяйство являлось заказником областного значения и ему был присвоен статус ООПТ. Флора Кундрюченского охотхозяйства является недостаточно изученной. В связи с увеличением антропогенной нагрузки крайне актуальными являются вопросы, касающиеся охраны растительности в исследуемом районе. Полученные в ходе исследования данные, описывающие структуру растительного разнообразия в Кундрюченском охотхозяйстве и незначительные расхождения с ранее полученными данными исследований растительного разнообразия Нижнего Дона, вероятней всего, обусловлены особенностями экологической ситуации данной территории, подавляющее большинство показателей для исследуемой флоры и фоновой флоры Нижнего Дона являются сходными, что является свидетельством того, что данные по исследуемому району являются полными и высокой степени изученности данного района. Результаты проведенного географического анализа местности согласуются с полученными данными для фоновой флоры Нижнего Дона. Количество адвентивных видов и аутохтонных элементов сопоставимо, что является свидетельством того, что сложившиеся сообщества на данной территории стабильны и являются «древними». По системе биоморф, разработанной И.Г. Серебряковым, во флоре Кундрюченского охотничьего хозяйства прослеживается доминирующая часть травянистых растений, а по системе биоморф, разработанной К. Раункиера – гемикриптофиты. Полученные данные в ходе исследования позволяют сделать вывод, что преобладающая доля синантропных видов связана со значительным антропогенными нагрузками (сенокос, выпас скота, нахождение населенных пунктов поблизости), а преобладание степных видов вызвано степной фоновой растительностью. Достаточно высокое количество редких видов в исследуемой флоре можно связать с охраняемостью исследуемой территории и в связи с этим можно утверждать о необходимости возвращения данной территории статусу ООПТ.

Ключевые слова: флора, Нижний Дон, Кундрюченское охотхозяйство, антропогенная нагрузка, виды растений, охраняемость

ANALYSIS OF THE SPECIES COLLECTION OF THE FLORA OF THE KUNDRYUCHENSKY FARMHOUSE UNDER THE INFLUENCE OF ANTHROPOGENIC IMPACT

Simonovich E.I.

*Academy of Biology and Biotechnology of Southern Federal University, Rostov-on-Don,
e-mail: elena_ro@inbox.ru*

The inventory and analysis of natural flora of the Kundruchensky hunting farm was carried out in the work. Until 2005, the Kundruchensky hunting farm was a sanctuary of regional importance and had the status of SPNA. The flora of hunting farm hasn't been well studied. Due to the increasing anthropogenic load, issues of protection of vegetation in the area of study are especially important. The above results of studying systematic structure of flora of hunting farm and resulting small discrepancies with data for the flora of the Lower Don most likely caused by features of the ecological conditions of investigated territory; the indicators for it and background flora of the Lower Don are similar, which indicates a high degree of study of investigated district. Results of the geographical analysis are consistent with data for the background flora of Lower Don. Number of adventive species is comparable to those for autochthonous elements, which indicates the stability and «antiquity» of communities that developed in the given territory. For biomorph system of I.G. Serebryakov, herbaceous plants predominate in the flora of the Kundruchensky hunting farm, and hemicryptophytes in the of biomorph system of K. Raunkire. Consequently, a high proportion of synanthropic species is associated with significant anthropogenic loads (grazing, haymaking, proximity of settlements), and predominance of steppe species is connected that the background vegetation is a steppe. Quite a big number of rare species in the studied flora can be explained by security of studied territory and thus it can be recommended to return it status of the SPNA.

Keywords: flora, Lower Don, Kundruchensky hunting farm, anthropogenic load, plant species, protection

В настоящее время сохранение биологического разнообразия является важнейшим направлением в современной биологии, экологии [1]. На сегодняшний день флористика имеет большое значение в решении проблемы сохранения биоразнообразия.

До 2005 г. Кундрюченское охотхозяйство являлось заказником областного зна-

чения и имело статус ООПТ [2]. Статус заказника, присвоенный данной территории, подразумевал сохранение биоразнообразия растительных и животных видов. Изменение статуса, то есть ведение интенсивного охотничьего хозяйства, подразумевает увеличение антропогенной нагрузки на все биоразнообразие и прежде всего на

флору хозяйства. Создание охотничьего хозяйства подразумевает увеличение антропогенного пресса за счет проведения охотхозяйственных мероприятий на данной территории помимо непосредственного антропогенного воздействия (выпаса скота, заготовки сена, близости населенных пунктов). Содержание в искусственно созданной среде обитания диких копытных животных (дендрофагов), таких как олень пятнистый (*Cervus nippon dybovski*) и косуля (*Capreolus capreolus*) может негативно отразиться на состоянии флоры хозяйства, как напрямую, благодаря выпасу животных, так и косвенно при заготовке кормов (веточных кормов и сена). Рациональное взаимодействие лесного и охотничьего хозяйства предусматривает поддержание численности копытных дендрофагов на оптимальном в экологическом и хозяйственном отношении уровне. Таким образом, проведенный анализ флоры будет способствовать формированию плана и стратегии содержания оптимального количества диких копытных животных на данной территории без нанесения ущерба кормовой базе охотхозяйства. Флора Кундрюченского охотхозяйства является недостаточно изученной. Проведенные исследования выявили состав, структуру и динамику развития растительного разнообразия на данной территории. В связи с увеличением антропогенной нагрузки крайне актуальными являются вопросы, касающиеся охраны растительности в исследуемом районе.

Цель работы: систематизация и структурирование состояния естественной растительности Кундрюченского охотхозяйства на основе полученных данных.

Материалы и методы исследования

Сбор исследуемого материала проводился в течение двух лет, с мая по август 2016–2017 гг., в Усть-Донецком районе Ростовской области, на территории Кундрюченского охотхозяйства. При сборе исследуемого материала был использован метод маршрутного флористического обследования и гербаризации в соответствии с общепринятыми методиками. Были проведены исследования четырех пунктов охотхозяйства. Центральная часть охотхозяйства – окрестности хутора Топилин, западная часть – окрестности хутора Мостовой (район, где располагались пионерские лагеря). На востоке исследована территория в окрестностях хутора Огиб, на юго-западе окрестности хутора Черни.

Анализ флоры, расположенной на изучаемой территории, связан со сравнительным изучением структуры данной территории по разным параметрам. Для проведения анализа были отобраны следующие показатели:

1. Систематический состав исследуемой флоры. Выполнено сравнение спектров доминирующих семейств во флоре Нижнего Дона и Кундрюченского охотхозяйства.

2. Географическая структура растительности по видам с одинаковым общим распространением (геоэлемент), сформированная по системе Ю.Д. Клеопова (1990) [3].

3. Фитоценотическая структура исследуемой флоры. Использована система фитоцено типов, примененная в работах Г.М. Зогулина (1992) [4].

4. Эколого-морфологическая структура растительности по системе И.Г. Серебрякова (1962) [5].

5. Фитосозологическая структура флоры [6].

Результаты исследования и их обсуждение

В период проведения исследований 2016–2017 гг. было отобрано для исследования 242 вида растений, которые относятся к 61 семейству. В отделе Magnoliophyta было выделено два класса: класс Magnoliopsida был представлен 49 семействами, класс Liliopsida, в свою очередь, был представлен 9 семействами. В отделе Pinophyta было выделено два класса: кл. Gnetopsida (1 семейство), кл. Pinopsida (1 семейство). Отдел Equisetophyta был представлен одним классом Equisetopsida (1 семейство).

Важнейшим определяющим фактором состояния растительности является соотношение преобладающих семейств. Пятнадцать преобладающих семейств содержат в средней численности 166 видов. Это составляет 68,59% от числа исследуемых видов, которые были определены на территории охотхозяйства, тем временем показатель этого соотношения флоры Нижнего Дона равен 70,63% [7]. В среднем на одно семейство приходится 4,10:1 видов, в эталоне – флоре Нижнего Дона этот показатель составляет 14,25:1 [7]. Первые места в списке разнообразия флоры изучаемой территории занимают: Aseraceae, Poaceae, Fobaceae, Rosaceae, Lamiaceae, Brassicaceae, Apiaceae, Scrophylariaceae, Caryophyllaceae, Rubiaceae, Ranunculaceae, Polygonaceae, Cyperaceae, Chenopodiaceae, Euphorbiaceae. В табл. 1 отображены доли видов, которые относятся к данным семействам в процентах.

При проведении сравнения спектров семейств эталонной растительности Нижнего Дона и Кундрюченского охотничьего хозяйства был использован коэффициент ранговой корреляции Кендела:

$$\tau = 2S / n(n - 1),$$

где S является показателем суммы рангов; n – число выбранных пар для сравниваемых рангов (количество ведущих семейств) [5].

Коэффициент ранговой корреляции для растительного разнообразия Нижнего Дона и Кундрюченского охотничьего хозяйства находится в значении 0,57, что явно отображает достаточно близкое сходство спектров преобладающих семейств (таблица).

Для исследования эколого-морфологической структуры растительного разнообразия была использована система биоморф И.Г. Серебрякова (1962) [5], а также система биоморф К. Раункиера [5; 8].

Проведенный биоморфологический анализ в ходе исследования позволил установить, что во флоре Кундрюченского охотничьего хозяйства травянистые растения занимают достаточно значительную долю – 204 вида, что составляет 84,30% от общего числа видов исследуемого района. Многолетние формы трав были представлены 177 видами, – 73,14% от общего числа видов исследуемой территории и 87,76% от численности всех

травянистых растений соответственно. Было выявлено 27 видов однолетних растений, 11,16% от общего количества видов (13,23% от числа травянистых растений); двулетних растений – 15 видов, что составляет 6,20% и 7,35%. В результате было выявлено, что общее количество однолетних и двулетних растений в структуре растительности исследуемой территории составляет 42 вида, что в процентном соотношении составляет 17,35% от числа травянистых растений.

Помимо обнаруженных травянистых растений, находящихся на территории исследуемой флоры, отмечены древесные и полудревесные биоморфы. Древесные биоморфы были представлены деревьями, кустарниками и кустарничками. Во флоре исследуемого охотхозяйства отмечено тридцать видов древесных жизненных форм – 12,39% от общего числа видов данного ареала. Собственно, древесные формы представлены 14 видами (2,78%), а кустарники и кустарнички были представлены 16 видами (6,61%) от общего числа видов.

Полудревесная флора исследуемой территории представлена полукустарниками и полукустарничками. Их численность составляет 3,3% от общей численности видов данного ареала. На территории охотничьего хозяйства они представлены 8 видами.

Соотношение показателей численности доминирующих семейств во флоре Нижнего Дона и Кундрюченского охотничьего хозяйства (в процентном соотношении) (средние данные на 2016–2017 гг.)

Название семейства	Флора Нижнего Дона	Название семейства	Флора Нижне-Кундрюченского охотхозяйства
	Ранг/%		Ранг/%
Asteraceae	1/13,62	Asteraceae	1/ 16,52
Poaceae	2/9,00	Poaceae	2/ 9,50
Brassicaceae	3/ 6,23	Fabaceae	3/ 8,26
Fabaceae	4/ 6,00	Rosaceae	4/ 6,19
Caryophyllaceae	5/ 4,35	Lamiaceae	5/ 5,37
Lamiaceae	6/ 4,27	Brassicaceae	6/ 3,30
Scrophulariaceae	7/ 4,21	Scrophulariaceae	7–8/ 2,89
Apiaceae	8/ 3,81	Apiaceae	7–8/ 2,89
Rosaceae	9–10/ 3,40	Caryophyllaceae	9–10/ 2,06
Chenopodiaceae	9–10/ 3,40	Rubiaceae	9–10/ 2,06
Cyperaceae	11/ 3,29	Cyperaceae	9–10/ 2,06
Boraginaceae	12/ 2,94	Ranunculaceae	9–10/ 2,06
Ranunculaceae	13/ 2,65	Polygonaceae	9–10/ 2,06
Lilaceae	14–15/ 1,73	Chenopodiaceae	11–12/ 1,65
Polygonaceae	14–15/ 1,73	Euphorbiaceae	11–12/ 1,65

Изучение флоры охотхозяйства, выполненное по системе биоморф К. Раункиера, выявило, что во флоре Кундрюченского охотхозяйства на первом месте находятся гемикриптофиты – 145 видов, что составляет 59,91% от общего числа видов исследуемой территории. Следующим по числу представленных видов являются криптофиты – 32 вида (13,25% от общего числа видов). Фанерофиты представлены 30 видами, (12,39% от общего числа видов). Терофиты представлены 27 видами (11,15% от общего числа видов). Хамефиты представлены 8 видами и 3,30% от общего числа видов.

Типы жизненных форм по методике К. Раункиера с указанием числа видов в процентном соотношении от общего количества представленных видов растений отображены на рис. 1.

Определение формационной структуры растительности исследуемой территории, то есть определение количественного соотношения видов для разных эколого-фитоценологических групп, является действующим способом прогнозирования ее направлений развития [9]. Формационный анализ предоставляет возможность прослеживания связи развития флоры с развитием различных типов растительности и обуславливающей его совокупности условий ареалов обитаний, выявить частные возможности развития растительного покрова данной территории и выяснить источник происхождения определенных типов растительности [10].

На исследуемой территории было выявлено всего 10 фитоцено типов: синантропные; синантропные, тяготеющие к естественным фитоцено типам; степные; луговые; луговетепные; лесные и кустарниковые; прибрежноводные и болотные; водные; петрофильные; псаммофильные.

В данной исследовательской работе принята система фитоцено типов, примененная в работах Г.М. Зозулина [4]. Установлено, что во флоре Кундрюченского охотхозяйства доминируют виды: синантропные, тяготеющие к естественным фитоцено типам (51 вид, или 21,07% от общего количества видов) и степные – 50 видов или 20,66%, следующими по популярности являются луговые – 42 вида или 17,37%, лесные и кустарниковые – 33 вида или 13,64%, а также синантропные – 24 вида, 9,92%, прибрежноводные и болотные 20 видов или 8,26% от количества видов исследуемой территории.

Другие фитоцено типы в целом содержат 22 вида и составляют 9,09% в процентном

соотношении от общего числа видов. На рис. 2 отображен полный список фитоцено типов с указанием числа видов и процентным выражением от общего количества видов исследуемой территории.

В данных исследованиях была использована методика геоэлементов, сформированная Ю.Д. Клеповым для флоры широколиственных лесов европейской части бывшего СССР (1990) [3], а также система геоэлементов Г.М. Зозулина, разработанная для Нижнедонского региона [4]. Исходя из данных, полученных при использовании данных систем, в растительном разнообразии охотхозяйства можно выделить 45 географических элементов и 15 типов геоэлементов, что является показателем неоднородности растительности в отношении ее географической структуры.

Ведущую и значительную роль можно отнести к следующим типам геоэлементов: номадийский тип включает 18 геоэлементов, 28,57% в процентном соотношении от общего числа геоэлементов; европейский тип включает в себя 12 геоэлементов, 19,04%; евразийский тип – 8 геоэлементов, 12,69%; южносибирский тип – 4 геоэлемента, 6,34%, остальные типы геоэлементов включают в себя от одного до трех геоэлементов, в общей сложности они включают в себя 18 геоэлементов, 28,57% в процентном соотношении от общего количества геоэлементов.

Адвентивные виды отличаются обладанием низкой конкурентной способности, в связи с чем подвергаются вытеснению местными видами. Вместе с тем динамика и сила антропопрессии такова, что отдельные наиболее агрессивные адвентики поселяются и закрепляются на разрушенных местообитаниях [7].

Вопросы строгой охраны, рационального использования и дальнейшего восстановления видового разнообразия и генофонда растительного мира крайне актуальны для Ростовской области, одной из наиболее освоенных в хозяйственном отношении [9].

В изучаемой флоре данного региона было выявлено 13 видов, принадлежащих к следующим категориям редкости:

2(V) – *Centaurea gerberi* Stev. (окрестности хутора Черни), *Stipa pulcherrima* C. Koch. (окрестности хутора Топилин), *Valeriana officinales* L. (окрестности хутора Мостовой) – наименее защищенные виды: численность всех или большинства их популяций стремительно снижается в связи с изменением среды обитания, чрезмерного использования, нарушения местообитаний.

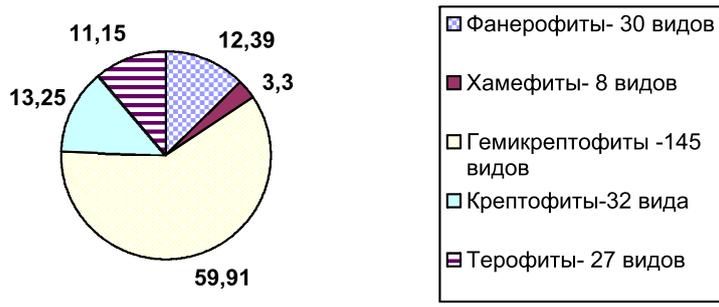


Рис. 1. Распределение флоры Кундрюченского охотничьего хозяйства по биотипам по К. Раункиеру (в процентном соотношении от общего количества видов)

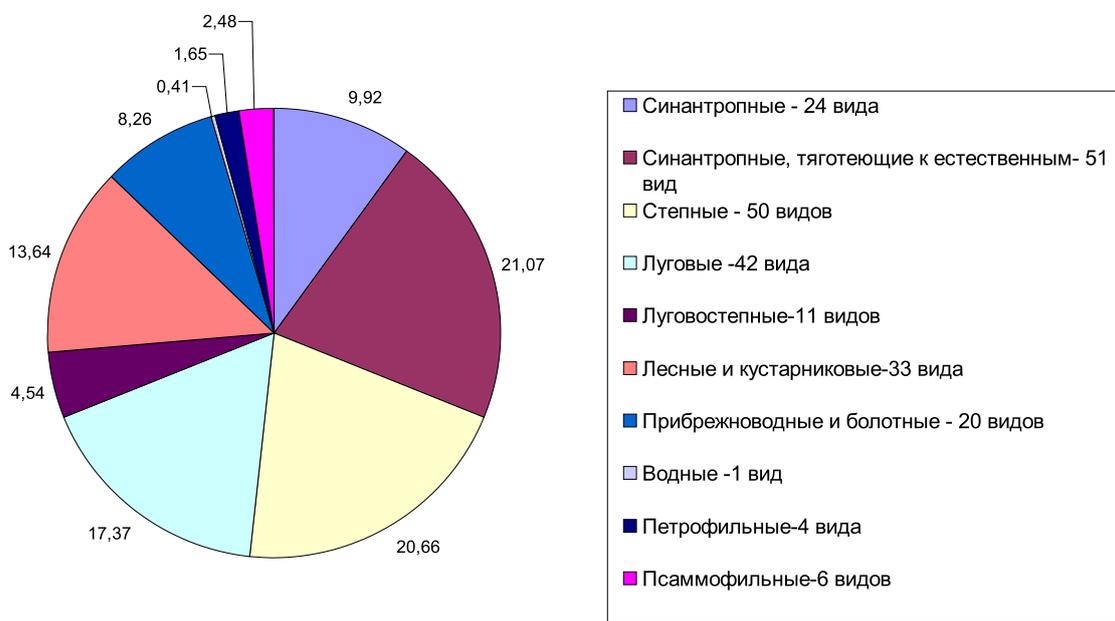


Рис. 2. Отображение формационной структуры флоры Кундрюченского охотхозяйства по фитоценотипам (в процентном соотношении от общего числа видов)

3(R) – *Inula helenium* L. (окрестности хут. Мостовой), *Salix caprea* L. (окрестности хут. Черни), *Acorus colamus* L. (окрестности хут. Мостовой), *Astragalus verticillatus* L. (окрестность хут. Огиб), *Polygonatum multiflorum* (L.) All. (окрестности хут. Мостовой), *Gladiolus tenuis* Bieb. (окрестности хут. Мостовой), *Convallaria majalis* L. (окрестности хут. Мостовой), *Pulsatilla pratensis* (L.) Mill. (окрестности хут. Огиб), *Corydalis morschalliana* Pers. (окрестности хут. Мостовой) – все эти виды отнесены к редким: виды, имеющие небольшое количество популяций, разбросанные на небольшой территории, или разрозненно на значительной территории. В данную категорию также включены виды, ранее более широко распространенные, но сохраняющие

тенденцию к прогрессивному сокращению своего ареала обитания и численности из-за прямого уничтожения, то есть потенциально имеющие возможность восстановить свою численность при снятии данного фактора.

4(I) – *Astragalus dasyantus* Pall. (окрестности хут. Огиб) – виды имеющие неизвестный статус: данные виды относятся, возможно, к предыдущим категориям, установление статуса этих видов нуждается в дальнейших исследованиях, данные об этих видах и указания о их нахождении в области в данный период времени нуждаются в проверке.

Выполненный анализ позволил установить для исследуемой флоры 10 видов категории редкости 3(R), что в процентном соотношении от общего количества редких видов

в Ростовской области составляет 4,67%, а от общего числа видов в изучаемой флоре – 4,13%, 3 вида категории редкости 2(V), 1,40% и 1,23% соответственно и 1 вид категории редкости 4(I), что составляет 0,46% в процентном соотношении от общего числа редких видов во флоре Ростовской области, и 0,41% от общего количества видов во флоре Кундрюченского охотничьего хозяйства.

Выводы

1. Результаты проведенных исследований систематической структуры растительного разнообразия Кундрюченского охотничьего хозяйства и небольшие расхождения, которые были получены в ходе этих исследований, с показателями для растительного разнообразия Нижнего Дона можно объяснить уникальными особенностями экологических условий исследуемой территории, в целом же полученные показатели для исследуемой флоры и фоновой флоры Нижнего Дона являются сходными.

2. По системе биоморф разработанной И.Г. Серебряковым во флоре Кундрюченского охотничьего хозяйства значительную часть занимают травянистые растения, а по системе биоморф, разработанной К. Раункиером – гемикриптофиты. Полученные результаты исследования указывают на то, что преобладающая доля синантропных видов неотъемлемо связана со значительным количеством антропогенных нагрузок (выпас скота, сенокос, близкое расположение населенных пунктов), а преобладание степных видов можно объяснить тем, что фоновая растительность в данном регионе является степной.

3. Полученные результаты в ходе географического анализа полностью согласуются с полученными данными для фоновой флоры Нижнего Дона (преобладающее большинство номадийских, европейских и евразийских видов). Количественное соотношение адвентивных видов сопоставимо с таковым соотношением для аутохтонных элементов (субсредиземноморским, бореальным, голарктическим), что является свидетельством того, что в данном регионе присутствует стабильность и «древность» сложившихся сообществ данной территории.

4. Проведенный анализ флоры будет способствовать формированию плана и стратегии содержания оптимального количества диких копытных животных на данной территории без нанесения ущерба кормовой базе охотничьего хозяйства. Достаточно высокое количество редких видов в исследуемой флоре можно связать с охраняемостью исследуемой территории и в связи с этим можно утверждать о необходимости возвращения данной территории статуса ООПТ.

данной территории статуса ООПТ.

Данное исследование выполнено при государственной поддержке ведущей научной школы Российской Федерации (НШ-3464.2018.11).

Список литературы / References

1. Симонович Е.И., Сидельников В.В. Биоразнообразие Раздорского охотничьего хозяйства Ростовской области. Формирование на примере модельной территории. LAP LAMBERT Academic Publishing GmbH & Co. KG. Germany, 2013. 134 с.

Simonovich E.I., Sidelnikov V.V. Bioraznobraziye Razdorskogo of the hunting ground of the Rostov region. Formation on the example of the model territory. LAP LAMBERT Academic Publishing GmbH & Co. KG. Germany, 2013. 134 p. (in Russian).

2. Миноранский В.А., Туров Ю.П., Иванченко В.Н., Гуда М.Н., Хорошев О.А., Плюхин В.С., Ткаченко Н.Н. Государственные природные заказники областного значения. Ростов н/Д.: «Наш регион», 2012. 202 с.

Minoransky V.A., Turov Yu.P., Ivanchenko V.N., Goode M.N., Horoshev O.A., Plyukhin V.S., Tkachenko N.N. State Natural Wildlife Areas of Regional Value. Rostov on/D.: «Our region», 2012. 202 p. (in Russian).

3. Клеопов Ю.Д. Анализ флоры широколиственных лесов Европейской части СССР. Киев, 1990. 352 с.

Kleopov Yu.D. Analysis of flora of the broad-leaved woods of the European part of the USSR. Kiev, 1990. 352 p. (in Russian).

4. Зозулин Г.М. Леса нижнего Дона. Ростов н/Д., 1992. 208 с.

Zozulin G.M. Lower Don woods. Rostov on/D., 1992. 208 p. (in Russian).

5. Серебряков И.Г. Экологическая морфология высших растений. М.: Высшая школа, 1962. 378 с.

Serebryakov I.G. Ecological morphology of the higher plants. M.: The higher school, 1962. 378 p. (in Russian).

6. Шишлова Ж.Н., Шмараева А.Н., Федяева В.В. Биологическое разнообразие растений особо охраняемой природной территории «разнотравно-типчаково-ковыльная степь» (Ростовская область) // Научные основы охраны и рационального использования растительного покрова Волжского бассейна: материалы трудов XIII съезда русского ботанического общества. Тольятти: Изд. института экологии Волжского бассейна РАН, 2013. Т. III. С. 66–67.

Shishlova Zh.N., Shmarayeva A.N., Fedyaeva V.V. Biological diversity of plants of especially protected natural territory «raznotravno-tipchakovo-kovyl'naya the steppe» (Rostov region) // Scientific bases of protection and rational use of a vegetable cover of the Volga basin: materials of works of the XIII congress of the Russian botanical society. Togliatti: Prod. institute of ecology of the Volga basin of RAS, 2013. T. III. P. 66–67 (in Russian).

7. Шмараева А.Н., Федяева В.В., Дорофеев В.И., Шишлова Ж.Н. Флористические находки в Ростовской области // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Серия: Естественные науки. 2009. № 2 (150). С. 101–105.

Shmarayeva A.N., Fedyaeva V.V., Dorofeev V.I., Shishlova J.N. Floral Findings on the Rostov Region // Scientific-educational and applied journal. University news. North-Caucasian Region. Natural sciences series. 2009. № 2 (150). P. 101–105 (in Russian).

8. Григорьева Н.М. География растений. М: Товарищество научных изданий КМК, 2014. 400 с.

Grigorieva N.M. Geography of plants. M: Association of scientific publications KMK, 2014. 400 p. (in Russian).

9. Федяева В.В., Шишлова Ж.Н., Шмараева А.Н. О распространении некоторых редких и исчезающих видов растений Ростовской области // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Серия: Естественные науки. 2010. № 1 (155). С. 74–78.

Fedyaeva V.V., Shishlova J.N., Shmarayeva A.N. On the Distribution of Some Rare and Disappearing Species of Plants of the Rostov Region // Scientific-educational and applied journal. University news. North-Caucasian Region. Natural sciences series. 2009. № 1 (155). P. 74–78 (in Russian).

10. Демина О.Н. Классификация растительности степей бассейна Дона. Ростов н/Д.: Изд. ЮФУ, 2015. 212 с.

Dyomina O.N. Classification of vegetation of steppes of the basin of Don. Rostov on/D.: Prod. SFU, 2015. 212 p. (in Russian).

УДК 632.954:[633.15+633.853.492+633.63]

ОСОБЕННОСТЬ АНТИДОТНОГО ДЕЙСТВИЯ ИЗОКСАДИФЕН-ЭТИЛА В СОСТАВЕ ПРОТРАВИТЕЛЕЙ СЕМЯН СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР

¹Спиридонов Ю.Я., ¹Чичварина О.А., ²Сиган А.Л., ²Чкаников Н.Д., ²Халиков С.С.

¹ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт фитопатологии»,
р.п. Большие Вяземы, Московская область, e-mail: spiridonov@vniif.ru;

²ФГБУН «Институт элементоорганических соединений им. А.Н. Несмеянова»
Российской академии наук, Москва, e-mail: salavatkhaliakov@mail.ru

Известно, что ежегодные мировые потери важнейших сельскохозяйственных культур из-за отсутствия контроля сорняков составили бы приблизительно 10–15% от достижимого урожая. Поэтому применение гербицидов для борьбы с сорняками является одним из приоритетных направлений в развитии сельскохозяйственного производства для получения высоких урожаев. Однако неконтролируемое использование гербицидов привело к засорению почв их остатками и другим экологическим последствиям (эрозия и засоление почв из-за обильного использования ирригационных систем, истощение водоносных горизонтов, потеря лесных и пр.). Ежегодный ущерб урожаю таких культур, как сахарная свекла, подсолнечник, картофель, соя и рапс, отличающихся особенно высокой чувствительностью к остаткам некоторых действующих веществ сульфонилмочевин и имидазолинов, достигает 20%. Для защиты всходов культурных растений от почвенных остатков гербицидов класса сульфонилмочевин предложено использовать антидот – изоксадифен-этил (ИДЭ). Этот антидот был ранее рекомендован компанией Bayer Crop Science для снятия фитотоксического действия последующих гербицидов йодосульфурон-метил-натрий и форамсульфурон при их совместном применении на зерновых культурах путем опрыскивания в период вегетации. Авторами настоящей статьи впервые предложено использовать ИДЭ в составе протравителя для снятия фитотоксического действия гербицида Зингер, СП (60% метсульфурон-метил) при его остатке в почве от 1 до 2,5 г/га. Показана возможность использования ИДЭ в составе рецептур ранее разработанных суспензионных и эмульсионных форм протравителя на кукурузе, рапсе и сахарной свекле. Подтверждено, что суспензионная форма протравителя с добавлением ИДЭ более эффективна, чем эмульсионная форма. Комплексный протравитель, содержащий ИДЭ в норме от 50 до 200 г/л, снимал токсическое действие гербицида Зингер от 27 до 50% на кукурузе. Увеличение нормы расхода ИДЭ с 100 до 200 г/л не приводило к увеличению антидотного действия. Выявлены стимулирующие в сравнении с контролем (вода) свойства ИДЭ. Испытания суспензионных форм протравителя с ИДЭ на семенах гибрида сахарной свеклы Кариока в норме 10–100 г/л показали, что эти композиции не обладают антидотным действием, но все эти композиции обладают высокой стимулирующей активностью (от 51,1 до 100%) на почвах, не обработанных гербицидом.

Ключевые слова: гербициды, остатки сульфонилмочевин, антидоты, снятие токсического действия, кукуруза, рапс, сахарная свекла

SPECIAL FEATURES OF ANTIDOTE ACTIVITY OF ISOXADIFENE-ETHYL IN COMPOSITION OF PROTECTANTS OF SEEDS OF AGRICULTURAL CROPS

¹Spiridonov Yu.Ya., ¹Chichvarina O.A., ²Sigan A.L., ²Chkanikov N.D., ²Khalikov S.S.

¹All-Russian Research Institute of Phytopathology, Bolshie Vyazemy, Moscow region,
e-mail: spiridonov@vniif.ru;

²A.N. Nesmeyanov Institute of Organoelement Compounds, Russian Academy of Sciences,
Moscow, e-mail: salavatkhaliakov@mail.ru

It is known that the annual world losses of important crops due to lack of control of weeds can equal about 10-15% of the achievable yield. Therefore, the use of herbicides for control of weeds is one of the priori directions in development of agricultural production for obtaining high yields. However, uncontrolled use of herbicides led to clogging of soils with their residues and other environmental consequences (erosion and salinization of soils due to abundant use of irrigation systems, depletion of aquifers, loss of forest, etc.). Annual damage to crops such as sugar beets, sunflower, potatoes, soybeans and rapeseeds, which are especially sensitive to the residues of certain active substances of sulfonylureas and imidazolinones, reaches 20%. To protect the emergence of cultivated plants from soil residues of herbicides of the sulfonylurea class, it has been suggested to use antidote isoxadifen-ethyl (IDE). This antidote was previously recommended by Bayer CropScience to remove the phytotoxic effect of post-emergence herbicides iodosulfuron-methyl-sodium and foramsulfuron when combined in cereal crops by spraying during the growing season. The authors of the present article suggested for the first time to use the IDE in composition of the protectant to remove the phytotoxic effect of the herbicide Singer, SP (60% methsulfuron-methyl) with its residue in the soil from 1 to 2.5 g / ha. The possibility of using the IDE in formulation of the previously developed suspension and emulsion forms of protectant in maize, rapeseed and sugar beet is shown. It was confirmed that suspension form of the protectant with the addition of IDE is more effective than the emulsion form. Complex etchant, the content of IDE in the normal range from 50 to 200 g / l, removed the toxic effect of herbicide Singer from 27 to 50% on corn. The increase in the rate of consumption of IDE from 100 to 200 g / l did not lead to an increase in the antidote effect. The properties of IDE stimulation in comparison with the control (water) have been revealed. Tests of the suspension forms of the protectant with IDE on the seeds of sugar beet grade Karioka in the norm of 10-100 g / l showed that these compositions do not have antidote activity, but all these compositions have high stimulating activity (from 51.1 to 100%) in soils, not treated with herbicide.

Keywords: herbicides, residues of sulfonylureas, antidotes, removal of toxic effect, corn, rapeseed, sugar beet

Борьба с сорняками, оставаясь одной из приоритетных задач современного сельскохозяйственного производства, приводит к засоренности почв остатками гербицидов, которые не только создают экологические проблемы для ближайшего будущего, но и негативно воздействуют на культуру, посев которой запланирован на следующий год. Это особенно актуально в случае посева корнеплодов (сахарная свекла, картофель и пр.) [1]. Для решения вопросов защиты чувствительной культуры от почвенных остатков гербицидов ряда сульфонилмочевин еще в конце прошлого века был предложен ряд веществ, в том числе оригинальных, выполняющих роль антидотов [2]. Однако это направление работ не имело продолжения в силу ряда объективных и субъективных причин (остановка работы химических заводов, прекращение производства собственных пестицидов, антидотов и пр.). В последние годы западными фирмами стало активно развиваться направление совместного использования гербицидов с антидотами для защиты культурного растения в период вегетации [2, 3].

Целью настоящей работы было установление возможности использования так называемого антидота вегетационного периода (изоксадифен-этила [4]) при включении его в состав протравителей, используемых для обработки посевного материала изучаемых культур, чтобы защитить их от остатков гербицида в почве.

Для выполнения поставленной цели был выполнен ряд задач:

1) подбор рецептур препаративных форм на основе изучения физико-химических свойств ИДЭ, разработка оптимальных составов многокомпонентных протравителей, оценка их технологических параметров и выявление препаратов для проведения биологических испытаний;

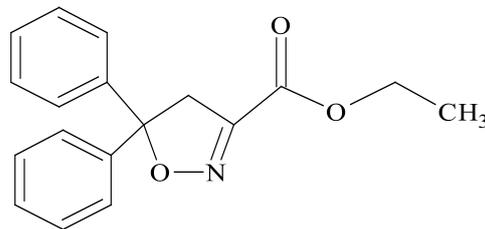
2) изучение антидотного действия предложенных по п. 1 протравителей для предпосевной обработки семян кукурузы, рапса и сахарной свеклы.

Материалы и методы исследования

Исходное соединение (ИДЭ, этиловый эфир- 4,5-дигидро-5,5-дифенил-изоксазол-3-карбоновой кислоты) было получено по методике [5] реакцией конденсации 1,1-дифенилэтилена с этиловым эфиром нитроуксусной кислоты в присутствии 1,4-диазацикло[2.2.2]октана в качестве катализатора.

Чистота продукта контролировалась методом ВЭЖХ (колонка Nupersil Elite C18,

150 x 4,6 мм, элюент CH_3CN – вода = 50:50, расход 1 мл/мин, температура термостата колонки 30 °С, УФ 220 нм).



Для изучения антидотного действия ИДЭ в составе протравителя была использована следующая схема исследования:

1. Сначала индивидуально антидот ИДЭ готовили в виде суспензионных и эмульсионных форм. Количество антидота ИДЭ в них варьировалось от 1 до 100 г/л.

2. Антидотную активность суспензионной и эмульсионной форм ИДЭ определяли после обработки ими семян гибрида кукурузы Астерин и семян сорта рапса ярового Мерано в норме от 1 до 100 г/т семян.

3. Комплексные антидотные протравители (с включением фунгицидов тебуконазола /ТБК/ и тиурама /ТМТД/) готовили в виде суспензионного концентрата с содержанием ИДЭ 50, 100 и 200 г/л.

4. Антидотную активность комплексных препаратов (ТБК, ТМТД, ИДЭ) определяли после обработки ими семян гибрида кукурузы Краснодарский 291 АМВ в норме 50–200 г/л, семян сорта рапса ярового Ратник в норме 10–100 г/л и семян гибрида сахарной свеклы Кариока в норме 10–100 г/л.

Препараты готовились по методике, описанной ранее в работе [6]. При этом были получены суспензионные и эмульсионные препараты на основе ИДЭ, которые испытаны в ЛИК (камеры фирмы «Фетч», ФРГ) в виде рабочих растворов (РР) с нормами 1, 10 и 100 г/л. Изучение антидотного действия препаративных форм ИДЭ проводили согласно методике, описанной в работе [6]. Обработку почвы гербицидом Зингер, СП (60% метсульфурон-метил) проводили в дозе 0,5; 1,0 и 2,5 г/га.

Результаты исследования и их обсуждение

Как известно, МайсТер является гербицидом системного действия и, перемещаясь по всему сорному растению с восходящим и нисходящим током питательных веществ, он поражает биохимическую мишень – фермент ацетолактатсинтетазу, участвующий в цепи биосинтеза аминок-

кислот, нарушает процессы синтеза белков, что вызывает прекращение деления клеток в меристемных тканях [4]. Препарат высокоэффективен против однолетних и многолетних злаковых и двудольных сорняков в посевах кукурузы. Благодаря содержанию антидота (ИДЭ) обеспечивается высокая селективность к обрабатываемой культуре, и поэтому препарат хорошо переносится большинством зарегистрированных сортов и гибридов кукурузы в рекомендованных нормах внесения.

В отличие от рекомендаций компании Bayer Crop Science по применению препарата МайсТер, нами рассматривалась возможность использования ИДЭ в составе протравителя для снятия токсического действия почвенных остатков гербицида из производных сульфонилмочевины на всходы культурного растения (кукуруза, рапс). Гербицид Зингер, СП в дозе 8–10 г/га широко применяется в борьбе с широколиственными сорняками в посевах зерновых

колосовых культур практически во всех регионах РФ. Существенным недостатком данного гербицида является длительное (от 12 до 18 месяцев) сохранение его фитотоксических остатков в почве, которые приносят существенный ущерб урожаю последующих в севообороте кукурузы и рапса. Полученные результаты представлены в табл. 1.

Анализ полученных результатов показал, что:

1) на изучаемых культурах суспензионная форма ИДЭ более эффективна, чем эмульсионная, что подтверждено следующими данными:

– при норме 100 г/л ИДЭ в суспензии проявил наибольшую активность на кукурузе (снижение массы тест-растений кукурузы составило 37%);

– наибольший антидотный эффект на рапсе наблюдался при использовании суспензионной формы в норме 10 г/л (снижение массы тест-растений рапса составило 58,8%).

Таблица 1
Антидотная активность суспензионных и эмульсионных форм ИДЭ

Вариант	Норма применения антидота ИДЭ, г/т семян	Доза гербицида Зингер, СП, г/га	Надземная масса тест-растений (ср. по повторностям), г	Снижение массы тест-растений, % к безгербицидному контролю
Кукуруза				
Эмульсионная форма	1	2,5	1,8	66,7
	10		3,0	44,4
	100		1,8	66,7
Суспензионная форма	1		1,4	74,1
	10		2,3	57,4
	100		3,4	37,0
Контроль гербицидный (Зингер, СП)	–		1,8	66,7
Контроль безгербицидный (вода)	–	–	5,4	0
НСР ₀₅			0,6	
Рапс				
Эмульсионная форма	1	1,0	0,6	64,7
	10		0,3	82,4
	100		0,6	64,7
Суспензионная форма	1		0,5	70,6
	10		0,7	58,8
	100		0,2	88,2
Контроль гербицидный (Зингер, СП)	–		0,4	76,5
Контроль безгербицидный (вода)	–	–	1,7	0
НСР ₀₅			0,6	

Таблица 2

Антидотная активность комплексных протравителей с ИДЭ при обработке семян гибрида кукурузы Краснодарский 291 АМВ

Состав протравителя (норма расхода ФМ-4, г/л)	Доза гербицида Зингер, СП, г/га	Надземная масса тест-растений (ср. по повторностям), г	Снижение массы тест-растений, % к безгербицидному контролю	«Антидотный» эффект, % к гербицидному контролю (Зингер, СП)
Композиция I (50)	–	10,0	–14,9	–
	2,5	5,6	35,6	–27,3
Композиция II (100)	–	10,9	–25,3	–
	2,5	6,6	24,1	–50,0
Композиция III (200)	–	9,3	–6,9	–
	2,5	6,3	27,6	–43,2
Композиция 0 – эталон	–	10,6	–21,8	–
	2,5	5,4	37,9	–22,7
Контроль гербицидный (Зингер, СП)	2,5	4,4	49,4	0
Контроль безгербицидный (вода)	–	8,7	0	–
НСР ₀₅		1,4		

Пр и м е ч а н и е . Отрицательные значения – стимуляция роста растений.

С учетом этих данных нами готовились комплексные протравители в виде суспензионных концентратов с применением таких формообразующих компонентов, как пропиленгликоль (ПЭГ-400), натриевая соль карбоксиметилцеллюлозы (Na-КМЦ), эмульгатор-пленкообразователь (Тренд-90) и следующих действующих веществ:

- фунгицида ТБК – 25,0 г/л;
- инсектофунгицида ТМТД – 200,0 г/л;
- антидота ИДЭ – 10, 25, 50, 100 и 200 г/л;

Препараты представляли собой суспензионные концентраты, образующие стабильные рабочие растворы, используемые для протравливания семян гибрида кукурузы Краснодарский 291 АМВ, семян сорта рапса ярового Ратник и семян гибрида сахарной свеклы Кариока. По результатам испытаний на семенах кукурузы (табл. 2) установлено, что комплексный протравитель, содержащий ИДЭ в норме от 50 до 200 г/л, снимал фитотоксическое действие гербицида Зингер (при его остатке в почве в 2,5 г/га) от 27 до 50%. Также обнаружено, что увеличение нормы расхода ИДЭ с 100 до 200 г/л не приводило к усилению антидотного действия. Кроме того, выявлены стимулирующие в сравнении с контролем (вода) свойства ИДЭ. Наибольший стимулирующий эффект наблюдался в композиции II, содержащей 100 г/л антидота ИДЭ, выражающийся в 25,3% (по сравнению с контролем – вода) и 3,5%

(по сравнению со стандартом – комплексный протравитель без ИДЭ). Следовательно, оптимальной нормой применения ИДЭ в комплексном протравителе нами определено значение 100 г/л.

Аналогично были испытаны суспензионные протравители с содержанием ИДЭ в норме 10–100 г/л на семенах рапса ярового сорта Ратник. Результаты испытаний (табл. 3) показали, что лишь композиция IV с нормой 100 г/л показала антидотный эффект (54,5%) по сравнению с гербицидным контролем, а все остальные композиции с нормой ИДЭ от 10 до 50 г/л обладали стимулирующим действием на почвах, не обработанных гербицидом. Стимулирующий эффект проявлялся от 11,1 до 44,4%.

Испытания суспензионных форм протравителя с ИДЭ на семенах гибрида сахарной свеклы Кариока в норме 10–100 г/л показали, что композиции с ИДЭ не обладают антидотным действием (табл. 4). Однако все композиции обладают высокой стимулирующей активностью на почвах, не обработанных гербицидом – от 51,1 до 100%.

Выводы

Показана возможность применения известного антидота ИДЭ в составе комплексного протравителя при предпосевной обработке семян кукурузы, рапса и сахарной свеклы для снятия токсического действия

почвенных остатков гербицида метсульфон-метила. При обработке протравителем, содержащим ИДЭ в норме от 50 до 200 г/л, семян гибрида кукурузы Краснодарский 291 АМВ обнаружено снятие фитотоксического действия гербицида Зингер (при его остатке в почве в 2,5 г/га) от 27 до 50%. Обработка же семян рапса ярового сорта Ратник протравителем с ИДЭ в норме 100 г/л

обнаружен 54%-ный антидотный эффект. Антидотных свойств этих композиций не обнаружено при обработке ими семян гибрида сахарной свеклы Кариока. Все приготовленные композиции с включением в свой состав ИДЭ обладали высокими показателями стимулирующей активности при обработке ими семян всех видов изученных культур.

Таблица 3

Антидотная активность комплексных протравителей с ИДЭ при обработке семян рапса ярового сорта Ратник

Вариант композиции (содержание ИДЭ, г/л)	Доза гербицида Зингер, СП, г/га	Надземная масса тест-растений (ср. по повторностям), г	Снижение массы тест-растений, % к безгербицидному контролю
Композиция I (10)	–	3,3	–22,2
	0,5	1,1	59,3
Композиция II (25)	–	3,9	–44,4
	0,5	1,1	59,3
Композиция III (50)	–	3,3	–22,2
	0,5	1,6	40,7
Композиция IV (100)	–	3,3	–22,2
	0,5	2,1	22,2
Композиция 0 – эталон	–	3,1	–14,8
	0,5	1,2	55,6
Контроль гербицидный (Зингер, СП)	0,5	1,6	40,7
Контроль безгербицидный (вода)	–	2,7	0
НСР ₀₅		0,6	

Примечание. Отрицательные значения – стимуляция роста растений.

Таблица 4

Антидотная активность комплексных протравителей с ИДЭ при обработке семян гибрида сахарной свеклы Кариока

Вариант композиции (содержание ИДЭ, г/л)	Доза гербицида Зингер, СП, г/га	Надземная масса тест-растений (ср. по повторностям), г	Снижение массы тест-растений, % к безгербицидному контролю
Композиция I (10)	–	7,6	–68,9
	0,5	0,6	86,7
Композиция II (25)	–	9,0	–100,0
	0,5	0,7	84,4
Композиция III (50)	–	6,2	–37,8
	0,5	0,7	84,4
Композиция IV (100)	–	6,8	–51,1
	0,5	0,7	84,4
Композиция 0 – эталон	–	7,1	–57,8
	0,5	0,7	84,4
Контроль гербицидный (Зингер, СП)	0,5	0,5	88,9
Контроль безгербицидный (вода)	–	4,5	0
НСР ₀₅		0,9	

Примечание. Отрицательные значения – стимуляция роста растений.

Список литературы / References

1. Спиридонов Ю.Я., Хохлов П.С., Шестаков В.Г. Антродоты гербицидов // *Агрохимия*. 2009. № 4. С. 81–91.

Spiridonov Yu.Ya., Khokhlov P.S., Shestakov V.G. Antidotes of herbicides // *Agricultural Chemistry*. 2009. № 4. P. 81–91 (in Russian).

2. Яблонская Е.К., Котляров В.В., Федулов Ю.П. Антродоты гербицидов сельскохозяйственных культур (Обзор) // *Научный журнал КубГАУ*. 2013. № 94 (10). URL: <http://ej.kubagro.ru/2013/10/pdf/33.pdf> (дата обращения: 06.09.2018)

Yablonskaya E.K. The Herbicides Antidotes of Agricultural Crops (Overview) // URL: <http://ej.kubagro.ru/2013/10/pdf/33.pdf> (data obrashheniya: 06.09.2018) (in Russian).

3. Государственный каталог пестицидов и агрохимикатов, разрешенных к применению на территории Российской Федерации. М., 2015 735 с.

The state catalog of the pesticides and agrochemicals allowed for use in the territory of the Russian Federation. M., 2015. 735 p. (in Russian).

4. Миханькова Т.А., Кириленко Е.И., Редюк С.И. Новый гербицид майстер для прополки кукурузы // *Защита и карантин растений*. 2010. № 2. С. 38.

Makhankova T.A., Kirilenko E.I., Redyuk S.I. A New Herbicide Maister for Corn Weeding // *Zashhita i karantin rastenij*. 2010. № 2. P. 38 (in Russian).

5. Cremonesi G., Croce P.D., Fontana F., Fiorelli C., La Rosa C. Stereoselective synthesis of β,ϵ -dihydroxy- α -amino acids by ring opening of 4,5-dihydroisoxazolyl derivatives, *Tetrahedron: Asymmetry*. 2008. № 19. P. 2850–2855.

6. Халиков С.С., Чкаников Н.Д., Спиридонов Ю.Я., Глинушкин А.П. Новый препарат для предпосевной обработки семян с комплексной защитой от болезней и остатков гербицидов в почве // *Агрохимия*. 2016. № 6. С. 39–45.

Khalikov S.S., Chkanikov N.D., Spiridonov J.Y., Glinushkin A.P. The New Drug for Pre-Treatment of Seeds with Comprehensive Protection against Diseases and Herbicide Residues in Soil // *Agricultural Chemistry*. 2016. № 6. P. 39–45 (in Russian).

УДК 630*945.14

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ЛЕСНОМ ХОЗЯЙСТВЕ

Черных А.И., Годовалов Г.А.

*Уральский государственный лесотехнический университет, Екатеринбург,
e-mail: chermnykh_artem@mail.ru*

Рассмотрены аспекты применения информационных технологий в лесном хозяйстве РФ. Предложены рекомендации по формированию единой ГИС-ориентированной информационной системы для лесного хозяйства. Указаны преимущества использования информационных технологий и баз данных при анализе лесного фонда по сравнению с использованием бумажных материалов лесоустройства. Предложена замена традиционных методов лесоустройства на непрерывное лесоустройство с постоянным внесением информации о проводимых мероприятиях и изменениях на территории лесного фонда в электронную базу данных. Появление современных ГИС позволяет реально перейти от традиционного лесоустройства к непрерывному с минимальными трудозатратами. Внедрение непрерывного лесоустройства позволит арендаторам и государству точнее анализировать имеющиеся лесные участки при заключении договоров аренды, проектировании хозяйственной деятельности. Работники лесничеств совместно с арендаторами смогут непрерывно корректировать информацию о лесном фонде, стремясь к уменьшению количества ошибок и неточностей, полученных при проведении лесоустроительных работ. Предложено законодательно сформулировать термин «подвыдел». Подвыдел – часть выдела, образовавшаяся в результате изменения характеристики таксационного описания на части площади исходного выдела, в результате хозяйственной деятельности или гибели насаждения. Основной задачей развития информационного внедрения в лесное хозяйство можно считать задачу по созданию совмещенной таксационно-картографической базы данных всех лесничеств, которая позволяла бы вносить в них текущие изменения и иметь актуализированную информацию о лесном фонде. Ведение непрерывного лесоустройства позволит минимизировать затраты на проведение лесоустроительных работ, так как все изменения в лесном фонде будут вноситься в процессе текущих работ в лесном секторе.

Ключевые слова: геоинформационные системы, лесное хозяйство, информационные технологии, таксация, лесоустройство, база данных, АИС ГЛР

INFORMATION TECHNOLOGIES IN FORESTRY

Chermnykh A.I., Godovalov G.A.

Ural State Forest Engineering University, Ekaterinburg, e-mail: chermnykh_artem@mail.ru

The paper deals with the aspects of information technologies used in Russian federation forestry. The advantages of information technologies and database used in forest fund analysis as compared with paper materials in forest management has been pointed out. It has been recommended to change traditional forest management methods into continuous forest management, all the information on measurements carried out as well as changes being taken place on the territory of the forest fund is to be constantly being brought in to electronic database. The appearance of modern GIS makes it possible to really switch from traditional forest management to continuous forest management with minimum labor. The introduction of continuous forest management will allow tenants and the state to more accurately analyze the available forest areas when concluding lease contracts, designing economic activities. Forestry workers together with tenants will be able to continuously update information on the forest fund, seeking to reduce the number of errors and inaccuracies obtained during forest management operations. It is proposed to formulate the term «Mapping subunit» legislatively. Mapping subunit is the part of the unit formed as a result of changes in the characteristics of the taxation description on a part of the area of the original mapping unit, as a result of economic activity or the death of the plantation. The main task of the information introduction development into the forestry can be considered as the task of creating a combined taxation and cartographic database of all forestries, that will allow them to make current changes and have updated information about the forest fund. Conducting a continuous forest inventory will minimize the costs of forest management operations, all changes in the forest fund will be made in the course of ongoing work in the forest sector.

Keywords: geoinformation systems, forestry, information technologies, taxation, forest inventory, database, AIS GLR

Информационные технологии – это совокупность методов и средств, используемых для сбора, хранения, обработки и распространения информации. Современное состояние информатизации лесного хозяйства позволяет надеяться на быстрое и повсеместное внедрение геоинформационных программ на производственные объекты [1–3].

Информационные технологии позволяют увеличивать эффективность природоохранных и хозяйственных функций лесного

хозяйства в несколько раз благодаря возможности быстро и без ошибок обрабатывать большие массивы информации, получать аналитическую статистику по лесному фонду, обрабатывать и проектировать лесохозяйственные мероприятия на больших территориях в кратчайшие сроки. В развитии информационных технологий в лесном хозяйстве заинтересованы все участники лесной сферы, от конечного пользователя лесными ресурсами до госорганов управления лесным фондом.

Цель исследования: проанализировать используемые в лесном хозяйстве информационные технологии для поиска путей дальнейшей автоматизации ведения лесного хозяйства в России.

Материалы и методы исследования

В процессе исследования были изучены законодательные акты, научные статьи по изучаемой проблеме [2–4]. Проанализировано использование программных комплексов MapInfo, ArcGis, Qgis, Excel, Лесфонд, ЛесГис, ТопоL, АИС ГЛР в лесном хозяйстве, изучена документация на данные программные комплексы. Проведено сравнение затрачиваемого времени на выполнение стандартных запросов вручную и при использовании информационных технологий.

Результаты исследования и их обсуждение

Исполнение действующей Государственной программы Российской Федерации «Развитие лесного хозяйства на период 2013–2020 гг.» [2] предусматривает ряд мер по развитию и внедрению информационных технологий в лесное хозяйство. Эти меры направлены в первую очередь на содействие систематизации данных о лесных ресурсах для формирования государственного лесного реестра (ГЛР), свода документированной информации о лесах, об их использовании, охране, защите и воспроизводстве. Данные ГЛР – это информационная составляющая автоматизированной информационной системы государственного лесного реестра (АИС ГЛР), подсистема Единой автоматизированной информационной системы Федерального агентства лесного хозяйства (ЕАИС Рослесхоза). К сожалению, АИС ГЛР является только первым шагом к полному внедрению в лесное хозяйство информационных технологий. АИС ГЛР не преследует своей целью создать актуальную, полную и достоверную базу данных (БД) по лесному фонду. Источники информации для ГЛР имеют различный срок давности, а их сбор и систематизация требуют больших затрат. Данные часто противоречат, так как основаны на материалах лесоустройства, проведенного десятки лет назад. При вводе данных в АИС ГЛР они только преобразовываются из бумажного вида в электронный, конечные лесопользователи не получают никакой пользы от такой информации. АИС ГЛР направлена на автоматизацию документооборота госструктур и сбор отчетности.

Традиционная организация лесоустройства подразумевает периодическое, желательно 1 раз в 10 лет, а фактически до 20 и более лет, установление характеристик лесных насаждений и земель лесного фонда, проектирование мероприятий по их использованию, охране, защите и воспроизводству лесов. Статичный характер информации о лесном фонде является главным недостатком существующей системы лесоустроительных работ.

В настоящее время площадь лесов, давность лесоустройства которых не превышает нормативную – 10 лет, составляет не более 30 %. Согласно «Стратегии развития лесного комплекса Российской Федерации на период до 2020 г.» предполагается, что ежегодные объемы лесоустройства должны составлять 20–25 млн га. Недостаточное финансирование лесоустроительных работ не позволит актуализировать таксационные и картографические базы данных предыдущего лесоустройства и, соответственно, вести полноценный государственный лесной реестр.

Для решения ситуации с актуальностью лесоустроительной информации следует полностью переходить на использование геоинформационных систем (ГИС) и ведение БД лесных участков. Средний арендуемый лесной участок в РФ состоит из пяти тысяч выделов, обработать таксационные описания, провести анализ и принять проектные решения без использования информационных технологий невозможно в разумные сроки, вследствие чего арендаторы с развитием электронно-вычислительных машин до современного уровня стали активно использовать ГИС и БД при ведении лесного хозяйства [3].

В настоящее время в Российской Федерации нет законодательно утвержденных работающих ГИС технологий, комплексно автоматизирующих все этапы и элементы деятельности предприятий лесного хозяйства. Тем не менее внедрение ГИС в отрасли ведётся активно [4], но децентрализованно. Понимание необходимости этих технологий растёт быстро и на всех уровнях.

Во всех регионах РФ используются разные подходы к информатизации лесного сектора, начиная с использования специализированных программных комплексов Лесфонд, ЛесГис, ТопоL, заканчивая применением отдельных программных продуктов общего назначения Qgis, MapInfo, ArcGis, Excel.

Применение информационных технологий для решения текущих задач анализа и обработки информации о лесном фонде основано на анализе таксационных описаний и планшетов по отдельности или совместно. В результате оцифровки бумажных материалов лесоустройства создаются электронные базы данных (БД). Сформированные БД могут быть использованы до следующего тура лесоустройства на арендуемом участке.

Облегчить внедрение информационных технологий позволит узаконенное непрерывное лесоустройство. Идея ведения непрерывного лесоустройства возникла еще во второй половине прошлого века, его начали проводить в Советском Союзе в 1970-х гг. В ходе ее реализации была разработана «Методика проведения непрерывного лесоустройства», практической реализацией которой стали трёхлетние работы по непрерывному лесоустройству части лесхозов Челябинского управления лесами. Непрерывное лесоустройство учитывает динамический характер изменений в состоянии лесного фонда и ведении лесного хозяйства [5]. При этом таксатор анализировал проведенные в течение года хозяйственные мероприятия, учитывал последствия прошедших стихийных бедствий и вносил изменения в поведельную таксационную базу данных и тематические лесные карты. Процесс крайне трудоемок, требует привлечения высококвалифицированных специалистов, практически недоступен для лесопользователей и работников лесничеств.

Появление современных ГИС позволяет реально перейти от традиционного лесоустройства к непрерывному с минимальными трудозатратами. Современные электронно-вычислительные машины позволяют обрабатывать и анализировать огромные объемы структурированных данных по состоянию лесного фонда. Не стоит забывать про возможность анализа спутниковых снимков на необходимую территорию. Данные космосъемки при анализе лесного фонда активно применяются во всем мире [6, 7].

Проведение непрерывного лесоустройства позволит обеспечить:

- высокую эффективность лесохозяйственного производства и рациональное непрерывное пользование лесными ресурсами;
- максимальную реализацию проектов организации и развития лесного хозяйства, составленных по материалам базового лесоустройства, с учётом изменений в лесном фонде, происходящих в течение ревизион-

ного периода вследствие осуществления лесопользования, лесохозяйственной деятельности, а также иных воздействий на лес и лесную среду;

- выявление в полном объеме и постоянное уточнение ресурсов древесины по всем видам пользования лесом с учётом интенсивности лесопользования, мест проведения мероприятий, устранения и локализации факторов, неблагоприятно воздействующих на рост и развитие насаждений, их экологическое состояние;

- более гибкое и оперативное управление всеми производственными процессами (начиная от органов контроля, заканчивая конечным пользователем лесного участка) с переходом на электронные формы обмена между ними и другими заинтересованными;

- получение достоверных сведений о состоянии лесов и рациональном использовании лесных ресурсов на арендуемых участках лесного фонда, росте и формировании отдельных насаждений, принятии оперативных мер по устранению недостатков в ведении лесного хозяйства, осуществлении лесозаготовок, других пользований лесом и нежелательных тенденциях в динамике лесного фонда;

- повышение достоверности материалов базового лесоустройства, очищение их от ошибочной информации, сокращение затрат труда на проведение очередного лесоустройства и ведение документации по учёту лесов и лесного кадастра.

Особую ценность материалы непрерывного лесоустройства приобретают при разработке для арендаторов проектов освоения и ведения лесного хозяйства на арендуемых участках лесного фонда. Использование ЭВМ, безусловно, может быть эффективным и на подготовительном этапе заключения арендных отношений для получения экспертных оценок лесного фонда, подбора участков, в наибольшей степени удовлетворяющих потребности арендатора и владельцев лесного фонда.

Как показывает практика, определенные сложности и затруднения возникают при поиске конкретной информации о выделах, образующихся в результате дробления более крупных после проведения лесохозяйственных мероприятий или по другим причинам и занесённым в поведельную базу данных под новым номером. Выходом можно считать использование понятия «подвыдел». Подвыдел – это часть выдела, образовавшаяся в результате изменения характеристики

таксационных описаний на части площади исходного выдела, имеет запись вида 1/3 (выдел 1 подвыдел 3), но, к сожалению, в современных нормативных документах минимальной единицей деления лесного участка является выдел, более мелких градаций не предусмотрено. Чтобы устранить этот недостаток, ряд лесоустроительных предприятий при внесении текущих изменений в повыделную базу данных о новых выделах присваивает им очередной (последний в данном квартале) номер, что облегчает доступ к повыделной информации и позволяет при необходимости перенумеровать части выделов, но это затруднит определение, из какого выдела образовался новый.

Основной задачей развития информационного внедрения в лесное хозяйство можно считать задачу по созданию совмещенной таксационно-картографической базы данных всех лесничеств, которая позволяла бы вносить в них текущие изменения и иметь актуализированную информацию о лесном фонде.

Ведение непрерывного лесоустройства позволит минимизировать затраты на проведение лесоустроительных работ, так как все изменения в лесном фонде будут вноситься в процессе текущих работ в лесном секторе. Лесничий будет вносить произошедшие изменения по лесному фонду в БД ГИС-системы вместо нанесения на бумажный планшет, по трудозатратам это эффективней. К началу следующего тура лесоустройства в лесничестве будет готовая БД, которую останется только актуализировать по возрасту насаждения с учётом естественного прироста древесины за прошедший временной период.

Программа управления базами данных должна позволять выполнять следующие функции:

- просматривать таксационные описания выделов и окрашенные по преобладающим породам карты-схемы лесничеств в масштабе от 1:200 000 до 1:10 000;
- печатать на принтере схему квартала в масштабе от 1:50 000 до 1:10 000;
- вносить любые текущие изменения как в таксационную, так и картографическую базу данных;
- отбирать данные из таксационной и картографической баз по запросам пользователя и получать для просмотра и печати ведомости соответствующих выделов с их таксационной характеристикой;
- проводить по мере внесения текущих изменений учёт лесного фонда, получать

для просмотра и печати его данные по формам ГЛР;

– осуществлять материально-денежную оценку лесосек.

Таким образом, созданные базы данных лесничеств дают возможность оперативного поиска нужной лесоустроительной информации [8, 9] и формирование необходимого документа отчётности с минимальными трудозатратами исполнителя. Например, отбор спелых и перестойных насаждений хвойных пород с учётом категорий защитности по лесничеству займёт не более 5 мин, тогда как по бумажным таксационным описаниям на это уйдёт не менее 5 ч, а с записью данных – несколько дней. Как видим, помощь БД в организации и анализе лесохозяйственных работ огромна. Получение данных учёта лесного фонда по формам ГЛР занимает обычно несколько дней, по уч. лесничеству – неделю, а по лесничеству – месяц. На основе баз данных на это уйдёт 5 мин. Использование табличных редакторов и ГИС-систем для повыделенного анализа лесного фонда уже внедрено практически во всех лесничествах.

По мнению авторов, необходимо разработать единую ГИС программу для лесной отрасли, организовать подготовку общих нормативов ведения баз данных, которые затем будут использованы для ведения непрерывного лесоустройства. В таком случае затраты были бы во много раз меньше, чем в настоящее время, а внедрение информационных технологий в отрасль будет эффективнее.

К примеру, можно рассмотреть ГИС «ЛесФонд», разработанную фирмой «Лаб-Мастер», г. Екатеринбург, она принципиально меняет ситуацию в обработке информации о лесном фонде. Лесопользователи, использующие данную программу при ведении лесного хозяйства, могут сократить финансовые затраты на проведение лесоустроительных работ в 2 раза. При постоянном и непрерывном внесении информации в БД к моменту проведения лесоустройства у лесопользователя будет готовая база данных с актуальной информацией о лесном фонде.

Заключение

Таким образом, использование специализированной программы ГИС лесопользователем и лесничеством практически автоматизирует подготовку документов, необходимых при использовании лесов, исключает повторное внесение информации в повыделную базу данных лесничества,

обеспечивает ее поддержание в актуализированном состоянии, иными словами, обеспечивает непрерывное лесоустройство.

Предлагаемые решения по внедрению ГИС в лесную отрасль уже опробованы частью арендаторов и грамотными лесничими. Для общего внедрения осталось разработать единые нормативы, провести централизацию процесса, поручить лесничим и арендаторам вносить изменения в БД своих лесных участков в процессе хозяйственной деятельности и урегулировать законодательно процесс актуализации лесоустроительных материалов на основе БД ГИС с внесёнными в них изменениями за ревиционный период.

Список литературы / References

1. Геоинформационное картографирование в регионах России: материалы V Всероссийской научно-практической конференции (Воронеж, 19–22 сентября 2013 г.) / Под ред. Ю.А. Нестерова. Воронеж: Издательство «Цифровая полиграфия», 2013. 184 с.
2. Geoinformation mapping in regions of Russia: materials of the All-Russian scientific and practical conference (Voronezh, on September 19–22, 2013) / Under Nesterov's edition by Yu.A. Voronezh: Digital Polygraphy publishing house, 2013. 184 p. (in Russian).
3. Об утверждении государственной программы Российской Федерации «Развитие лесного хозяйства» на 2013–2020 годы. Постановление Правительства РФ от 15.04.2014 № 318 [Электронный ресурс]. URL: <http://pravo.gov.ru/proxy/ips/?docbody=&nd=102349849> (дата обращения: 11.09.2018).
4. About the approval of the state program of the Russian Federation «Forestry development» for 2013 – 2020. Resolution of the Government of the Russian Federation from 4.15.2014 № 318 [Electronic resource]. URL: <http://pravo.gov.ru/proxy/ips/?docbody=&nd=102349849> (data obrashheniya: 11.09.2018) (in Russian).
5. Фомин В.В., Залесов С.В. Географо-генетический подход к оценке и прогнозированию лесных ресурсов с использованием ГИС-технологий // Аграрный вестник Урала. 2013. № 12 (118). С. 18–24.
6. Fomin V.V., Zalesov S.V. Geographic and Genetic Approach to the Evaluation and Prediction of Forest Resources Using GIS-Technologies // Agrarny'j vestnik Urala. 2013. № 12 (118). P. 18–24 (in Russian).
7. Федосова О.И., Чумаченко С.И. Организация непрерывного лесоустройства на примере Филипповского лесничества Владимирской области // Научно-техническая конференция МФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. Мытищи: 2017, С. 49–51.
8. Fedosova O.I., Chumachenko S.I. Organization of continuous forest management on the example of Filippovsky forest area of the Vladimir region // The MF MSTU scientific and technical conference of N.E. Bauman. Mytishchi: 2017, P. 49–51 (in Russian).
9. Гриднев А.Н. Непрерывное лесоустройство – основа устойчивого природопользования // Природа без границ: материалы II Международного экологического форума. Владивосток, 2007. С. 61–64.
10. Gridnev A.N. Continuous forest management – a basis of steady environmental management // Nature without borders: materials II of the International ecological forum. Vladivostok, 2007. P. 61–64 (in Russian).
11. Kou W., Liang C., Wei L., Hernandez A.J., Yang X. Phenology-Based Method for Mapping Tropical Evergreen Forests by Integrating of MODIS and Landsat Imagery. Forests. 2017. 8. P. 34.
12. Nestola E., Sánchez-Zapero J., Latorre C., Mazzenga F., Matteucci G., Calfapietra C., Camacho F. Validation of PROBA-V GEOV1 and MODIS C5 & C6 fAPAR Products in a Deciduous Beech Forest Site in Italy. Remote Sens. 2017. 9. P. 126.
13. Чермных А.И., Оплетаев А.С. Анализ выделенной геобазы с использованием SQL-запросов для определения статистически достоверной информации на примере ГИС MapInfo // Леса России и хозяйство в них. 2013. № 1 (44). С. 53–54.
14. Chermnyukh A.I., Opletaev A.S. Forest data-base analysis with SQL-question for investigate statistic true information in GIS-MapInfo // Lesa Rossii i khozyajstvo v nix. 2013. № 1 (44). P. 53–54 (in Russian).
15. Чермных А.И., Оплетаев А.С., Залесов С.В. Возобновительные процессы под пологом лиственничников в лесах ХМАО-Югры // Актуальные проблемы лесного комплекса. 2012. № 31. С. 78–82.
16. Chermnyukh A.I., Opletaev A.S., Zalesov S.V. The Renewable Processes under the Canopy of Larch Forests in the Khanty-Mansiysk-Ugra // Aktual'ny'e problemy' lesnogo kompleksa. 2012. № 31. P. 78–82 (in Russian).

УДК 550.42:546.36

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ЦЕЗИЯ-137 В ПОЧВАХ ОКРЕСТНОСТЕЙ ГОРОДСКИХ АГЛОМЕРАЦИЙ АРХАНГЕЛЬСКА, СЕВЕРОДВИНСКА И НОВОДВИНСКА

Баженов А.В., Крячюнас В.В., Игловский С.А.

*Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики имени академика
Н.П. Лавёрова Российской академии наук, Архангельск, e-mail: abv-2009@yandex.ru*

В докладах АМАР опубликованы основные уровни радиоактивного загрязнения циркумполярной области Северного полушария. Важно, что накопление радиоактивности происходит на контакте материк – океан. Поверхность арктической зоны имеет высокую степень самоочищения от радиоактивных выпадений. Загрязнение ее поверхности ^{137}Cs варьирует от 1000 до 2500 Бк/м². Сюда же попадает и Архангельская область. Территории с максимальным уровнем загрязнения – это норвежские и канадские берега, Британские о-ва и юг Аляски. В настоящей работе представлены результаты исследования техногенного ^{137}Cs в почвах окрестностей городских агломераций Архангельска, Северодвинска и Новодвинска. Установлено, что максимальные концентрации ^{137}Cs наблюдаются в верхних органических горизонтах, независимо от типа почвы. Иллювиальные горизонты и почвообразующие породы не накапливают техногенного ^{137}Cs . Из всех типов почв, преобладающих в окрестностях г. Архангельска, Северодвинска и Новодвинска, наиболее высокое содержание ^{137}Cs характерно для подзолистых и торфяно-болотных почв, где ^{137}Cs связывается с органическими веществами и теряет свою подвижность. Пойменные почвы не накапливают техногенной радиоактивности, что обусловлено высокой скоростью самоочищения, в результате вертикальной и горизонтальной миграции, под воздействием природных и антропогенных факторов. Геоморфологическое строение местности оказывает существенное влияние на пространственное распределение ^{137}Cs . По степени убывания активности ^{137}Cs в профилях почв, заложенных на различных типах рельефа, можно выстроить ряд: болота – моренные холмы и их склоны – пойма р. Северной Двины.

Ключевые слова: цезий-137, техногенная радиоактивность, почвы, Архангельск, Северодвинск, Новодвинск

RESULTS OF SOIL STUDY CESIUM-137 IN THE SOILS OF URBAN AGGLOMERATIONS OF ARKHANGELSK, SEVERODVINSK AND NOVODVINSK

Bazhenov A.V., Kryauchynas V.V., Iglowskiy S.A.

*N. Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research Russian Academy of Sciences, Arkhangelsk,
e-mail: abv-2009@yandex.ru*

The AMAP published the reports on the main levels of radioactive contamination of the Northern Hemisphere circumpolar region. It is important that the accumulation of radioactivity occurs at the contact between the continent and the ocean. The characteristic feature is the accumulation of technogenic radioactivity at the remote from the pole continent-ocean boundary. The surface of the Arctic zone has a high degree of self-purification from radioactive fallout. Contamination of its surface ^{137}Cs varies from 1000 to 2500 Bq / m². The Arkhangelsk region is also among the polluted areas. The areas with the highest level of pollution are the Norwegian and Canadian shores, the British Islands and the South of Alaska. This work presents the results of a study of technogenic ^{137}Cs in soils of the suburbs of urban agglomerations in Arkhangelsk, Severodvinsk and Novodvinsk. It was found that the maximum concentrations of ^{137}Cs are observed in the upper organic horizons regardless of the type of soil. Illuvial horizons and soil forming rocks do not accumulate technogenic ^{137}Cs . From all types of soils prevailing in the suburbs of the cities of Arkhangelsk, Severodvinsk and Novodvinsk the highest concentration of ^{137}Cs is typical to podzolic and peat bog soils where ^{137}Cs mingles with organic substances and loses its mobility. Floodplain soils do not accumulate technogenic radioactivity due to the high rate of self-purification as a result of vertical and horizontal migration under the influence of natural and anthropogenic factors. The geomorphological structure of the terrain has a significant influence on the spatial distribution of ^{137}Cs . By the degree of decrease of ^{137}Cs activity in the soils' profiles laid on different types of relief we could build a chain: bogs – morain hills and their slopes – Northern Dvina river floodplain.

Keywords: cesium-137, technogenic radioactivity, soils, Arkhangelsk, Severodvinsk, Novodvinsk

В материалах АМАР в 2010 г. [1] представлены уровни радиоактивного загрязнения арктической зоны Северного полушария. На рис. 1 представлена карта распределения суммарной активности ^{137}Cs в этом районе. Такое распределение радиоактивности возникло в результате многолетних выпадений от различных видов источников. Важно, что накопление радио-

активности происходит на контакте материк – океан. В Арктике накопление техногенных изотопов на суше значительно снижается.

Карта (рис. 1.1) показывает, что поверхность арктической зоны имеет высокую степень самоочищения от радиоактивных выпадений. Загрязнение ее поверхности ^{137}Cs варьирует от 1000 до 2500 Бк/м². Тер-

ритории с максимальным уровнем загрязнения – это норвежские и канадские берега, Британские о-ва и юг Аляски. Архангельскую область (рис. 1.2) можно считать территорией со слабым уровнем загрязнения техногенной радиоактивностью [1]. В материалах АМАР 2015 [2] приводится схема загрязнения ^{137}Cs почв Архангельской области. Высокий уровень загрязнения имеет территория Финляндии (до 10000 Бк/кг). Авторы указывают на происхождение радиоактивного загрязнения этой территории от Чернобыльской аварии.

Материалы и методы исследования

В результате экспедиционных работ в окрестностях г. Архангельска, Северодвинска и Новодвинска в период с 2005 по 2015 гг. было опробовано 240 точек, из них отобрано 722 почвенных образца (рис. 2). Техногенная радиоактивность проб определялась по методу геометрии Маринелли (1 л) на гамма-спектрометре «ПРОГРЕСС – 2000». Погрешность при таких измерениях ^{137}Cs составила от 10 до 30% [3].

Результаты исследования и их обсуждение

В подзолистых, дерново-подзолистых и болотных почвах максимальные значения активности ^{137}Cs были определены нами в лесной подстилке. Горизонт A_0 – 385,6 Бк/кг – разрез М-1 (дер. Лапоминка). Почва – подзолистая, суглинистая, отобрана в средней части полого-волнистого склона. Хвойный лес с примесью березы и ольхи. Напочвенный покров: хвойный и лиственный опад, папоротник Линника, редкие кусты брусники, мышинный горошек. Горизонт A_0 – 375,6 Бк/кг – разрез С-7 (г. Северодвинск, болото Масляный мох, 1,5 км от Белого моря). Почва – торфяная, отобрана на верховом болоте (осушенном под строительство дачного кооператива), сформировавшемся на аллювиальных морских отложениях.

В гумусовом горизонте (A_0A_1 , A_1 , A_{1T}): горизонт A_0A_1 – 263,3 Бк/кг – разрез ВЛ-5 (5 км от дороги М8 на п. Васьково). Почва – подзолистая, суглинистая, отобрана на вершине моренного холма. Сосновый лес с примесью березы, осины и рябины. В напочвенном покрове черника, можжевельник, зеленомошник. Горизонт A_1 – 138,4 Бк/кг – разрез ВЛ-9 (1,5 км от дороги М8, в сторону п. Васьково). Почва дерново-подзолистая, суглинистая, отобрана в средней части пологого склона моренного холма. Горизонт

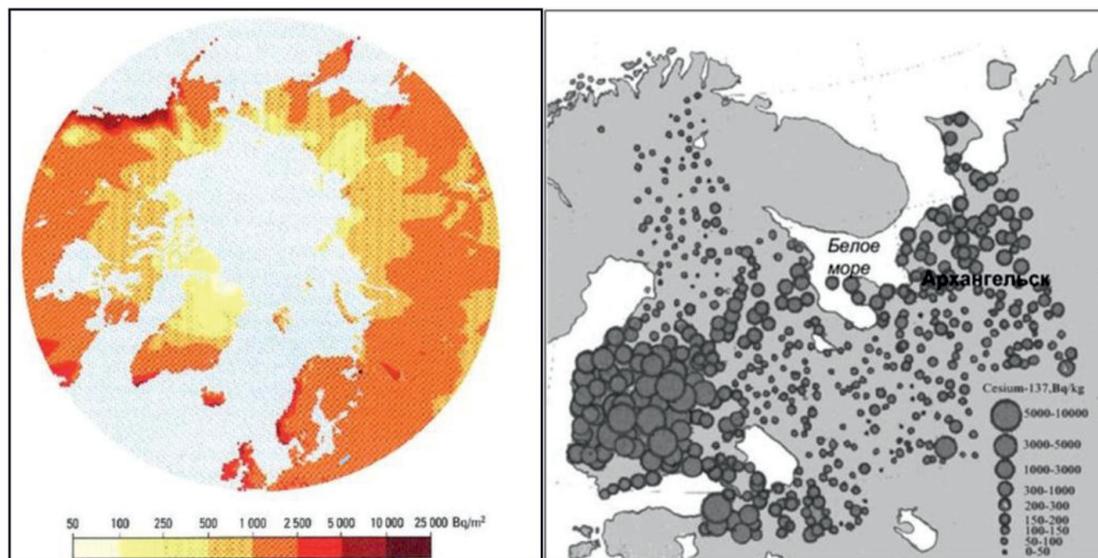
A_{1T} – 154,8 Бк/кг – разрез АС-6 (5 км трассы М8). Торфянистая почва, отобрана в пределах аллювиально-морской равнины в низменном сосновом лесу с примесью березы на границе с болотом. В надпочвенном покрове доминирует хвойный и лиственный опад, черника, брусника. В подзолистом горизонте (A_2) – 15,42 Бк/кг – разрез АЛ-1 (16 км железной дороги Исакогорка – Северодвинск). Почва дерново-подзолистая, супесчаная, на суглинках, отобрана на вершине моренного холма. Смешанный лес (ель, береза, осина). Напочвенный покров – лиственный и хвойный опад, лесное разнотравье. Для иллювиального горизонта в подзолистых и дерново-подзолистых почвах активность ^{137}Cs не превышает 3,4 Бк/кг, а в почвообразующей породе – 3,1 Бк/кг.

В торфяных горизонтах отмечены более высокие значения в горизонте T_1 : 38,93 Бк/кг – разрез Лая-6, верховое болото в районе д. Рикасиха, 111,6 Бк/кг – разрез С-20 верховое болото в районе Кудьмозера, 40,9 Бк/кг – разрез С-24 верховое болото, оз. Кудьмозеро. В горизонте T_2 – 24,07 Бк/кг – разрез С-7, г. Северодвинск, болото Масляный мох.

В дерновых и пахотных почвах активность ^{137}Cs в верхнем горизонте A изменяется в пределах от 5,8 до 53,65 Бк/кг (в лесной луговой почве, в среднем течении р. Лая, на бровке надпойменной террасы, в гумусовом горизонте A_1 – от 2,1 до 29,13 Бк/кг, в иллювиальном горизонте активность достигает лишь от 5,3 до 7,5 Бк/кг.

Среди типов почв, преобладающих в данном районе, можно выделить подзолистые, дерново-подзолистые, болотные, дерновые, пахотные [4]. На рис. 3 демонстрируются полученные средние значения активности ^{137}Cs для упомянутых почв по генетическим горизонтам. Из рис. 3 видно, что накопление ^{137}Cs происходит в гумусовом горизонте. Средняя его активность изменяется от 122 Бк/кг в подзолистых почвах, до 67,4 Бк/кг в дерново-подзолистых почвах и до 121,7 Бк/кг в болотных почвах.

Подстилка до сих пор сохраняет повышенные значения ^{137}Cs , но только относительно минеральной части почвы. В дерновых и пахотных почвах отмечена самая низкая активность ^{137}Cs . Средние значения составляют 16,9 Бк/кг для дернины и 9,8 Бк/кг – для гумусового горизонта. Отмечаются повышенные средние значения в торфяном горизонте T_1 (50,4 Бк/кг), который располагается непосредственно под оторфованным гумусовым горизонтом.



1

2

Рис. 1. Пространственное распределение ^{137}Cs : 1 – на поверхности арктической зоны ($\text{Бк}/\text{м}^2$) [1], 2 – в почвах Архангельского региона и соседних территорий ^{137}Cs ($\text{Бк}/\text{кг}$) [2]



• – точки отбора проб

Рис. 2. Схема опробования почв окрестностей г. Архангельска, Северодвинска и Новодвинска [3]

Проведен анализ распределения ^{137}Cs в органической части почвы и подзолистом горизонте, по выделенным в период экспедиционных работ районам. Полученные результаты демонстрируются на рис. 4. Отобранные почвы в данных районах сформировались под влиянием как

техногенных факторов (выбросов в атмосферу заводов ВПК и ЦБК, осушения болот, вырубок, сельскохозяйственных работ и т.п.), так и при воздействии на них форм рельефа, типов ландшафтов, циркуляции атмосферы, осадков, типа биоценоза и т.п.

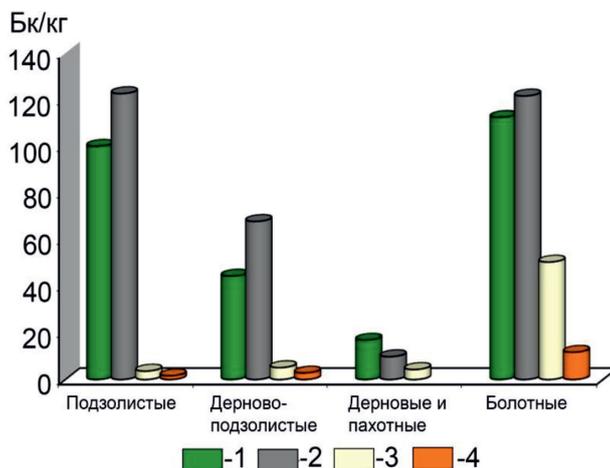


Рис. 3. Изменения средних значений активности ¹³⁷Cs (Бк/кг) в почвах окрестностей г. Архангельска, Северодвинска и Новодвинска: 1 – лесная подстилка (дернина в дерновых почвах), 2 – гумусовый горизонт (оторфованный гумусовый горизонт в болотных почвах), 3 – подзолистый горизонт (в дерновых и пахотных – иллювиальный, в болотных – T₂), 4 – иллювиальный горизонт (в болотных – T₂)

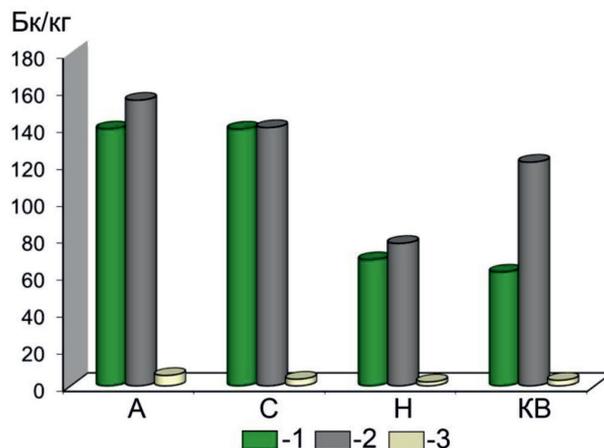


Рис. 4. Средние значения активности ¹³⁷Cs (Бк/кг) в верхних горизонтах подзолистых почв районов экспедиционных работ: А – окрестности г. Архангельска, С – окрестности г. Северодвинска, Н – окрестности г. Новодвинска, KB – район Катунино – Васьково: 1 – лесная подстилка, 2 – гумусовый горизонт, 3 – подзолистый горизонт

Повышенные средние значения ¹³⁷Cs в подстилке и гумусовом горизонте выделены в окрестностях г. Архангельска и Северодвинска. Средние значения активности ¹³⁷Cs для окрестностей Архангельска составляют: для подстилки – 138,9 Бк/кг, для гумусового горизонта – 154,4 Бк/кг, в районе г. Северодвинска: для подстилки – 138,8 Бк/кг, для гумусового горизонта – 139,6 Бк/кг.

Для г. Новодвинска средняя активность ¹³⁷Cs составляет: в подстилке – 68 Бк/кг, в гумусовом горизонте – 77 Бк/кг. В районе п. Катунино – п. Васьково: в подстилке – 61,5 Бк/кг, в гумусовом горизонте – 120,9 Бк/кг. Здесь также наблюдается перемещение центра ак-

тивности ¹³⁷Cs в гумусовый горизонт. В подзолистом горизонте активность ¹³⁷Cs снижается на порядок.

Авторами получены данные по распределению активности ¹³⁷Cs в горизонтах почв в наиболее типичных ландшафтах, слагающих исследуемую территорию, и в болотах (рис. 5). В ходе работ нами были выделены возвышенные участки (микрохолмы и их склоны), не подверженные воздействию паводковых вод, пойменные участки устьевой части р. Северная Двина и впадающих в нее рек и болота, как район со специфическими условиями, отличающимися от возвышенных участков и низменных (поймы р. Северная Двина).

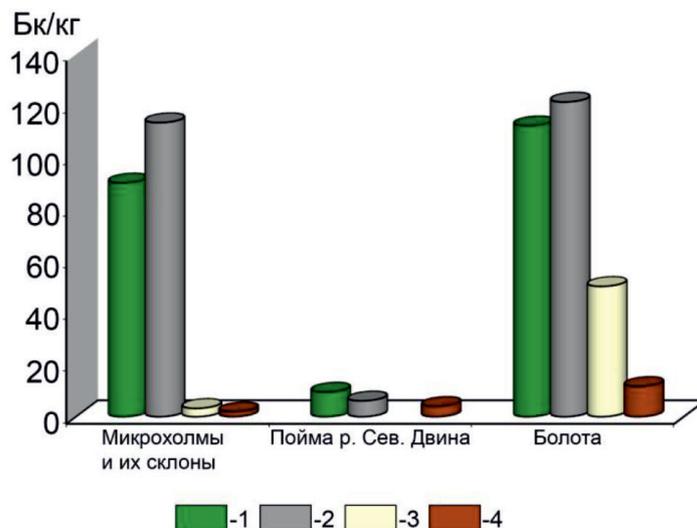


Рис. 5. Изменения средних значений активности ¹³⁷Cs в почвах окрестностей г. Архангельска, Северодвинска и Новодвинска: 1 – лесная подстилка (дернина в дерновых почвах), 2 – гумусовый горизонт (оторфованный гумусовый горизонт в болотных почвах), 3 – подзолистый горизонт (в дерновых и пахотных – иллювиальный, в болотных – T₁), 4 – иллювиальный горизонт (в болотных – T₂)

Генетические горизонты почв речных пойм устьевой части р. Северная Двина не накапливают радиоактивного ¹³⁷Cs. Активность ¹³⁷Cs здесь в органической части почвы изменяется от 3,3 до 15,2 Бк/кг [5].

На микрохолмах и их склонах и болотистых территориях происходит перемещение ¹³⁷Cs в гумусовый горизонт, где получены его максимальные значения. На болотах наблюдается увеличение активности ¹³⁷Cs в первом торфяном горизонте (T₁).

Результаты показывают, что наиболее интенсивно ¹³⁷Cs мигрирует с верхних горизонтов почвы в гумусовый горизонт. Особенно это заметно на вершинах моренных микрохолмов в зоне развития подзолистых почв. Для дерново-подзолистых почв интенсивное перемещение ¹³⁷Cs наблюдается, как на поверхности, так и на полого-волнистых склонах. На болотах повышенные значения ¹³⁷Cs в оторфованном гумусовом горизонте получены на открытых участках.

Выводы

1. Наибольшие концентрации ¹³⁷Cs наблюдаются в верхних органических горизонтах, независимо от типа почвы. Это связано с тем, что лесная подстилка или дернина в пойменных почвах, очес в болотных почвах – первый мощный естественный барьер на пути вертикальной миграции ¹³⁷Cs, в гумусовом горизонте ¹³⁷Cs сорбируется соединениями гуминовых

и фульвокислот. Иллювиальные горизонты и почвообразующие породы не накапливают техногенного ¹³⁷Cs.

2. Из всех типов почв, преобладающих в окрестностях г. Архангельска, Северодвинска и Новодвинска, самое высокое содержание ¹³⁷Cs по почвенному профилю характерно для подзолистых и торфяно-болотных почв, где ¹³⁷Cs связывается с органическими веществами и теряет свою подвижность. Пойменные почвы не накапливают техногенной радиоактивности, что обусловлено высокой скоростью самоочищения, в результате вертикальной и горизонтальной миграции, под воздействием природных и антропогенных факторов (затопление во время паводков, с/х деятельность).

3. Геоморфологическое строение местности оказывает существенное влияние на распределение ¹³⁷Cs в пространстве. По степени уменьшения активности ¹³⁷Cs, в почвах, отобранных на различных видах рельефа, можно выделить следующую последовательность: болота – моренные холмы со склонами – пойма р. Северной Двины.

Работа выполнена при финансовой поддержке ФАНО (проект № АААА-А16-116052710105-1) и УрО РАН (проект № 18-5-5-26).

Список литературы / References

1. AMAP Assessment: Radioactivity in the Arctic. Arctic Monitoring and Assessment Programme (AMAP). Oslo, Norway. 2010. 92 p.

2. AMAP Assessment: Radioactivity in the Arctic. Arctic Monitoring and Assessment Programme (AMAP). Oslo, Norway. 2015. 89 p.

3. Антропов С.Ю., Ермилов А.П., Ермилов С.А., Комаров Н.А., Крохин И.И., Шарапов С.В. Методика измерения активности радионуклидов в счетных образцах на сцинтилляционном гамма-спектрометре с использованием программного обеспечения ПРОГРЕСС. М.: ГП «ВНИИФТРИ», 2010. 41 с.

Antropov S.Yu., Yermilov A.P., Yermilov S.A., Mosquitoes N.A., Krokhin I.I., Sharapov S.V. Metodik of measurement of activity of radionuclides in calculating samples on a scintillation gamma spectrometer with use of the software PROGRESS. M.: GP «VNIIFTRI», 2010. 41 p. (in Russian).

4. Лурье А.А., Кубасова М.С. Современное состояние присутствия ^{137}Cs в компонентах лесных биоценозов Архангельской области // АНРИ. 2015. № 1 (80). С. 41–47.

Lurye A.A., Kubasova M.S. The Actual State on ^{137}Cs Contents in Forest Ecosystems Components of Archangel Region (Russia) // ANRI. 2015. № 1 (80). P. 41–47 (in Russian).

5. Киселев Г.П., Баженов А.В., Зыков С.Б., Дружинин С.В., Киселева И.М. (Архангельск). Радиоактивность донных осадков и прибрежных почв реки Северная Двина в 2013 г. // Труды Архангельского центра Русского географического общества: Сборник научных статей. Выпуск 1. Архангельск: Архангельский центр Русского географического общества, 2013. 398 с.

Kiselyov G.P., Bazhenov A.V., Zykov S.B., Druzhinin S.V., Kiselyova I.M. (Arkhangelsk). Radioactivity of ground rainfall and coastal soils of the river Northern Dvina in 2013 // Works of the Arkhangelsk center of the Russian Geographical Society: Collection of scientific articles. Release 1. Arkhangelsk: Arkhangelsk center of the Russian Geographical Society, 2013. 398 p. (in Russian).

УДК 504.06(571.5)

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ФУНКЦИИ ТЕРРИТОРИЙ С РАЗЛИЧНОЙ СТЕПЕНЬЮ УРБАНИЗАЦИИ В УСЛОВИЯХ ВОСТОЧНОЙ СИБИРИ**Воробьева И.Б.***ФГБУН «Институт географии им. В.Б. Сочавы» СО РАН, Иркутск, e-mail: irene@irigs.irk.ru*

Экологические проблемы сосредоточены в крупных городах и регионах с высокой концентрацией промышленности и плотностью населения. В процессе урбанизации ландшафтные комплексы обеспечивают природную и функциональную целостность территории за счет сохранения средостабилизирующих и средообразующих функций отдельных ландшафтных компонентов. Установлено, что при оценке экологического состояния городской территории разной степени урбанизации (промышленный центр, монопромышленный город и отдельный район) на территории юга Восточной Сибири в условиях резко континентального климата с преобладающим северо-западным ветровым переносом и достаточно расчлененным рельефом изучение экологических функций отдельных ландшафтных компонентов является необходимым условием для поддержания экологического равновесия. Исследования снежного покрова в промышленном центре показали большую мозаичность и пестроту условий снегонакопления, было установлено, что содержание тяжелых металлов в почве зависит от формы рельефа и направления ветровых потоков; в Шелехове в снежном покрове выявлены аномально высокие зоны осаждения элементов к северо-западу и юго-востоку от алюминиевого завода и с захватом большей части жилого комплекса, сельскохозяйственных угодий и садоводческих участков. Установлено, что самые высокие концентрации бенз(а)пирена были обнаружены в верхних горизонтах почв города в промышленной зоне в непосредственной близости от источника загрязнения, с удалением от алюминиевого завода, содержание бенз(а)пирена, естественно, уменьшается, но все равно его концентрации превышали фоновый региональный уровень; специфика расположения и развития Академгородка, отсутствие промышленных зон, наличие больших площадей зеленых насаждений, так что основными источниками загрязнения являются воздушный перенос и автотранспорт, выявлены максимальные концентрации загрязняющих веществ вблизи автомобильных дорог, а на территории Академгородка сохраняется относительно удовлетворительная экологическая ситуация.

Ключевые слова: экологические функции, геохимические исследования, снежный и почвенный покров**ECOLOGICAL FUNCTIONS OF TERRITORIES WITH VARIOUS DEGREE OF URBANIZATION UNDER CONDITIONS OF EASTERN SIBERIA****Vorobeva I.B.***V.B. Sochava Institute of Geography SB RAS, e-mail: irene@irigs.irk.ru*

Environmental problems are concentrated in large cities and regions with a high concentration of industry and population density. In the process of urbanization, landscape complexes ensure the natural and functional integrity of the territory by preserving the environment-stabilizing and environment-forming functions of individual landscape components. It was established that when studying the ecological status of urban areas of different degrees of urbanization (industrial center, single industrial city and a separate region) in the southern part of Eastern Siberia in conditions of a sharply continental climate with prevailing northwest wind transfer and a sufficiently dissected relief, the study of the ecological functions of individual landscape components is necessary condition for maintaining ecological balance. Studies of the snow cover in the industrial center showed great mosaic and variegated conditions of snow accumulation, it was found that the content of heavy metals in the soil depends on the shape of the relief and the direction of wind flows; in Shelekhov, an abnormally high zone of sedimentation of elements to the northwest and southeast of the aluminum plant was revealed in the snow cover and with the capture of a large part of the residential complex, agricultural lands and horticultural plots. It was found that the highest concentrations of benzo (a) pyrene were found in the upper horizons of the city's soils in the industrial zone in the immediate vicinity of the source of pollution, with the removal from the aluminum plant, the content of benzo (a) pyrene naturally decreases, but still its concentrations exceeded the background regional level; the specificity of the location and development of the Academgorodok, the lack of industrial zones, the presence of large areas of greenery, and the main sources of pollution are air transport and vehicles, maximum concentrations of pollutants near roads, and a relatively satisfactory ecological situation remains in the territory of the Academgorodok.

Keywords: ecological functions, geochemical studies, snow and soil cover

Экологические проблемы сосредоточены в районах с высокой долей промышленности и плотностью населения. Ландшафты, преобразованные деятельностью человека, преобладают над природными ландшафтами. Исследования, проведенные при изучении экологических проблем урбанизированных территорий, выявляют компоненты ландшафтов, наиболее быстро реагирующие на техногенные воздействия.

Каждый компонент ландшафта имеет свою структуру, свою композицию и всегда взаимодействует с остальными компонентами. В процессе урбанизированных преобразований ландшафтные комплексы выполняют ряд экологических функций. Экологические функции – это свойства ландшафтных структур сохранять и воспроизводить параметры природной среды, характерные для соответствующих ландшафтов и обу-

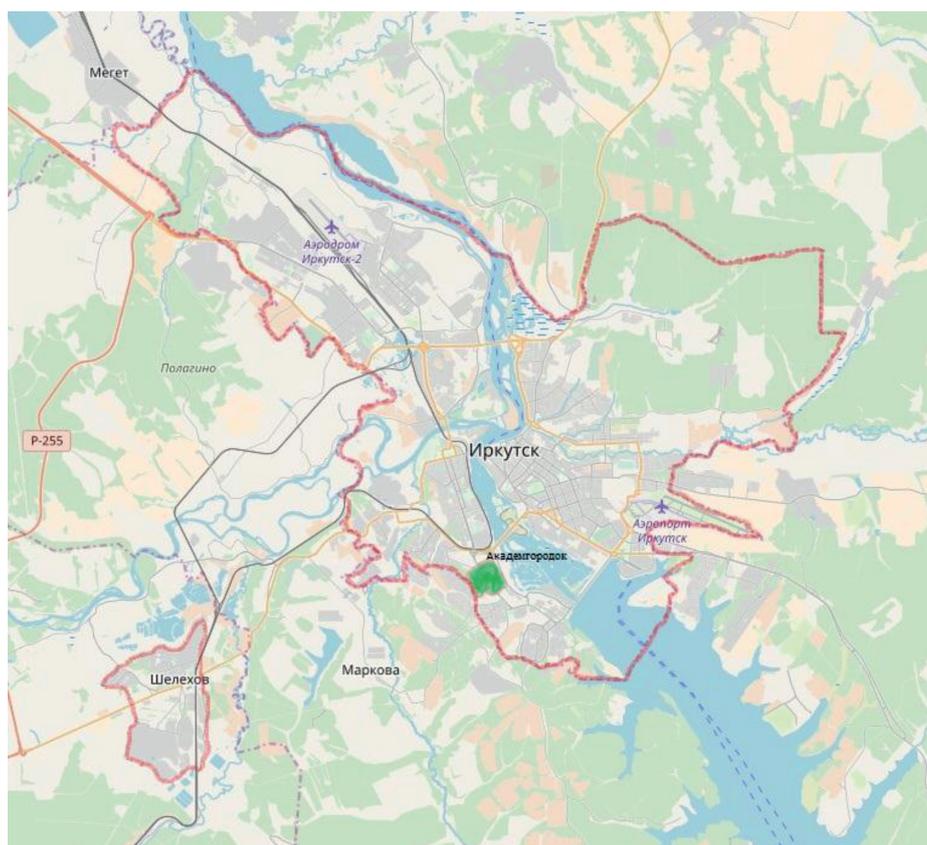
словленные их эволюционными особенностями. Их основная задача – обеспечение природно-функциональной целостности территории за счет сохранения средостабилизирующих и средообразующих функций отдельных ландшафтных компонентов [1].

Геохимические исследования показывают, что существуют функциональные связи между выбросами промышленных предприятий и твердофазными выпадениями из атмосферы на земную поверхность. Это позволяет использовать природные среды, депонирующие осадения, для картирования зон воздействия источников загрязнения. Почва является индикатором геохимической обстановки в ландшафте, потому что она находится на пересечении всех транспортных путей миграции химических элементов. Она фиксирует контуры загрязнения и отражает совокупный эффект многолетнего антропогенного воздействия в условиях с длительным залеганием снежного покрова как показатель загрязнения атмосферы [2].

Цель данной работы – на основе геохимических исследований почвенного и снежного покровов дать характеристику средообразующей функции городской территории разной степени урбанизации при поддержании экологического баланса территории.

Материалы и методы исследования

Для выявления техногенных геохимических зон, формирующихся под воздействием промышленного и автомобильного влияния, были исследованы химический состав снега и почв территорий разной степени урбанизации: г. Иркутск, Шелехов и микрорайон г. Иркутска – Академгородок (рисунки). Было отобрано и проанализировано в Иркутске – 55 проб почв; в Шелехове – 28 проб снега и 20 почв, в Академгородке – 32 пробы снега и 18 почв. Образцы почвы и снега отбирались и анализировались по общепринятым методикам с учетом требований ГОСТов, а затем проводили сравнение с кларками и региональным фоном.



Карта-схема расположения территории исследования:

- границы городской территории;
- границы территории Академгородка;
- — территория Академгородка

Результаты исследования и их обсуждение

Иркутск относится к городам с широким спектром промышленного производства. Население подвергается воздействию загрязненного воздуха, питьевой воды, почвы и продуктов питания. Такая ситуация обусловлена сложным сочетанием собственных загрязняющих веществ и воздействием расположенных вблизи мощных городов Иркутско-Черемховской промышленной агломерации – Ангарска, Шелехова, Усолья-Сибирского. Иркутск расположен в долине реки Ангары, которая направляет потоки воздуха в направлении с северо-запада на юго-восток. Частые инверсии, туманы, отсутствие крупных зеленых массивов, степные ландшафты, превращенные в сельскохозяйственные поля, неудачное расположение промышленных и энергетических объектов способствуют загрязнению городских территорий. Большая часть города лежит в пределах высокой поймы и террас р. Ангары, Иркут, Ушаковка, Кая, Топки и др. Структура поймы р. Иркут и Ушаковки обеспечивает перенос воздушных масс из Шелехова (от алюминиевого завода) в центр города.

Изучение снежного покрова в городе показало на момент исследования, что средняя высота колеблется между 19 и 37 см, что ниже среднего многолетнего (37 см). При этом наблюдается большая мозаичность и разнообразие условий снегонакопления – запасы воды колебались от 31 до 108 мм. Известно, что отклонения от исходных значений рН указывают на низкую производительность. Полученные результаты свидетельствуют о том, что техногенно обусловленные зоны расположены на всей территории города, и это нет возможности выделить какие-то зоны (рН от 6,1 до 7,85, фоновые значения – 5,5). Преобладающее северо-западное направление ветра, рассеивающего техногенную пыль на большие расстояния от источников питания, оказывает большое влияние на формирование зон повышенного содержания сорбированного техногенного вещества в снеге. Основная часть городской территории находится в зоне с содержанием 1089–1425 мг/л твердого вещества, минимальные количества (191 мг/л) приурочены к зеленым зонам (парк Парижской Коммуны, Центральный парк культуры и сосновый лес курорта Ангары). Распространение растворимого фтора показало пеструю картину, содержание элемента изменяется в 30 раз (от 0,5 до 15,5 мг/л). Анализ содержания микро-

элементов в снеговых пробах показал, что сурьма, мышьяк, кадмий не были обнаружены на территории города, а выявленные кобальт, медь и никель со стоком попадают в водоемы и почву.

Почва, являясь менее динамичной и более инерционной системой, чем снег, становится надежным информатором, позволяющим оценить степень техногенного давления на городские территории в течение длительного времени. Почвы газонов представляют большой интерес как основной источник пыли и вторичного загрязнения поверхностного слоя атмосферы тяжелыми металлами.

Результаты исследования выявили колебания в содержании элементов в почве газонов и скверов г. Иркутска (табл. 1). Установлено, что никель, хром, ванадий, марганец и свинец накапливаются на повышенных формах рельефа. Ситуация усугубляется тем, что каждая третья семья (по данным Госкомстата) имеет приусадебные и дачные участки, расположенные в пригородной, а зачастую и в городской зоне, где производится более половины овощей и ягод, а уровень загрязнения почвы значительно выше безопасного. Выявленные особенности химического загрязнения почвенного покрова позволяют говорить о значительной дифференциации городской территории по экологической обстановке.

Территория, в пределах которой расположен город Шелехов, занимает часть Иркутско-Черемховской равнины и предгорья Ольхинского плато. Луговые, степные и подтаежные сосновые ландшафты региона практически полностью изменены интенсивным антропогенным воздействием: техногенным, сельскохозяйственным, рекреационным.

Главной крупной рекой Шелеховского района является Иркут, который существенно влияет на городскую обстановку в связи с большими разливами во время паводков. Город Шелехов и его промышленная зона расположены в нижней части широкой и слабо расчлененной долины реки Иркут. Растительность в городской зоне города в значительной степени формируется искусственными насаждениями, и к настоящему времени они достигли возраста 25–35 лет. Однако в условиях воздействия вредных выбросов промышленных предприятий продолжительность естественной жизни деревьев и насаждений снижается в 2–3 раза. Город Шелехов включен в перечень монопрофильных муниципальных образований Российской Федерации (моно-

родов), где источником загрязнения воздуха является Иркутский алюминиевый завод, который находится в нескольких километрах от города.

По данным снегохимической съемки, выявлено, что аномально высокие площади осаждения элементов простираются на северо-запад и юго-восток и охватывают значительную часть городской жилой застройки, сельскохозяйственных угодий и садоводческих участков. Установлено, что максимальная техногенная нагрузка в промышленной зоне составляет более 20 мкг/м², санитарно-защитной зоне (СЗЗ) – до 18, в жилой – менее 1. Среди наиболее важных загрязнителей почв антропогенной природы выделяются фторсодержащие соединения и бенз(а)пирен. Концентрации водорастворимого фтора в почве уменьшаются по мере их удаления от промышленной площадки, а на самой площадке выделяются участки с содержанием фтора более 14 ПДК. По мере удаления от источника выбросов его содержание уменьшается: в СЗЗ количество водорастворимого фтора колеблется от 6,5 до 3,5 ПДК. Повышенное содержание водорастворимого фтора в почвах промзоны и жилых зданий свидетельствует о постоянном характере четко обоснованного загрязнения территории по розе ветров. Наиболее высокие концентрации бенз(а)пирена обнаружены в верхних горизонтах почв промзоны в окрестностях алюминиевого завода (более 10 ПДК), а также в СЗЗ, до 5 ПДК. С удалением от промышленного предприятия содержание бензо(а)пирена за-

кономерно уменьшается: в СЗЗ до 3–4 ПДК, в городе от 0,9 до 2 ПДК. При этом концентрации бензо(а)пирена всегда превышали фоновый региональный уровень, что свидетельствует о повсеместном загрязнении почв Шелеховского района.

Территория Иркутского Академгородка, расположенная в черте города, сочетает в себе свойства как природных, так и урбанизированных ландшафтов. Особенность развития Академгородка заключается в отсутствии промышленных предприятий и наличии больших площадей зеленых насаждений, жилой площади с комплексом социальной инфраструктуры (школы, детские сады, магазины), а также компактным расположением различных научно-исследовательских институтов Российской Академии наук. Институтские комплексы расположены на верхней части склона и от жилой застройки отделены улицей Лермонтова (одна из самых напряженных магистралей города) [6].

На территории Академгородка преобладает северо-западный атмосферный перенос, и все загрязнения, образуемые северо-западными районами города и комплексами института, оседают в жилых массивах. Жилая зона расположена в нижней части склона, и все загрязнения от таяния снега и дождей переносятся в жилые кварталы. Ново-Иркутская ТЭЦ оказывает интенсивное загрязняющее воздействие на склоны, но поскольку жилые комплексы Академгородка расположены на склоне, обращенном в противоположную сторону, это снижает техногенное воздействие.

Таблица 1

Содержание микроэлементов в почвах г. Иркутска, мг/кг

Элементы	Значения				
	Экспериментальные (n = 55)	Фоновые по А. Кабата-Пендиас, Х. Пендиас [3]	Фоновые по Гребенщикова и др. [4]	Кларк по А.П. Виноградову [3]	ПДК, валовое подвижное [5]
Cu	22–57*	31,9	44,60	20	$\frac{-}{3}$
Pb	14–180	27,06	11,3	10	30
Sr	195–310	297,78	300	300	–
Co	12–98	12,17	17,45	10	$\frac{-}{5}$
V	42–130	81,23	107	200	$\frac{150}{-}$
Cr	11–120	91,02	400	200	$\frac{0,05}{6}$
Mn	500–830	878,68	1200	850	1500
Ni	27–85	46,29	43,35	40	$\frac{-}{4}$

Примечание. * – минимальные и максимальные значения.

Таблица 2

Содержание микроэлементов в почвах Академгородка, мг/кг

Элементы	Значения				
	Экспериментальные (n = 18)	Фоновые по А. Кабата-Пендиас, Х. Пендиас [3]	Фоновые по Гребенщикова и др. [4]	Кларк по А.П. Виноградову [3]	ПДК, валовое подвижное [5]
Cu	$\frac{26,55-92,08^*}{42,60}$	31,9	44,60	20	$\frac{-}{3}$
Pb	$\frac{16,71-101,32}{31,75}$	27,06	11,3	10	30
Sr	$\frac{24,35-39,67}{31,74}$	297,78	300	300	-
Co	$\frac{12,85-24,56}{18,5}$	12,17	17,45	10	$\frac{-}{5}$
V	$\frac{62,90-95,98}{83,63}$	81,23	107	200	$\frac{150}{-}$
Cr	$\frac{62,76-151,53}{90,36}$	91,02	400	200	$\frac{0,05}{6}$
Ba	$\frac{550,01-1109,74}{791,66}$	534,39	-	500	-
Mn	$\frac{434,50-1111,02}{737,39}$	878,68	1200	850	1500
Ni	$\frac{44,55-77,47}{66,03}$	46,29	43,35	40	$\frac{-}{4}$
Ti	$\frac{28,36-176,90}{4488,12}$	52,89	-	4600	-

Примечание. * – в числителе: минимальные и максимальные значения; в знаменателе – средние; «-» – не определялся.

На территории Академгородка нет промышленных предприятий, загрязнение воздуха и выбросы автотранспорта являются основными источниками загрязнения. Выявлены небольшие колебания значений pH снеговой воды (от 6,4 до 7,4). При таянии снега твердое вещество попадает в почву и поверхностные воды, влияя на их химический состав. Согласно классификации А.И. Перельмана [7], кальций, магний, натрий, стронций относятся к числу элементов с сильной интенсивностью миграции (группа 1); марганец, барий, калий, медь, кремний, мышьяк, таллий – средней (группа 2), а алюминий, железо, цинк, титан, руководство, ванадий и др. – слабой и очень слабой (группа 3). Установлено, что элементы первой и второй групп присутствуют во всех образцах снеговой воды (за исключением мышьяка и таллия из второй группы), которые были обнаружены только в двух образцах. Из третьей группы свинец и ванадий определялись в трех образцах, а остальные элементы во всех образцах. А такие элементы, как мышьяк, таллий, свинец и ванадий, определялись только в пробах, взятых из прилегающих участков склона,

что, по-видимому, связано с выбросами Ново-Иркутской ТЭЦ.

Для описания текущего состояния территории информацию о содержании химических элементов в снежном покрове следует дополнять информацией об их содержании в почве. Установлено, что средние концентрации стронция, хрома и марганца не превышают общемировых фоновых значений, тогда как концентрации меди, свинца, кобальта, бария, никеля, ванадия и титана значительно превышают общемировые значения [3], но в пределах регионального фона [4] (табл. 2). Максимальные концентрации тяжелых металлов были выявлены вблизи автодорог Старокузмихинская и Лермонтова, которые граничат с жилой зоной: свинец – 3 ПДК, медь – 13, кобальт – 5, хром – 2,5, никель – 2 ПДК [5].

Для территории Академгородка не установлено загрязнение снежного покрова и почв, связанных с промышленными предприятиями, в сравнении с другими районами города, хотя выявлены пространственно локализованные аномалии, связанные с автомобильными дорогами, и территория сохраняет относительно удовлетворительную экологическую обстановку.

Выводы

Оценка экологического состояния городской территории разной степени урбанизации (промышленный центр, монопромышленный город и отдельный район) показала:

– исследования снежного покрова в областном центре (Иркутск) выявили большую мозаичность и пестроту условий снегонакопления, установлено, что содержание тяжелых металлов в почве зависит от форм рельефа и направления ветровых потоков;

– выявленные в моногороде (Шелехов) аномально высокие ареалы элементов по данным снегохимической съемки распространяются в основном на северо-запад и юго-восток, наиболее высокие концентрации бенз(а)пирена обнаружены в верхних горизонтах почв промышленной зоны, с удалением от промышленных предприятий содержание бенз(а)пирена снижается, но все же его концентрации превышали фоновый региональный уровень, то есть почвы Шелеховского района загрязнены повсеместно;

– специфика расположения и застройки Академгородка – отсутствие промышленных зон, наличие больших площадей зеленых насаждений, а основным источником загрязнения является автотранспорт, и, как следствие, максимальные концентрации загрязняющих веществ были выявлены около автомобильных магистралей, и территория сохраняет относительно удовлетворительную экологическую обстановку.

На территории юга Восточной Сибири в условиях резко континентального климата с преобладающим северо-западным ветровым переносом и расчлененным рельефом изучение экологических функций городской территории с разной степенью урбанизации

является необходимым условием поддержания экологического равновесия территорий, соблюдения интересов населения и целостности природных объектов.

Список литературы / References

1. Нарбут Н.А., Матюшкина Л.А. Выбор и обоснование экологических критериев для оценки состояния городской среды // Вестник Тихоокеанского государственного университета. 2009. № 3 (14). С. 71–76.

Narbut N.A., Matyushkina L.A. Selection and Justification of Ecological Criteria for the Assessment of the State of the Urban Environment // Vestnik Tikhookeanskogo gosudarstvennogo universiteta. 2009. № 3 (14). P. 71–76 (in Russian).

2. Нечаева Е.Г., Белозерцева И.А., Напрасникова Е.В., Воробьева И.Б., Давыдова Н.Д., Дубынина С.С., Власова Н.В. Мониторинг и прогнозирование вещественно-динамического состояния геосистем сибирских регионов. Новосибирск: Наука, 2010. 315 с.

Nechaeva E.G., Belozertseva I.A., Naprasnikova E.V., Vorobyeva I.B., Davydova N.D., Dubynina S.S., Vlasova N.V. Monitoring and forecasting of the substance-dynamical state of geosystems in the Siberian regions. Novosibirsk: Nauka, 2010. 315 p. (in Russian).

3. Воробьева И.Б., Напрасникова Е.В., Власова Н.В. Экологическое состояние юго-западного побережья оз. Байкал при антропогенном воздействии // Проблемы биогеохимии и геохимической экологии. 2008. № 3 (7). С. 115–122.

Vorobyeva I.B., Naprasnikova E.V., Vlasova N.V. An ecological condition of the southwest coast of the Lake Baikal at anthropogenic influence // Problems of biogeochemistry and geochemical ecology. 2008. No. 3 (7). P. 115–122 (in Russian).

4. Гребенщикова В.И., Лустенберг Э.Е., Китаев Н.А., Ломоносов И.С. Геохимия окружающей среды Прибайкалья (Байкальский экологический полигон). Новосибирск: Акад. из-во «Гео», 2008. 234 с.

Grebenshchikova V.I., Lustenberg E.E., Kitayev N.A., Lomonosov I.S. Geokhimiya of the environment of Baikal region (Baikal ecological ground). Novosibirsk: Akad. iz-vo «Geo», 2008. 234 p. (in Russian).

5. ГН 2.1.7.2041-06. Предельно допустимые концентрации химических веществ в почве. М., 2006. 15 с.

6. Воробьева И.Б. Эколого-геохимические аспекты состояния природно-антропогенного комплекса (на примере Иркутского Академгородка) // Сибирский медицинский журнал. 2007. № 5. С. 74–76.

7. Перельман А.И. Геохимия. М.: Высшая школа, 1979. 423 с.

Perelman A.I. Geochemistry. M.: Vysshaya shkola, 1979. 423 p. (in Russian).

УДК 911.2(571.51)

ПРОДУКТИВНОСТЬ ФИТОМАССЫ ЛУГОВЫХ РАСТИТЕЛЬНЫХ СООБЩЕСТВ НАЗАРОВСКОЙ КОТЛОВИНЫ ПРИ РАЗНЫХ РЕЖИМАХ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

Дубынина С.С.

Институт географии им. В.Б. Сочавы СО РАН, Иркутск, e-mail: dubynina@irigs.irk.ru

Изучение особенностей формирования фитомассы луговых растительных сообществ Березовского ключевого участка Шарыповского района Назаровской котловины представляет важную часть исследований, главной целью которых являются изменения продуктивности фитомассы луговых сообществ при разных режимах использования. Изучаемый участок расположен в юго-западной части Назаровской котловины, в пределах Шарыповской депрессии, где основные земли занимают пашни; луга, пастбища и выгоны, леса; болота и заболоченные земли; застройки, дороги. Для развития природных систем, как показывают результаты климатических наблюдений, очень важно их соотношение и совместное влияние. Выявлены максимальные и минимальные запасы надземной, подземной массы в луговых фациях ключевого участка. Наглядно показаны флуктуации зеленой массы за вегетационный период в сообществах при разных режимах использования, где количество фитомассы по годам меняется в прямой зависимости от погодных условий, от местонахождения и внутренних свойств конкретного сообщества. На фоне климатических данных в течение исследуемого года установлены значительные изменения показателей фитомассы за вегетационный период, с мая по октябрь. Установлена ритмичность зеленой массы небольшие осадки, которые приводят к уменьшению контрастности показателей запасов зеленой массы в рассматриваемых сообществах. Максимальные запасы для большинства сообществ формируются в конце июля, в первой декаде августа, и этот максимум выражен более четко, в благоприятных условиях тепла и влаги, и зависит от увлажненности предшествующего года. Показаны значительные изменения величины мортмассы в разных луговых сообществах за вегетационный период, т.е. почти во всех сообществах наблюдается уменьшение от весны к лету и увеличение к осени. Отмершие побеги травостоя долго сохраняют вертикальное положение, затем переходят в подстилку и максимальный пик фиксируется в мае и октябре.

Ключевые слова: Назаровская котловина, Шарыповский район, микроклимат, продуктивность, функционирование, структура фитомассы

THE PRODUCTIVITY OF THE PHYTO MASS OF MEADOW PLANT COMMUNITIES OF THE NAZAROVSKAYA BASIN UNDER DIFFERENT CONDITIONS OF USE

Dubynina S.S.

Institute of geography V.B. Sochava SB RAS, Irkutsk, e-mail: dubynina@irigs.irk.ru

The study of the features of the formation of phytomass of meadow plant communities of the Berезovsky key area of the sharypovsky district of the Nazarovsky basin is an important part of the research, the main purpose of which is to change the productivity of phytomass of meadow communities under different modes of use. The studied area is located in the South-Western part of the Nazarovskaya basin, in the borders of Sharypovskiy depression, where the major land covers arable land; meadows, pastures and pastures, forests; marshes and wetlands; the construction of the road. For the development of natural systems, as shown by the results of climate observations is very important their ratio and joint influence. The identified maximum and minimum stocks of aboveground and underground mass of meadow facies key area. The fluctuations of green mass during the growing season in communities under different modes of use, where the amount of phytomass varies from year to year depending on weather conditions, the location and internal properties of a particular community, are clearly shown. Against the background of climatic data during the study year, significant changes in the phytomass indicators for the growing season, from may to October, were established. Set the rhythm of green mass of rain, which tend to reduce the contrast of inventory levels of green mass in the communities. Maximum reserves for most communities are formed in late July and early August, and this maximum is expressed more clearly in the most favorable conditions for the amount of heat and moisture, as well as depends on the moisture content of the previous year. Significant changes in the value of mormass in different meadow communities during the growing season are shown, i.e. almost all communities show a decrease from spring to summer and an increase by autumn. The dead shoots of the grass stand for a long time retain a vertical position, then move to the litter and the Maximum peak is fixed in may and October.

Keywords: Nazarovskaya hollow, Sharypovskiy district, microclimate, productivity, functioning, phytomass structure

Назаровская котловина относится к Верхнечулымской провинции Южно-Сибирской физико-географической области, на юго-западе и северо-востоке она граничит соответственно с Кузнецко-Алатауской и Красноярско-Канской провинциями [1]. Изучаемый участок расположен в юго-западной части Назаровской котловины, в пределах Шарыповской депрессии, где около 60 % площади занимают пашни; луга,

пастбища и выгоны – 20 %, леса – 12 %; болота и заболоченные земли – 3 %; застройки, дороги – 5 %.

Назаровская котловина, сформированная на нижнепалеозойском основании складчатых сооружений Кузнецкого Алатау и Восточного Саяна, выполнена породами девона, карбона, юры и мела, которые перекрываются четвертичными отложениями небольшой мощности.



Рис. 1. Гидротермическая характеристика атмосферных осадков и температуры воздуха Шарыповского района (по данным метеостанции «Шарыпово»)

Почвенный покров впадины представлен следующими генетическими типами почв: черноземами; серыми лесными; дерново-лесными; лугово-черноземными; болотными; лугово-болотными; солонцами и солончаками. В южной части котловины – обыкновенные черноземы, серые лесные почвы занимают в основном северные и восточные склоны, покрытые березняками и смешанными высококравными лесами.

Леса молодые средневозрастные, III–IV класса бонитета, разнотравные, осоково-вейниково-разнотравные [2]. Луговые степи в основном представлены разнотравными формациями с подчиненной ролью злаков и примесью преимущественно луговых видов, требующих достаточного увлажнения. Значительную часть площади занимают лесные и суходольные луга, которые состоят из речных долин, луговых склонов и лесных полей. Определения запасов растительной массы проводились с 1981 по 2017 гг., геоботанические описания в биогеоценозах осуществлялись один раз в сезон и приурочены к периоду максимального развития травостоя (конец июля – начало августа). В целом для каждого сообщества получена качественная и количественная характеристика растительного компонента.

Цель работы – оценить особенности формирования запасов фитомассы луговых растительных сообществ на Березовском участке Шарыповского района Назаровской котловины при разных режимах использования.

Материалы и методы исследования

Климат отличается большой временной и незначительной пространственной измен-

чивостью. Средняя температура в январе –20 °С, в июле +18 °С (по данным метеостанции «Шарыпово»). Переход температуры через ноль происходит в первой половине апреля, осенью – во второй половине октября. Заморозки отмечаются в среднем с середины сентября до конца мая, продолжительность безморозного периода равна 100–120 дням. Вегетационный период продолжается с мая по октябрь. В равнинной части Назаровской котловины выпадает 350–550 мм осадков в год. По метеоданным станции «Шарыпово» с 1980 по 1999 гг. установлено, что максимум осадков в 1996 г., выпало 668 мм. Минимальная температура воздуха была отмечена –2,6 °С в 1992 г. с 2000 по 2017 гг. максимум осадков 618 мм отмечено в 2002 г. Самая низкая температура воздуха 0,0 °С, – в 2009 г. (рис. 1).

Для оценки биологической продуктивности фитомассы луговых растительных сообществ на Березовском участке используются показатели общего количества фитомассы, определяемые общепринятыми методами [3, 4]. Именно фитомасса характеризует многие особенности геосистемы, ее инерцию и динамические тенденции. При определении запасов фитомассы использованы следующие термины и их символы. Термин «фитомасса» нами используется как синоним массы растительного вещества – живых и мертвых органов надземной и подземной частей травостоя. Наряду с понятиями «запас фитомассы» мы применяем понятие «структура растительного вещества». Оно включает запасы всех компонентов растительного вещества и отношение этих запасов: зеленой массы (G), ее максимального запаса (Gmax), вето-

ши (D), подстилки (L). Ветошь и подстилка образуют мертвую надземную растительную массу (D + L), а вместе с зеленью – надземное растительное вещество (G + D + L). Подземная растительная масса (R + V) состоит из живых (R) и отмерших корней (V). Общий запас растительного вещества фитоценоза (Q) образован суммой надземной и подземной массы (G + D + L + R + V). Фитомасса – та масса живых и мертвых органов растений, которая находится на единице площади в момент измерения в г/м². Надземная масса растений учитывалась на площадках размером 0,25 м² методом укосов в 3–5-кратной повторности с разбором на зеленую часть и отмершую (ветошь, подстилку). Камеральный период обработки полевых материалов: образцы надземной массы, высушенные до абсолютно сухого состояния в сушильном шкафу при температуре 105⁰, взвешивались на электрических весах (ВЛТК-500). Проведенная статистическая обработка материала, собранного за многолетние исследования, показала, что для определения надземной массы достаточно 3–5 повторностей с площадок по 0,25 м². Достоверность учета надземной массы составляет ±15%.

сообществ Шарьповского участка показана в табл. 1. Участки лугово-лесных сообществ сохранились в состоянии, близком к коренному. Лесной луг т. 2 и мезофитный луг т. 6 используются как сенокосные угодья. Остепненный луг т. 3 близок к лесному массиву, находится в естественном состоянии, периодически закашивается. Луг т. 5 с остепненно-луговой растительностью с 1986 г. находится в изолированном режиме (заповедный участок).

Результаты исследования и их обсуждение

Изучение особенностей функционирования луговых сообществ: в естественных и изолированных условиях важен многосторонний учет всех процессов оборота фитомассы, складывающийся в зависимости от соотношения показателей тепло- и влагообеспеченности, а также от экологических условий каждого сообщества, от степени хозяйственного использования и видовой структуры травостоя [5, 6]. Разные по структуре и местоположению луговые биогеоценозы Березовского участка отличаются в целом сходными показателями запасов

Таблица 1

Характеристика луговых растительных сообществ Шарьповского участка

Растительное сообщество	Характеристика растительности
1	2
т. 2. Злаково-разнотравно-луговое с темносерой лесной луговой глубоковскипающей тяжелосуглинистой почвой на двучленных отложениях	<i>Phleum pretense</i> , <i>Poa botryoides</i> , <i>Vicia unijuga</i> , <i>Trifolium pretense</i> , <i>Carex</i> , <i>Crepis sibirica</i> , <i>Sanguisorba officinalis</i> , <i>Achillea millifolium</i> , <i>Geranium pseudosibiricum</i> , <i>Phlomis tuberosa</i> , <i>Plantago media</i> (в – min 20, max 120; п/п – 50–60).
т. 3. Злаково-разнотравное сообщество с черноземом обыкновенным луговатым маломощным тучным на карбонатных покровных суглинках степного класса фаций	<i>Phleum pretense</i> , <i>Poa botryoides</i> , <i>Vicia cracca</i> , <i>Trifolium pretense</i> , <i>Carex</i> , <i>Sanguisorba officinalis</i> , <i>Achillea millifolium</i> , <i>Geranium pseudosibiricum</i> , <i>Phlomis tuberosa</i> , <i>Plantago media</i> , <i>Potentilla anserina</i> (в – min 20, max 100; п/п – 60–70).
т. 6. Злаково-бобово-разнотравно-мезофитный луг на лугово-черноземной мощной среднесуглинистой почве на покровных суглинках	<i>Calamagrostis pseudophragmites</i> , <i>Poa botryoides</i> , <i>Lathyrus gmelinii</i> , <i>Melissitus platycarpus</i> , <i>Vicia unijuga</i> , <i>Heraclenum dissectum</i> , <i>Pleurospermum uralense</i> , <i>Chamaenerion angustifolium</i> , <i>Sanguisorba officinalis</i> , <i>Achillea millifolium</i> , <i>Rubus saxatilis</i> , <i>Equisetum pretense</i> (в – min 20, max 130; п/п – 90–100).
т. 5. Остепненно-луговое разнотравно-осоково-злаковое сообщество с черноземом обыкновенным на покровных карбонатных суглинках находится в заповедном режиме (огороженный участок)	<i>Poa botryoides</i> , <i>Elibrigia repens</i> , <i>Bromus inermis</i> , <i>Festuca pratensis</i> , <i>Trifolium repens</i> , <i>Trifolium pretense</i> , <i>Vicia cracca</i> , <i>Plantago media</i> , <i>Achillea millifolium</i> , <i>Geum aleppicum</i> , <i>Cirsium setosum</i> , <i>Potentilla anserina</i> , <i>Taraxacum officinale</i> , <i>Geranium sibiricum</i> , <i>Galium verum</i> (в – min 15, max 111; п/п – 100).

Примечание. в – высота травостоя, см; п/п – проективное покрытие, %.

Выбор луговых участков исследования обусловлен особенностями ландшафтной структуры и приоритетными направлениями хозяйственного использования территории. Характеристика растительных

растительного вещества и его распределением в надземных и подземных частях. Под влиянием меняющихся гидроклиматических условий в сообществах происходят существенные изменения фитомассы в течение

года. Вегетационный период начинается во второй декаде апреля, когда происходит устойчивый переход среднесуточной температуры воздуха через 0°, а завершается в октябре (рис. 2). По данным метеостанции «Шарьпово» температура воздуха в апреле составляла +6°C с количеством осадков до 41 мм. С конца мая температура воздуха повысилась до +11°C, а осадки остались прежними. Максимальная температура воздуха наблюдалась в июне и июле до +18°C. В августе месяце выпало осадков в 2 раза больше, чем в июле (87 мм), самое большое их количество, до 103 мм, пришлось на сентябрь. В октябре температура воздуха еще положительная +1,3°C (количество осадков 37 мм).

За короткий вегетационный период в лесостепи Назаровской котловины в луговых сообществах, обусловленных теплом и влагой, прослеживается четкая ритмичность зеленой массы (рис. 3, а). Недостаток тепла, ощущаемый в начале вегетации, приводит к тому, что в мае зеленая масса составляет

6–8% на всех исследуемых сообществах. Общие запасы зелени начинают расти в июне с повышением температуры воздуха +18°C, достигая до 200 г/м², тем не менее прирост зеленой массы сообществ лесного луга (т. 2) и остепненного (т. 3), находящихся близко к лесу, в июне запасы ниже, т.е. запаздывают по времени, чем на мезофитном (т. 6) и остепненном заповедном лугу (т. 5), где масса в июне достигает до 300 г/м². Так в сообществе с остепненно-луговой-злаковой растительностью (заповедный участок, т. 5) пик накопления зеленой массы приходится на август, до 600 г/м², за счет продуктивной влаги, которой было достаточно и за счет формирования генеративных побегов у раннелетних злаков. В сентябре началось дожди, которые сопровождалось понижением температуры и резким снижением зеленой массы на всех луговых сообществах. К концу вегетации запасы зеленой массы резко упали в связи с резким понижением температур воздуха в октябре.

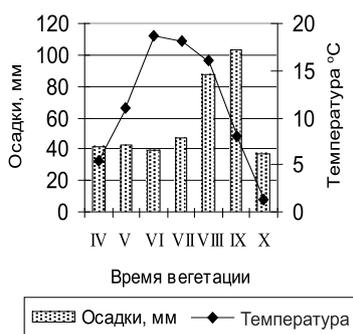


Рис. 2. Осадки и температура воздуха за вегетационный период 2017 г.

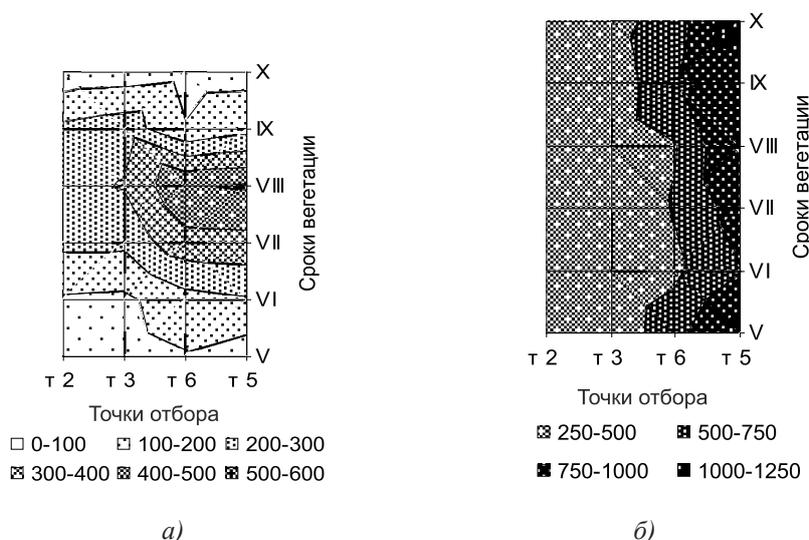


Рис. 3. а) сезонная динамика зеленой массы Березовского участка 2017 г., г/м²;
 б) сезонная динамика мортмассы Березовского участка 2017 г., г/м²

Таблица 2

Средние запасы и структура растительного вещества в сообществах
Березовского участка Назаровской котловины, 2017 г., г/м²

Показатель фитомассы	Условно-естественные сообщества			Заповедные
	т. 2	т. 3	т. 6	т. 5
G _{max}	260	306	488	510
G	234	262	320	348
D + L	476	408	709	1191
G + D + L	710	670	1029	1539
Живые корни, R	680	549	1325	3158
Отмершие, V	651	801	1503	2479
Общие, R + V	1331	1357	1503	5637
G + D + L + R + V	2041	2027	2532	7176
	Соотношение запасов			
D + L / G	2,0	1,6	2,2	3,4
R / G	2,9	2,1	4,1	9,1
V / R	1,0	1,5	1,1	0,9
R + V / G + D + L	0,2	2,0	1,5	3,7

В любом спонтанно развивающемся растительном сообществе сохраняется определенное количество отмерших надземных органов растений, которое принято разделять на ветошь и подстилку. Количество ветоши в сообществе меняется и зависит от периодичности и интенсивности процесса отмирания побегов у разных видов, а также устойчивости отмерших побегов к разрушению. Отмершие побеги разных групп видов остаются на корню разное время. Мертвое вещество дерновинных злаков может сохраняться на корню 1,5–2 года. В сезонной динамике суммарных запасов мортмассы почти во всех сообществах наблюдается уменьшение от весны к лету и увеличение к осени (рис. 3, б).

Изменение запасов мортмассы идентично изменению продуктивности зеленой массы, но имеет противоположный ход. Максимальные запасы мортмассы приходятся на начало вегетации, минимальные – на июнь месяц. В июле, августе и сентябре запасы мортмассы находятся на одном уровне, а в октябре увеличиваются, так как зеленая масса отмирает и переходит в ветошь и затем, в процессе минерализации, поступает в подстилку. Каждое сообщество достигает максимума зеленой массы в разное время вегетации, и отмирание происходит тоже в разное время. Запасы мортмассы в лесном (т. 2) и остепненном (т. 3) лугу в течение всего вегетационного сезона колеблются от 250–500 г/м². Запасы мортмассы в мезофитном лугу (т. 6) гораздо выше и значение ее достигает 500–750 г/м², это зависит от струк-

туры травостоя и от интенсивности процесса разрушения, т.е. отмершие побеги травостоя долго сохраняют вертикальное положение, затем переходят в подстилку. Подобная закономерность прослеживается также и в других регионах, например, в луговых и степных сообществах Сибири и Казахстана [7]. Большие запасы мортмассы отмечаются в сообществе с остепненно-луговой-злаковой растительностью (заповедный участок, т. 5) от 750–1000 в мае, июле, августе и сентябре. Максимальный пик фиксируется в мае и октябре от 1000–1250 г/м².

Особый интерес представляет изучение фитомассы растений, так как она в процессе своего накопления и преобразования связывает практически все компоненты изучаемых сообществ и характеризует многие особенности их структуры и функционирования (табл. 2).

Изменение запасов надземной массы и ее структуры в процессе восстановления растительного покрова затрагивает всю природную систему. Запасы G_{max} – возрастающая функция от доступной влаги в почве, так как увлажнение является основным фактором, определяющим G_{max} . Средние запасы зеленой массы составляли от 234 до 348 г/м². Основная часть растительного вещества аккумулируется в мортмассе и в подземной части. Количество ежегодно накапливаемых мертвых растительных остатков зависит не только от того, сколькоросло зеленой массы, но и от погодных условий текущего года и прошлых лет. При скоплении мортмассы (ветоши и подстилки) меня-

ются режимы тепла и влаги в почвах и, соответственно, направленность изменений в растительном покрове. Если погодные условия не способствовали интенсивному разложению подстилки, то к весне следующего года накапливаются значительные запасы мортмассы 476–709, с максимумом в заповедном до 1191 г/м². Участки лесных остепненных и мезофитных лугов, используемых под сенокосы и пастбища, сохранились в состоянии, близком к коренному. Запасы подземной массы в сообществах т. 2, т. 3, т. 4 колеблются от 1331 до 1503 г/м², а подземная выше надземной массы в 3,7 раза на заповедном участке (т. 5) и отношение R / G в 9 раз больше. Основная масса живых органов состоит из корней злаков: пырея ползучего и мятлика лугового. Масса мертвых подземных органов представлена также корнями злаков. Исследования показали, что наименьшие запасы в подземной части, как правило, отмечаются в июле или в августе, тогда как в надземной части, наоборот, на эти периоды приходится максимум запасов надземной массы. Для каждой площадки характерны два пика максимальных запасов корней, который может приходиться на начало и конец вегетации. Поступившее мертвое вещество в сообществах должно компенсироваться его разложением, но в силу заповедного режима запас D + L превышал запас G до 3,4 раза, а отношение R / G в 9 раз.

Заключение

Таким образом, на основании проведенных режимных наблюдений сделаны следующие выводы: динамика запасов фитомассы и ее структуры в процессе восстановления растительного покрова отражает ландшафтно-геофизические условия территории, находясь во взаимодействии с природными и заповедными факторами среды, и представляет один из важнейших функциональных показателей лесостепных сообществ. Установленный факт, что основная часть растительного вещества аккумулиру-

ется в мортмассе и в подземной части. Каждому сообществу свойствен свой вегетационный распорядок во времени, а также свой собственный режим, преодолевая резкие изменения климата, сообщества показывают общую устойчивость и выживаемость.

Список литературы / References

1. Природа и хозяйство района первоочередного формирования КАТЭКа. Новосибирск: Наука, 1983. 259 с.
Nature and economy of the area of priority formation КАТЭКа. Novosibirsk: Science, 1983. 259 p. (in Russian).
2. Дубынина С.С. Природно-антропогенная динамика растительного вещества лесостепных геосистем // Мониторинг и прогнозирование вещественно-динамического состояния геосистем сибирских регионов. Новосибирск: Наука, 2010. С. 64–80.
Dubynina S.S. Natural and anthropogenic dynamics of vegetable substance of forest-steppe geosystems // Monitoring and forecasting of a material and dynamic condition of geosystems of the Siberian regions. Novosibirsk: Science, 2010. P. 64–80 (in Russian).
3. Методы изучения биологического круговорота в различных природных зонах. М.: Мысль, 1978. 182 с.
Methods of studying of biological circulation in various natural zones. M.: Thought, 1978. 182 p. (in Russian).
4. Гаджиев И.М., Королюк А.Ю., Титлянова А.А., Андриевский В.С., Байартгох Б., Гришина Л.Г., Косых Н.П., Кыргыз Ч.О., Мироничева-Токарева Н.П., Романова И.П., Самбуу А.Д., Смелянский И.Э. Степи Центральной Азии. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2002. 298 с.
Gadzhiev I.M., Korolyuk A.Yu., Titlyanova A.A., Andrievsky V.S., Bayartogtokh B., Grishin L.G., Slanting N.P., Kyrgyz Ch.O., Mironycheva-Tokarev N.P., Romanov I.P., Sambuu A.D., Smelyansky I.E. Steppes of Central Asia. Novosibirsk: Siberian Branch of the Russian Academy of Science publishing house, 2002. 298 p. (in Russian).
5. Базилевич Н.И., Титлянова А.А. Особенности функционирования травяных экосистем // Доклады Академии наук. 2010. Т. 79. № 1. С. 75.
Bazilevich N.I., Titlyanova A.A. Features of functioning of grass ecosystems // Doklady Akademii nauk. 2010. T. 79. No 1. P. 75.
6. Титлянова А.А., Шибарева С.В. Время оборота фитомассы в травяных экосистемах // Математическое моделирование в экологии: материалы пятой Национальной научной конференции с международным участием. 2017. С. 219–222.
Titlyanova A.A., Shibareva S.V. Turn-around time for phytomass in grass ecosystems // Mathematical modeling in ecology: materials of the fifth National scientific conference with the international participation. 2017. P. 219–222 (in Russian).
7. Титлянова А.А., Шибарева С.В. Новые оценки запасов фитомассы и чистая первичная продукция степных экосистем Сибири и Казахстана // Известия Российской академии наук. Серия географическая. 2017. № 4. С. 43–55.
Titlyanova A.A., Shibareva S.V. Phytomass stock and net primary production in the steppe ecosystems of Siberia and Kazakhstan // Izvestiya Rossijskoj akademii nauk. Seriya geograficheskaya. 2017. No 4. P. 43–55 (in Russian).

УДК 550.344.094.43

ЗАТУХАНИЕ СЕЙСМИЧЕСКИХ КОЛЕБАНИЙ В РАЙОНЕ БУРЕЙСКОЙ ГЭС И ЕГО СВЯЗЬ С РЕЗОНАНСНЫМИ ЭФФЕКТАМИ

¹Пупатенко В.В., ^{1,2}Рябинкин К.С.

¹Институт тектоники и геофизики им. Ю.А. Косыгина ДВО РАН, Хабаровск,
e-mail: pvv2.dv@gmail.com;

²Тихоокеанский государственный университет, Хабаровск, e-mail: kostya-rowan@mail.ru

По записям кода-волн локальных землетрясений получены количественные характеристики затухания сейсмических волн (сейсмическая добротность Q и частотный параметр n) в литосфере Буреинского массива в районе Бурейской ГЭС. Выявлено увеличение вычисляемых значений сейсмической добротности при увеличении длины окна обработки кода-волн, что связано с большей однородностью мантии. Полученные значения сейсмической добротности не выходят за рамки стандартной модели и с высокой точностью аппроксимируются степенной функцией. Обнаружен эффект «анизотропии» сейсмической добротности, т.е. значения добротности и частотного параметра существенно отличаются для разных компонент. Ранее похожий эффект был зарегистрирован в смещении резонансных частот на разных компонентах сейсмических записей. Оба эффекта могут быть следствием структурирования геологической среды в результате постоянных вибрационных воздействий агрегатов ГЭС. Надёжно выделяемых вариаций, присущих отдельным станциям или группам трасс источник-приёмник, не обнаружено. Полученные значения сейсмической добротности ($Q = 77 \pm 3$ на частоте 1 Гц при длине окна 20 с) характерны для регионов с высокой тектонической активностью и свидетельствуют о высоком сейсмическом потенциале исследуемой территории.

Ключевые слова: Бурейская ГЭС, добротность, кода-волны, затухание, анизотропия

SEISMIC WAVE ATTENUATION NEAR THE BUREYA HYDROPOWER STATION AND ITS CONNECTION WITH THE RESONANCE EFFECTS

¹Pupatenko V.V., ^{1,2}Ryabinkin K.S.

¹Yu.A. Kosygin Institute of Tectonics and Geophysics, Far Eastern Branch, RAS,
Khabarovsk, e-mail: pvv2.dv@gmail.com;

²Pacific National University, Khabarovsk, e-mail: kostya-rowan@mail.ru

The numeric parameters of the seismic wave attenuation: seismic quality (Q) and frequency factor (n) are calculated using the S-coda waves records of the local earthquakes for the lithosphere of Bureya Massif near the Bureya Hydropower Station. The increment of the calculated values of seismic quality with the increment of the length of the coda wave window is found, which is related to the greater homogeneity of mantle. The calculated values of the seismic quality correspond well to the standard model and can be precisely fitted by power function. The «anisotropy» of the seismic quality is found, which means that the values of seismic quality and frequency factor strongly differ for the different components. The similar effect has been found recently as a shift of the resonant frequencies on the different components of the seismic records. The both effects can be results of structuration of the geological media due to constant vibration influence of power plant units. Reliable variations inherent to individual stations or groups of traces source-receiver was not found. The calculated values of the seismic quality ($Q = 77 \pm 3$ for the 1 Hz frequency and the 20-s window length of coda waves) are common for the regions with high tectonic activity and indicate the high seismic potential of this area.

Keywords: Bureya Hydropower Station, seismic quality, coda waves, attenuation, anisotropy

Одной из задач сейсмологии является изучение процессов подготовки землетрясений, включая наблюдение за процессами накопления и разрядки напряжений [1]. Гидроэлектростанции (ГЭС), как одни из наиболее потенциально опасных техногенных сооружений, находятся под пристальным сейсмологическим контролем. Заполнение водохранилища, периодические изменения уровня воды, мощное вибрационное воздействие турбин и гидроагрегатов, несомненно, оказывают влияние на локальную сейсмичность, хотя остаются дискуссионными вопросы о том, могут ли такие воздействия привести к возникновению более сильных землетрясений

или только инициировать уже готовящиеся землетрясения [2].

Объект исследования в настоящей работе – Буреинский массив в районе Бурейской ГЭС. Локальная сейсмическая сеть Бурейской ГЭС с линейными размерами порядка 20 км включает шесть станций (рис. 1), из которых с конца 2011 г. одновременно работали три-пять. На станциях установлены регистраторы REFTEK 130-01 и короткопериодные датчики GS-1. Детальные сейсмические наблюдения начались уже после заполнения водохранилища, что осложняет интерпретацию наблюдаемых особенностей сейсмического процесса и реакции геологической среды

на землетрясения. Тем не менее район Бурейской ГЭС представляет собой естественный геодинамический полигон для наблюдения за напряжённо-деформируемым состоянием блоков земной коры.

Ранее на сейсмостанциях локальной сети Бурейской ГЭС нами были обнаружены эффекты искажения спектрального состава сейсмических колебаний от близких землетрясений [3]. На многих сейсмических записях наблюдается перераспределение энергии сейсмических волн из низкочастотной в высокочастотную (10–20 Гц и выше) область. Обнаруженные эффекты были интерпретированы как следствие блокового строения земной коры. Оценка размеров блоков, исходя из наблюдаемых нелинейных эффектов (резонансы и геоакустическая эмиссия) оказалась близка к имеющимся определениям по геологическим данным. Позднее было обнаружено, что искажение спектрального состава характерно также и для удалённых землетрясений с эпицентрными расстояниями до 300 км [4].

Одним из аномальных эффектов, визуально наблюдаемых на записях многих локальных землетрясений в районе Бурейской ГЭС, является длительное затухание высокочастотных колебаний [3]. Для оценки и изучения этого эффекта необходимо получить количественные характеристики затухания сейсмических волн, в первую очередь значения сейсмической добротности и её зависимость от частоты. Данные о характеристиках затухания сейсмических волн в регионе исследований, кроме первых предварительных результатов [4], практически отсутствуют.

Цель работы – изучение затухания сейсмических волн в районе Бурейской ГЭС и поиск связи между резонансными эффектами и интенсивностью затухания сейсмических волн.

Материалы и методы исследования

Затухание сейсмических волн в геологической среде характеризуется безразмерной величиной Q , называемой сейсмической добротностью. Этот параметр определяет макросейсмические проявления, вызываемые сильными землетрясениями, и используется для расчёта синтетических сейсмограмм и оценки сейсмической опасности.

Сейсмическую добротность чаще всего измеряют, используя искусственные или естественные источники колебаний, к последним относятся записи объёмных про-

дольных, поперечных и кода-волн землетрясений. В работе для измерения добротности используются записи коды S-волн.

Добротность по коду S-волн определяется в соответствии с моделью однократного рассеяния [5], согласно которой кода-волны представляют собой суперпозицию отражений объёмных волн от расположенных случайным образом неоднородностей. Относительное уменьшение амплитуды со временем происходит из-за геометрического расхождения и потери сейсмической энергии и не зависит от пути распространения волн и способа их регистрации.

Добротность увеличивается с частотой, поэтому её обычно записывают в виде

$$Q(f) = Q_0 \cdot (f/f_0)^n,$$

где $Q(f)$ – добротность среды по коду; Q_0 – добротность на частоте f_0 (чаще всего 1 Гц); n – частотный параметр, характерный для данного региона и обычно близкий к единице.

Амплитуда объёмных кода-волн связана с добротностью и временем следующим образом [5]:

$$A(f, t) = W(f) \cdot t^{-1} \cdot \exp\left[\frac{-\pi \cdot f \cdot t}{Q(f)}\right],$$

где $W(f)$ – функция источника; t – время относительно времени в очаге землетрясения. После логарифмирования получается выражение

$$\ln[A(f, t) \cdot t] = \ln[W(f)] - \frac{\pi \cdot f \cdot t}{Q(f)},$$

которое можно, зафиксировав частоту f , использовать для определения значения Q .

Для расчётов были отобраны записи колебаний на шести станциях от 82 землетрясений, произошедших с октября 2011 г. до сентября 2014 г., с эпицентрными расстоянием до 140 км.

Поскольку одной из целей было найти связь между затуханием и резонансными эффектами, значения добротности рассчитывались в узких частотных диапазонах шириной 1 Гц с центральными частотами от 2 до 44 Гц с шагом 1 Гц. По этой же причине сейсмограммы на каждом канале анализировались отдельно. Начало окна для обработки коды соответствовало удвоенному времени пробега S-волны, а длина окна выбиралась равной 20, 25, 30, 35 и 40 с. Для контроля качества записи кода-волн использовались соотношение сигнал/шум (не ме-

нее 3) и значение коэффициента корреляции (не менее 0,5). Пригодными для обработки оказались около 220 пар эпицентр-станция (рис. 1), в зависимости от длины окна. Пример определения одного значения сейсмической добротности приведён на рис. 2.

Результаты исследования и их обсуждение

Полученные значения добротности для длин окна 20, 30 и 40 с для северной (NS) и вертикальной (UD) компонент показаны на рис. 3, вместе с аппроксимацией зависимости $Q(f)$ степенной функцией и 95%-ными ошибками определения параметров. Значения добротности Q и частотного параметра n для трёх компонент и всех длин окна приведены в таблице.

Полученные значения добротности и частотного параметра ($Q = (77 \pm 3) \cdot f^{0,858 \pm 0,011}$, при длине волны 20 с, измеренные по вертикальной компоненте) являются типичными для многих тектонически активных регионов, например для Байкальской рифтовой системы [7] ($Q = (105 \pm 9) \cdot f^{0,90 \pm 0,06}$) или для региона Кач в Индии [8] ($Q = (148 \pm 3) \cdot f^{1,01 \pm 0,02}$). Такие низкие значения добротности свидетельствуют о высоком сейсмическом потенциале исследуемой территории.

Как видно из рис. 3 и таблицы, добротность сильно зависит не только от частоты, но и от длины окна обработки кода-волн.

Причина такой зависимости заключается, по-видимому, в том, что примененный способ измерения добротности характеризует определенный объём среды, который при увеличении временного окна расширяется как в горизонтальной плоскости, так и в глубину, уходя в мантию, которая в целом значительно более однородна. Аналогичный эффект отмечен, например, в работе [7], где приведены результаты исследования добротности литосферы в Прибайкалье.

Как видно из рис. 1, большинство использованных трасс источник-приёмник находятся к востоку от сейсмической сети. Ещё две группы трасс представлены землетрясениями с эпицентрами, расположенными непосредственно в районе сейсмической сети и к северо-северо-востоку на расстояниях до 70 км. Остальные трассы представлены единичными землетрясениями. Недостаточная пространственная равномерность расположения трасс источник-приёмник позволила надёжно получить только общие, усреднённые оценки сейсмической добротности. Но при этом точность аппроксимации оказалась достаточно высокой, средняя относительная ошибка добротности на частоте 1 Гц – 2,9%, частотного параметра – 1,1%. Надёжно выделить вариации, присущие отдельным станциям или группам трасс источник-приёмник, не представляется возможным.

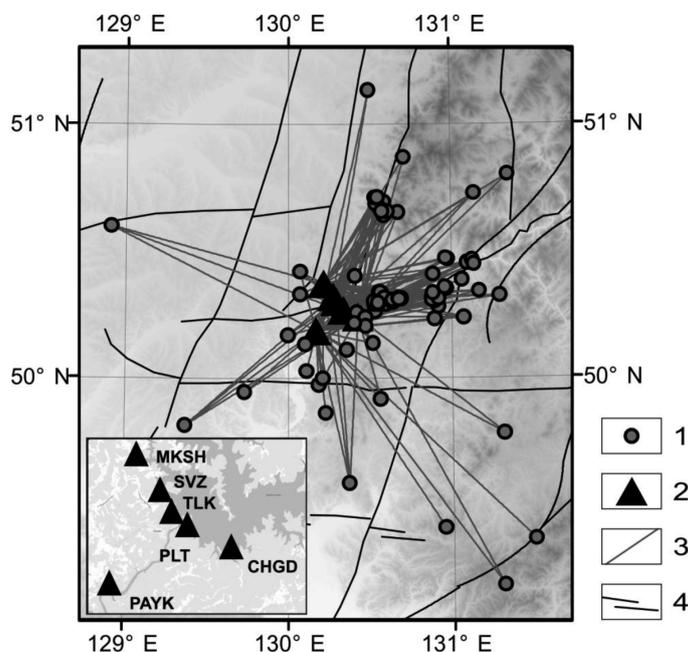


Рис. 1. Карта трасс источник-приёмник: 1 – эпицентры землетрясений; 2 – сейсмостанции (коды указаны на врезке); 3 – трассы источник-приёмник; 4 – основные разломы по [6]

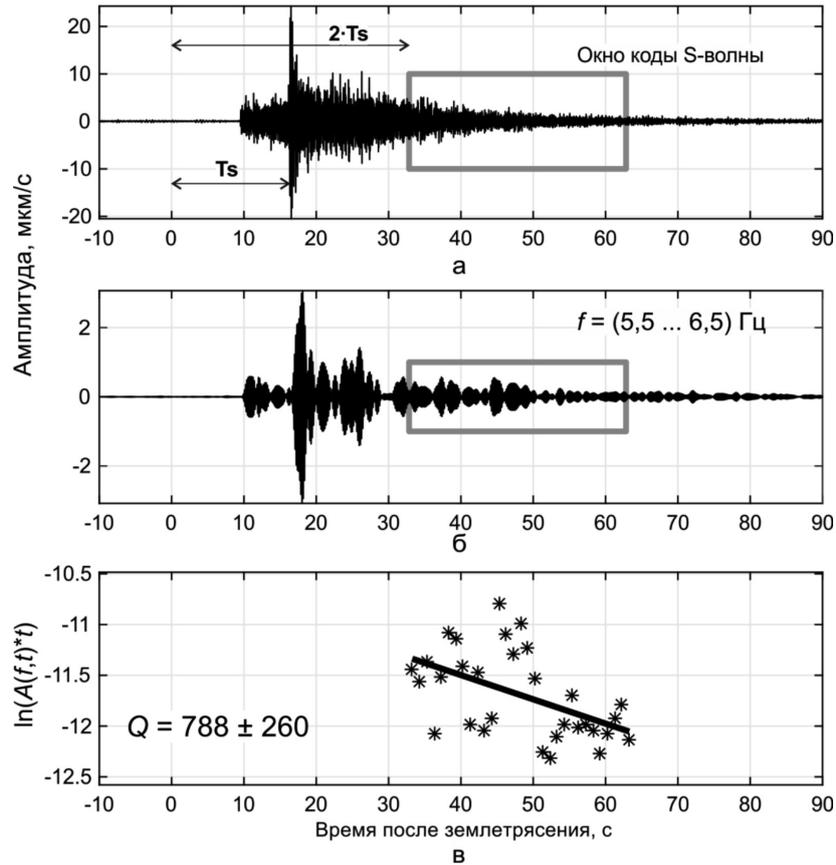


Рис. 2. Пример определения единичного значения сейсмической добротности: а – исходная сейсмограмма; б – фильтрованная сейсмограмма в диапазоне частот 5,5–6,5 Гц; в – пример расчета добротности, где звездочками показаны измерения амплитуды $\ln(A(t) \cdot t)$, линией – линейная аппроксимация зависимости $\ln(A(f, t) \cdot t)$ от времени t

Добротность и частотный параметр для различных компонент и длин окон

Длина окна (W), с	Добротность на частоте 1 Гц (Q)			Частотный параметр (n)		
	NS	EW	UD	NS	EW	UD
20	$71,8 \pm 2,4$	$74,8 \pm 2,5$	$77,4 \pm 2,9$	$0,872 \pm 0,010$	$0,856 \pm 0,010$	$0,858 \pm 0,011$
25	$93 \pm 2,7$	$93,8 \pm 2,8$	$113,4 \pm 3,8$	$0,838 \pm 0,009$	$0,834 \pm 0,009$	$0,790 \pm 0,010$
30	$128,2 \pm 3,4$	$122 \pm 3,4$	$146,7 \pm 4,6$	$0,771 \pm 0,008$	$0,784 \pm 0,008$	$0,742 \pm 0,009$
35	$160,3 \pm 3,9$	$148,5 \pm 3,7$	$178,3 \pm 5,1$	$0,724 \pm 0,007$	$0,746 \pm 0,007$	$0,703 \pm 0,008$
40	$179,2 \pm 4,3$	$175,4 \pm 4,2$	$206,9 \pm 5,6$	$0,703 \pm 0,007$	$0,711 \pm 0,007$	$0,671 \pm 0,008$

Примечание. NS – компонента север-юг; EW – компонента восток-запад; UD – вертикальная компонента. Ошибки указаны с 95%-ной вероятностью.

Полученные значения добротности соответствуют стандартной модели, предполагающей степенную зависимость добротности от частоты, и позволяют утверждать об отсутствии аномально длительного затухания высокочастотных колебаний. Существенных отклонений значений добротности в каком-либо узком частотном диапазоне не зафиксировано. Исключение составляет

определение Q на частоте 16–20 Гц на вертикальной компоненте при длине окна 20 с, где добротность завышена на 5–10%. Это могло бы быть подтверждением связи резонансных эффектов и затухания (частотный диапазон совпадает с резонансными частотами на вертикальных компонентах сейсмограмм), но при других длинах окон этот эффект отсутствует.

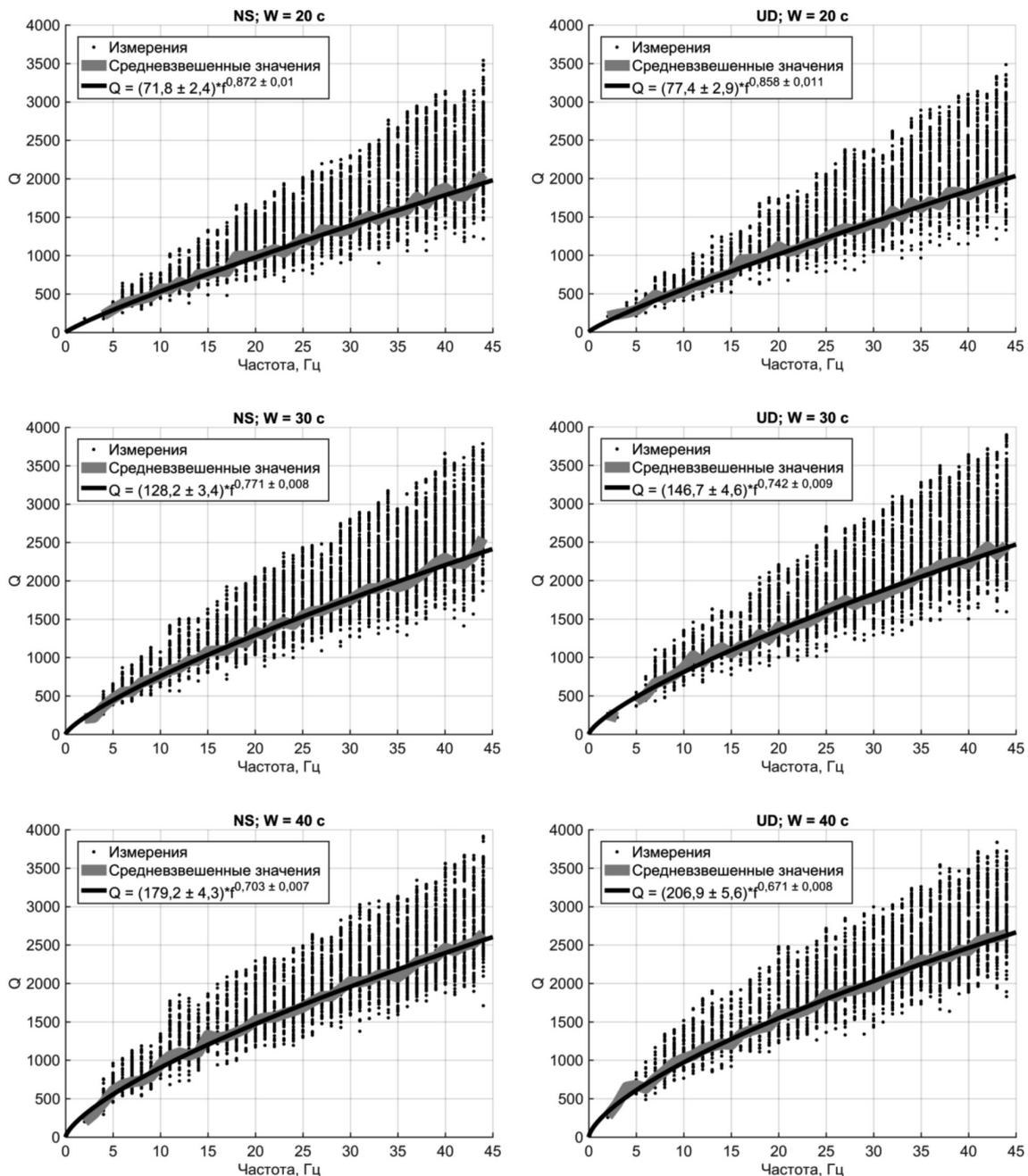


Рис. 3. Зависимость сейсмической добротности Q от частоты для различных длин окна W , для компоненты север-юг (NS, слева) и для вертикальной компоненты (UD, справа)

Анализ расчетов сейсмической добротности Q привел к неожиданному результату – «анизотропии» добротности. Оказалось, что значения добротности и частотного параметра отличаются для разных компонент, и их отличие существенно превышает ошибку с 95%-ной вероятностью (таблица и рис. 3). Эти различия особенно велики между вертикальной и горизонтальными компонентами, однако они отмечают-

ся и между значениями добротности горизонтальных компонент.

Следует отметить аналогию между выявленной «анизотропией» сейсмической добротности и обнаруженным ранее смещением резонансных частот на разных компонентах сейсмических записей на одной и той же станции [3, 4]. Например, на станции «Чеугда» (CHGD) основной резонанс и сейсмических колебаний, и микросейсми-

ческого шума располагается на вертикальной компоненте на частотах 13–21 Гц, на северной компоненте – 11–14 Гц, на восточной компоненте – 10–13 Гц [4].

Оба описанных эффекта могут быть следствием структурирования геологической среды в результате постоянных вибрационных воздействий агрегатов ГЭС.

Выводы

Получены характеристики затухания сейсмических волн (добротность Q и частотный параметр n) в литосфере Бурейского массива (район Бурейской ГЭС). Рассчитанные по данным кода-волн от локальных землетрясений значения добротности соответствуют стандартной модели и с высокой точностью аппроксимируются степенной функцией $Q = (77 \pm 3) \cdot f^{0,858 \pm 0,011}$.

Сравнительный анализ полученных результатов с данными для других регионов показал, что такие низкие значения добротности характерны для тектонически активных регионов и указывают на высокий сейсмический потенциал исследуемой территории Бурейского массива.

Обнаружена существенная зависимость затухания сейсмических волн от направления колебаний – «анизотропия» добротности. Наибольшее различие добротности фиксируется между вертикальной и горизонтальными компонентами.

Полученные значения сейсмической добротности могут быть использованы при оценке сейсмической опасности, при уточнении скоростной модели среды, при расчёте очаговых параметров землетрясений и т.д.

Исследования выполнены в рамках государственного задания Института тектоники и геофизики им. Ю.А. Косыгина ДВО РАН и при частичном финансировании РФФИ (грант 16-05-00097). Авторы благодарны Филиалу ПАО «РусГидро» – «Бурейская ГЭС» и лично М.Е. Харитонову за предоставленные сейсмические данные.

Список литературы / References

1. Спивак А.А., Кишкина С.В. Исследование микросейсмического фона с целью определения активных тектонических структур и геодинамических характеристик среды // Физика Земли. 2004. № 7. С. 35–49.
- Spivak A.A., Kishkina S.V. The use of microseismic background for the identification of active geotectonic structures and determination of geodynamic characteristics // Fizika Zemli. 2004. № 7. P. 35–49 (in Russian).
2. Мирзоев К.М., Николаев А.В., Лукк А.А., Юнга С.Л. Наведенная сейсмичность и возможности регулируемой разрядки накопленных тектонических напряжений в земной коре // Физика Земли. 2009. № 10. С. 49–68.
- Mirzoev K.M., Nikolaev A.V., Lukk A.A., Yunga S.L. Induced seismicity and the possibilities of controlled relaxation of tectonic stresses in the Earth's crust // Fizika Zemli. 2009. № 10. P. 49–68 (in Russian).
3. Трофименко С.В., Рябинкин К.С., Пупатенко В.В., Колотова Л.Г., Харитонов М.Е. Динамика геосреды по спектральной плотности мощности микросейсм до и после землетрясений // Тихоокеанская геология. 2017. № 5. С. 20–28.
- Trofimenko S.V., Ryabinkin K.S., Pupatenko V.V., Kolotova L.G., Haritonov M.E. Dynamics of Geophysical Medium from Power Spectral Density of Microseisms before and after Earthquakes: Case Study of Bureya Massif, Amur Region // Tikhookeanskaja Geologija. 2017. № 5. P. 20–28 (in Russian).
4. Рябинкин К.С., Пупатенко В.В. Влияние блоковой структуры среды на распространение сейсмических волн // Материалы XIX Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых, аспирантов и студентов в г. Нерюнгри, с международным участием. Секции 1–5. Нерюнгри: Изд-во Технического института (ф) СВФУ, 2018. С. 180–184.
- Ryabinkin K.S., Pupatenko V.V. Influence of the block structure of the medium on the propagation of seismic waves // Materialy XIX Vserossijskoj nauchno-prakticheskoy konferentsii molodykh uchyonykh, aspirantov i studentov v g. Neryungri, s mezhdunarodnym uchastiem. Sectsii 1–5. Neryungri: Izd-vo Tekhnicheskogo instituta (f) SVFU, 2018. P. 180–184 (in Russian).
5. Aki K., Chouet B. Origin of the coda waves: source, attenuation and scattering effects // Journal of Geophysical Research. 1975. no. 80. P. 3322–3342.
6. Забродин В.Ю., Рыбас О.В., Гильманова Г.З. Разломная тектоника материковой части Дальнего Востока России. Владивосток: Дальнаука, 2015. 132 с.
- Zabrodin V.Yu., Rybas O.V., Gil'manova G.Z. Fault Tectonics of the Russian Far East Mainland. Vladivostok: Dal'nauka, 2015. 132 p. (in Russian).
7. Добрынина А.А., Чечельницкий В.В., Саньков В.А. Сейсмическая добротность литосферы юго-западного фланга Байкальской рифтовой системы // Геология и геофизика. 2011. № 5. С. 712–724.
- Dobrynina A.A., Chechel'nitskii V.V., San'kov V.A. Seismic quality factor of the lithosphere of the southwestern flank of the Baikal rift system // Geologiya i geofizika. 2011. № 5. P. 712–724 (in Russian).
8. Sharma B., Gupta A. K., Devi D. K., Kumar D., Teotia S.S., Rastogi B. K. Attenuation of High-Frequency Seismic Waves in Kachchh Region, Gujarat, India. Bulletin of the Seismological Society of America. 2008. vol. 98. no 5. P. 2325–2340.

УДК 551.4(571.6)

АНОМАЛЬНЫЕ ПРИРОДНЫЕ ПРОЦЕССЫ И ЯВЛЕНИЯ РОССИЙСКОГО ДАЛЬНЕГО ВОСТОКА

Скрыльник Г.П.

Тихоокеанский институт географии ДВО РАН, Владивосток, e-mail: skrylnik@tig.dvo.ru

Предмет исследований – системоформирующие взаимодействия континента и океана в рамках умеренного, субарктического и арктического природно-климатических поясов. Тема – аномальные природные процессы и явления российского Дальнего Востока, по своему воздействию на геосистемы выступающие как типичные, экстремальные или катастрофические. Цель – вскрыть частоту проявлений и интенсивность аномальных процессов и явлений в зависимости от дифференцированной природной напряженности Дальнего Востока (от максимальной на юге до умеренной на севере). Методы – сравнительно-географический, геофизический, информационный и т.д. Результаты – морфообразующие эффекты экзогенных процессов (наводнений, селей, термокарста и термоабразии, штормовых нагонов и других), связанных в основном с флуктуациями климата и гляциоэвстатическими колебаниями уровня Мирового океана, проявляющихся на фоне разноамплитудных тектонических движений. Область применения – при решении экологических проблем природопользования и выборе стратегии экологического равновесия в вопросах природопользования. Выводы – пороговые (граничные) уровни аномальных процессов на всех этапах естественного развития геосистем в целом тем выше от типичных и в межзональном плане дальше удалены друг от друга – более контрастны, чем больше по величине фоновые характеристики конкретной природной зоны. В антропогенных обстановках пороговые уровни заметно снижаются, сближаясь с уровнями типичных, что повышает вероятность геоэкологических рисков. Аномальные процессы и явления на Севере, по сравнению с Югом Дальнего Востока, в организации и аномальном изменении геосистем на естественном фоне в целом играют явно подчиненную роль и отмечаются относительно реже и на более ограниченных площадях.

Ключевые слова: опасные, аномальные, процессы, явления, геосистемы, естественные, антропогенные, пороговые уровни, геоэкологические риски, Дальний Восток

DANGEROUS NATURAL PROCESSES AND PHENOMENA THE RUSSIAN FAR EAST

Skrylnik G.P.

Pacific Geographical Institute, FEB of RAS, Vladivostok, e-mail: skrylnik@tig.dvo.ru

The subject of studies is the system-forming interactions of the continent and the ocean within the limits of the moderate, sub-arctic and Arctic nature-climatic belts. The theme is the abnormal natural processes and the phenomena of the Russian Far East acting as typical, extreme or catastrophic by its influence on geosystems. The goal is to discover frequency of manifestations and intensity of abnormal processes and the phenomena depending on the differentiated natural intensity of the Far East (from maximum in the south to moderate in the north). The methods are comparative-geographical, geophysical, information and others. The results are the morphoforming effects of exogenic processes (flooding, mud flows, thermokarst and thermoabrasion, storm wind-induced surges and others), connected basically with the fluctuations of climate and glacio-eustatic fluctuations of the level of the World Ocean which manifest themselves against the background of tectonic movements with different amplitudes. The sphere of application is for decision of the environmental problems of nature management and for the choice of the strategy of ecological equilibrium in the questions of nature management. Conclusions -of the geosystem being higher than typical ones and separated from each other by long distances are more contrast which is related to the background characteristics of the particular natural zone. In the anthropogenic environment, the threshold levels decrease note worthily approaching the levels of typical ones which enhances the likelihood of the geoecological risks. The anomalous processes and phenomena in the North, as compared with those in the Southern Far East, play evidently subordinate role in the organization and anomalous change of geosystems against the natural background and are observed much more rare and over more limited areas. At the same time and all other things being equal (at comparable degrees of impact), the anomalous processes in the North can result in the significant effects of geosystems' destruction due to the simpler organization of them and more poor phytoecogenic component determining the lesser plasticity of common geosystems.

Keywords: dangerous, anomalous processes, phenomena, geosystems, natural, anthropogenic, threshold levels, geoecological risks, Far East

Дальний Восток расположен в устойчиво активной переходной-контактной зоне двух величайших структур Земли, в ходе взаимодействия оказывающих мощные системоформирующие влияния в рамках умеренного, субарктического и арктического природно-климатических поясов. В этом заключается предмет и новизна этой статьи.

По своему воздействию на геосистемы региона одномасштабные процессы и явления выступают как типичные, экстремальные или катастрофические, с указанием их актуальности – как индикаторов геоэкологических рисков [1] (рис. 1).

Цель исследования: регионально-фоновая характеристика опасных явлений и про-

цессов, а также их общие и отличительные районные черты в пределах конкретных территорий.

Материалы и методы исследования: результаты тематических маршрутных и полустационарных исследований аномальных процессов и явлений в различных регионах Дальнего Востока являются авторскими, полученными в ходе применения сквозных направлений (методов) изучения комплексной физико-географической оболочки (КФГО), разработанных К.К. Марковым с соавторами – сравнительно-географического, палеогеографического, геофизического, картографического и информационного.

Результаты исследования и их обсуждение приводятся покомпонентно по отдельным регионам – большей частью по авторским материалам, с привлечением только необходимых данных из литературных источников.

Север Дальнего Востока

На районно-локальном уровне среди процессов, термодинамически значимых (относительно наиболее энергонапряженных, приводящих к сравнительно значительному эффекту), в организации и возможном аномальном изменении геосистем российского Севера Дальнего Востока могут выступать [2]: землетрясения, вулканические извержения, крупноглыбистые обвалы массы и грязекаменные потоки, мощные наводнения, «взрывы» активности криогенеза и (или) «малого» гляциогенеза, антропогенная деятельность.

Как показывает анализ всех имеющихся в нашем распоряжении материалов (опубликованных [3–5], фондовых и собствен-

ных наблюдений [1]), аномальные процессы и явления на Севере, по сравнению с Югом Дальнего Востока, в организации и аномальном изменении геосистем на естественном фоне в целом играют явно подчиненную роль и отмечаются относительно реже и на более ограниченных площадях. Ниже, в качестве примеров, приводятся отдельные примеры аномальных явлений по отдельным районам Севера.

Остров Врангеля

Современное развитие рельефа острова определяется и контролируется в первую очередь специфическим полярным климатом (направленная континентализация природной обстановки; небольшое количество твердых атмосферных осадков; высокая «ветровая напряженность» зимой, когда снег интенсивно сдувается в море; и т.д.). С этим связано отсутствие современных активных очагов оледенения. Развитие морфогенеза на острове протекает по пути неуклонного вытеснения нивационных процессов постоянно усиливающимися и уже сейчас господствующими процессами криогенеза. Эта тенденция развития рельефа сохранится и в ближайшем будущем.

Чукотка

Чукотка относится к области широкого проявления *солифлюкции* (рис. 2). Последняя является наиболее активной формой движения (в форме от вязко-текучего до жидкотекучего – соответственно, медленная и быстрая солифлюкция) рыхлого материала на склонах и, вместе с эрозией, по данным 1975 г. Л.А. Жигарева, выступает ведущим рельефообразующим процессом.



Рис. 1. Энергетические и динамические соотношения типичных и аномальных процессов организации геосистем (принципиальная схема; составлена автором)

Возникают различные натечные формы (полосы, валы, языки оплывания и микро-террасы на склонах, шлейфы у подножий и т.д.). Катастрофические явления связаны, как правило, с процессами протекания быстрой солифлюкции, активизация которой отмечается в периоды выпадения интенсивных атмосферных осадков и быстрого повышения летних температур воздуха, вызывающих скачкообразное протаивание деятельного слоя грунтов без их высыхания, и особенно на склоновых участках со значительными нарушениями или «снятием» растительного покрова. Аномальные скорости быстрой солифлюкции в эти периоды могут достигать 30–50 м/сутки.

Наледеобразование развито широко. На Чукотке зафиксировано около 350 наледей (грунтовых и речных), антропогенно активизирующихся. Некоторые из речных наледей – гигантские (например, в Амгуэмо-Куветском массиве), с объемом льда более 10 млн м³, площадью превышающей десятки км² и мощностью до 6–7 м. Величина относительной наледности ряда бассейнов стока превышает 2%. Формирование всех наледей активизируется также в очень холодные и малоснежные зимы.



Рис. 2. Долинный комплекс форм рельефа (снизу вверх): песчано-галечная коса; пойма (около 1 м, в ходе предыдущего весеннего половодья обнажена, частично размыва); 11 н.т. р. Танюрер (6–7 м; уступ, подверженный активному солифлюкционному оплыванию). Снимок сделан в начале августа 1972 г. Фото Б.И. Втюрина

Процессы термоабразии. Размыв береговых уступов на участках, сложенных сильнольдистыми рыхлыми отложениями, сопровождается быстрым их отступанием и значительными прирвовочными просядками. Интенсивность термоабразии по всей территории относительно невелика:

на севере Чукотки – до 1–2 м/год; в пределах берегов Берингова моря – до 2–3 м/год. В естественных обстановках, по данным 1980 г. Ф.Э. Арэ, термоабразионные берега в основном стабилизирующиеся. В антропогенных же обстановках процессы разрушения этих берегов активизируются с поверхности, вызывая отступление берегов до 4–5 м/год (например, на восточном и западном берегу Колочинской губы – по данным наших наблюдений в 1973 г.). Еще большие скорости следует ожидать в ходе возможного глобального потепления [6].

Термокарстовые явления (округлые западины, котловины и озерные ванны; линейные, линейно-коленчатые и полигональные формы проседания; и другие), являясь типичными для территории Чукотки, экстремального проявления достигают только в редкие аномально теплые и дождливые годы. Картина еще более антропогенно обостряется (например, по нашим наблюдениям в 1972–1973 гг. в р-не п. Канчалан), вызывая локальное разрушение геосистем с возникновением глубоких борозд-рвов (до 1 м) и оврагов (до 2 м).

Верхнее Приколымье

Среди наиболее опасных явлений в районе, проявляющихся на фоне современных природно-климатических условий, выделяются курумообразование с активизацией в условиях усиления общей региональной континентализации, обвалы, осыпи, наводнения, наледи и термокарст.

Курумообразование сейчас, как и в прошлом, протекает активно (особенно выше границы леса). На большей части относительно уплощенных привершинных поверхностей развиты площадные курумы, а на горных склонах широко представлены линейные курумы. Скорости движения линейных курумов (по результатам наших исследований разновозрастных заплывов на деформированных стволах деревьев и нарушений колец роста в спилах искривленных, «ободранных» и сломанных 15–20-летних лиственниц во фронтальных зонах курумов – выполненных в 1973 г. в бортах долины р. Мяунджа и в районах г. Сусуман и п. Ягодный) оцениваются в 0,5–1,5 м/год.

Обвально-осыпные процессы активно протекают в верхнем поясе гор (выше 800–1000 м) и на крутых (более 30–40°) незалесенных берегах рек. Среди обвалов преобладают мелкие разновидности, когда обрушиваются обычно десятки-сотни кубометров горных пород (максимальные разме-

ры отдельных глыб на эффузивах среднего и основного состава – до 5–7 м³, а на гранитоидных интрузиях – до 2–3 м³). Активизация обвально-осыпных процессов повышается в зимне-весеннее время и в ходе выпадения ливневых осадков, особенно на «свежих» гаях и лесных вырубках.

Наводнения связаны с быстрыми паводками (продолжительностью до 3 дней), после продолжительных (до 35 часов) и интенсивных (до 2,4 мм/час) атмосферных осадков [2].

Наледеобразование отмечается в руслах рек среднегорья или на их поймах и, крайне редко, на склонах. Чаще это средние наледи (длиной 1–2 км, шириной 200–400 м и с мощностью льда 1–4 м), но встречаются и отдельные крупные [5]. В очень холодные и малоснежные годы процессы наледеобразования резко активизируются.

Термокарст представлен чаще небольшими провальными формами (в диаметре 1–10 м, по глубине до 1–3 м) на поймах и низких надпойменных террасах. На свежих пирогенных и антропогенных участках, а также везде в теплые годы, термокарстовые процессы заметно активизируются, перерабатывая относительно большие площади.

Камчатка

Современное развитие геосистем происходит в условиях активного вулканизма и повышенной сейсмичности на общем фоне взаимодействия противоборствующих континентальных и океанических влияний.

Катастрофические извержения вулканов, сопровождаясь излиянием лав и масштабными выбросами пепла и камней, вызывают разрушение соседних геосистем, а на удалении – существенное нарушение их организации. Они приводят к таянию «насаженных» и соседствующих ледников и деградации последних. Так, извержение вулкана Шивелуч в ноябре 1964 г., по данным Н.А. Шило и В.Н. Виноградова в 1970 г., уничтожило значительную часть области питания ледника Тюшова. Таяние ледников порождает возникновение *аномальных* грязекаменных потоков, резко преобразующих склоновые поверхности и формирующих громадные подсклоновые шлейфы. Таяние ледников вызывает и катастрофические наводнения по речным долинам, особенно в районах сплошного развития скальных пород, где происходит спрямление речных русел и уничтожение фрагментов пойменных и террасовых комплексов.

Обвалы, оползни и сели – довольно обычные опасные явления для горных районов

Камчатки, особенно после сейсмических «встрясок». К одному из самых потенциально опасных районов Камчатки относится Долина Гейзеров. Следы аномальных явлений – повреждение нескольких гейзеров мощным селом, вызванным крайне обильными атмосферными осадками во время тайфуна «Эльза» (октябрь 1981 г.); наличие обвальных форм, связанное с многочисленными неоднократными крупными обвалами (объемом до 0,5–1 км³), что зафиксировано и на аэрофотоснимках 1950–1990 гг. Пройшедшая 3 июня 2007 г. «многофазная лавина» (оползень – селя – обвал), по наблюдениям Е.И. Гордеева и И.В. Мелекесцева в 2007 г., резко изменила облик геосистем долины р. Гейзерной.

Воздействие *цунами* на прибрежные геосистемы Камчатки (особенно вдоль ее восточного побережья) довольно обычное явление с высоким системообразующим эффектом [6]. На Тихоокеанском побережье Камчатки при цунами отмечаются волны с максимальным подъемом уровня – свыше 23 м 1 раз в 100–200 лет; 8–23 м 1 раз в 50–100 лет; 3–8 м 1 раз в 20–30 лет; 1–3 м 1 раз в 10 лет (по материалам 1981 г. Н.А. Щетникова).

Общие тенденции

В современных природно-климатических обстановках на большей части Севера Дальнего Востока, на фоне прослеживаемых разнопериодных колебаний в естественных зональных и провинциальных соотношениях тепла и влаги, активность всех природных процессов отмечается все еще в пределах фоновой нормы – преимущественно в рамках типичных и, реже, критических уровней (в крайне редких случаях – кратковременно до кризисных и возвратно до критических). В условиях антропогенного пресса частота их проявления резко возрастает.

Юг Дальнего Востока

Этот регион нами ассоциируется с одной из наиболее активных термогидродинамических ячеек энергетической сетки комплексной физико-географической оболочки [3]. В становлении ландшафтов всего юга Дальнего Востока аномальные факторы, явления и процессы (и естественные, и антропогенные) играли и играют громадную системообразующую роль. В целом аномальные воздействия на геосистемы все больше и больше становятся типичными, т.е. рамки «природных рисков» здесь расширяются.

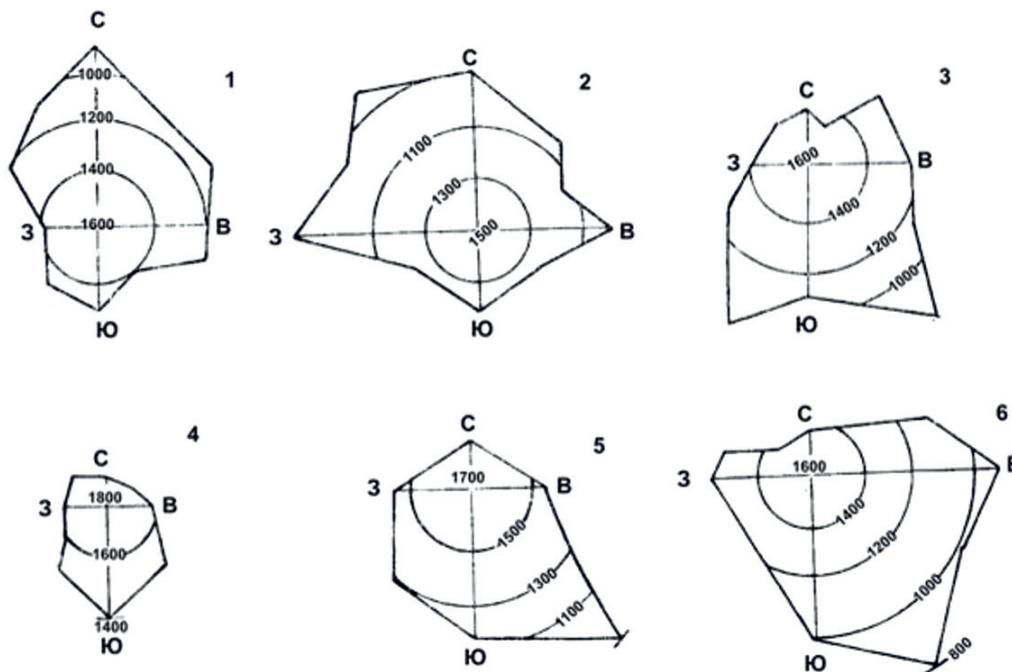


Рис. 3. Розы-диаграммы распределения осыпей и курумов в гольцовом поясе юга Дальнего Востока: 1 – хр. Джугдзур; 2 – хр. Ям-Алинь; 3 – Северный Сихотэ-Алинь (бассейн рек Сукнай и Самарга); 4 – Средний Сихотэ-Алинь (бассейн р. Уссури); 5 и 6 – Южный Сихотэ-Алинь (бассейн р. Кивка); 1500 – абсолютные высоты в метрах. Составили А.М. Короткий и Г.П. Скрьльник

Опасные явления в целом – следующие. В *континентальных районах* – аномальные ливни и наводнения; лесные пожары; ураганные ветры; землетрясения; «взрывы» линейной эрозии; осыпе- и курумообразование (рис. 3). В *прибрежных зонах* – сочетания аномальных ливней с наводнениями и нагонами; землетрясения и цунами; ураганы, сильные шторма и штормовые волнения; наледи, обвалы, оползни, осыпи. На *островных территориях* – катастрофические ливни и ураганы; землетрясения и цунами; сильные шторма и штормовые нагоны; обвалы, оползни и сели. Многие из этих явлений причинно или опосредовано динамически связаны между собой. Так, в частности, последние, обусловленные особенностями рельефно-субстратной основы, в одних случаях вызваны глубокой эрозией, в других – интенсивной морской абразией, а в-третьих – изменениями климата, изреживанием растительности, интенсификацией склонового и флювиального морфогенеза.

Приохотье

Этот регион – зона высокой концентрации и обострения различных опасных

процессов (землетрясений, абразии, наводнений, криогенных процессов), что обусловлено:

- а) сочетанием разнородных структур и крутосклонностью рельефа в переходной зоне от материка к океану;
- б) повышенной сейсмичностью;
- в) пространственной контрастностью в относительно неширокой полосе (50–100 км) абсолютных отметок рельефа, уменьшающихся с запада на восток (от 1800–2000 до 50 м – по измерениям В.И. Готванского в 1977 г. и Е.В. Лебедевой в 1995 г.;
- г) пространственно-временной изменчивостью и контрастностью биометеоэнергетики ландшафтов.

В условиях долгоживущих разрывных нарушений и повышенной сейсмичности (до 7 баллов 1 раз в 1000 лет) возможны обвалы, вызывающие смещение крупных блоков пород по зонам разломов и возникновение трещин-рвов, а также активизацию других аномальных процессов (оседания склонов, лавин, селей).

Приамурье

На рассматриваемой территории отмечается широкий набор экзогенных аномаль-

ных явлений и процессов, но среди них масштабно значимыми (по интенсивности, частоте и площади воздействия на геосистемы) выделяются, прежде всего, наводнения, пожары и комплексы гравитационных и нивально-мерзлотных процессов [3, 7].

Наводнения наибольшей продолжительности отмечаются на нижнем Амуре (3–4 месяца, до 4–6), при максимальной ширине разливов до 10–20 км и более, а также при наибольших высотах наводнений до 6,5–11 м. Наиболее катастрофические наводнения отмечались на р. Амур и на р. Зея – 1872, 1928, 1950, 1953 и 1958 гг. [1].

Пожары – степные и, прежде всего, лесные. По горимости лесов Амурская область занимает ведущее место в России. В основном они имеют антропогенную природу и, в меньшей мере – загораются от сухих гроз. Крупные пожары в последние 200 лет отмечались в горах и на равнинах каждые 10–30 лет (особенно сильные осенью 2001 г. и в мае-июне 2002 г.). На участках прохождения пожаров интенсивные осадки порождают «вспышки» плоскостного смыва и эрозионного расчленения (в частности, оврагообразования).

Лавины – катастрофическое обрушение снежного и ледокаменного материала на безлесных крутых горных склонах, из-за резкого уменьшения его сцепления с подстилающей поверхностью (рис. 4 и 5).

Мерзлотные процессы. Наиболее опасными мерзлотными явлениями, связанными в целом с процессами промерзания-протаивания, в Приамурье являются наледи, пучение грунтов, термокарст и солифлюкция. Их частота, интенсивность и площади развития в антропогенных обстановках, по

сравнению с естественными, резко возрастают – местами больше до порядка.

Наледи (чаще речные и грунтовые) являются сезонными (разрушение льда – с конца апреля; к концу июля наледи ставивают) и обычно достигают небольших (до 10 тыс. м²) и средних (до 100 тыс. м²) размеров. Наиболее часто они возникают в районах средневысотных и низких гор с островным и прерывистым развитием вечной мерзлоты, одновременно с наличием благоприятных климатических обстановок (в малоснежные и суровые зимы после предшествовавшего дождливого летне-осеннего периода) и присутствия неглубоких водоупорных горизонтов. В антропогенных обстановках (из-за производства дорожных выемок, снятия напочвенных покровов и т.д.), по сравнению с естественными обстановками, наледообразование происходит более активно. Так, в ходе строительства БАМа количество наледей резко возросло (в частности, на участке ст. Ургал – г. Комсомольск-на-Амуре ежегодно отмечается до 70 наледей; по исследованиям В.К. Шевченко, С.А. Замолотчиковой и Т.А. Куриновой в 1989 г.).

Бугры пучения отмечаются широко – в долинах рек и ручьев, в межгорных впадинах и нижних частях склонов. Сезонные образования (диаметром 1–3 м и высотой 0,5–2,0 м) формируются с конца ноября по начало апреля, к концу лета полностью разрушаются. Многолетние бугры пучения (диаметром 3–30 м и высотой 1,5–4,0 м) на побережье заливов Николая, Ульбанского и Тугурского отмечены «группами»; во внутриконтинентальных районах – это «точечные» образования.



Рис. 4. Лавинный «прочес» лесного пояса; ниже – лавинный конус выноса (хр. Ям-Алинь, истоки р. Селиткан; 1989 г.). Фото автора



Рис. 5. Правый борт долины, «принявший» удар лавины (хр. Ям-Алинь, истоки р. Селиткан; 1989 г.). Фото автора



Рис. 6. Медленно смещающийся оползень в бухте Неми (хр. Северный Сижотэ-Алинь). Фото А.М. Короткого



Рис. 7. Возобновление курума на поверхности древней нагорной террасы после лесного пожара (правобережье р. Оуми, бассейн р. Самарги; 1989 г.). Фото автора

Термокарст проявляется в виде различных просадок. На месте единичных бугров пучения возникают западины и воронки, чаще заполненные водой, а на месте скоплений бугров пучения и гидроакколитов – озера (округлые, на побережье Ульбанского залива; реже прямоугольные, на Нимелен-Амгуньском междуречье), площадью от нескольких десятков метров до 1–2 км² и глубиной 1–2 м.

Солифлюкция наиболее активно проявляется на нижних участках пологих и сильно увлажненных склонов северной экспозиции с близким (0,5–1,0 м) залеганием вечномерзлых пород (например, по бортам Софийской и Конинской впадин, а также в бассейне р. Шевли и на побережье Тугурского залива) – в виде валиков и натечных микротеррас, рытвин по разрывам дернины с площадным излиянием на ее поверхность разжиженного грунта. Скорости смещения грунтов изменяются от 5–80 мм/год (в случае вязкотекучего движения) до десятков метров в год (в случае жидкотекучего движения). Гравитационные и склоновые процессы повышенной интенсивности по территории отмечаются достаточно широко. Наиболее представительными среди опасных гравитационных процессов являются обвальные и, особенно, осыпные. В настоящее время, согласно материалам наших полевых исследований, процессы осыпе- и курумообразования неуклонно усиливаются в связи с начавшейся и направленно возрастающей континентализацией климата и воздействием антропогенных факторов.

Приморье

Спектр аномальных явлений очень широк. В континентальных районах – ливни и наводнения, обвалы, оползни, пожары и эрозия и т.д.; в прибрежных районах – ливни и наводнения, шторма и штормовые нагоны, абразия и цунами, обвалы и оползни.

Гравитационные процессы (рис. 6) активно проявляются в прибрежной зоне Японского моря и оз. Ханка, в горах и на бортах речных долин. Землетрясения эти процессы резко активизируют, по данным наблюдений в 1970–1980 гг. [1].

Процессы курумообразования. Согласно нашим данным, сейчас процессы курумо- и осыпеобразования в горах юга Дальнего Востока усиливаются. Это связано с возрастающей континентальностью и с усиливающимся воздействием на лесные ландшафты антропогенных факторов, когда на горях «возрождаются» древние курумы (рис. 7).

Наледи (грунтовые и речные, с ручьевыми и ложковыми разновидностями) на территории Приморья имеют достаточно широкое распространение. Все они являются преимущественно средними по объему (от 5–10 м³ до 10–50 тыс. м³), по протяженности (до сотен м) и мощности (до 3–5 м); возникают к январю-февралю и практически полностью стаивают к маю (в среднегорье – к июню-июлю). В верховьях рек наблюдаются крутопадающие наледи, совпадающие с осыпными кулуарами.

Процессы в речных долинах приобретают аномальные значения из-за выпадения интенсивных атмосферных осадков. Осо-

бенно разрушительны паводки в долинах магистральных рек на участках, где уничтожена пойменная растительность [3].

Аномальные наводнения. Ежегодные крупные наводнения отмечаются в июле – сентябре с приходом глубоких циклонов с запада или тайфунов с юга. Наиболее интенсивные наводнения вызываются длительными дождями. В течение последних десятилетий на реках Приморья было отмечено 18 аномальных наводнений [1]. Среди них было 2 катастрофических (1989 г. – в бассейнах рек Партизанская, Киевка, Малиновка, Большая Уссурка, Уссури; 2000 г. – в бассейне р. Раздольная). Катастрофические наводнения были и на малых реках: р. Кулешовки у г. Спасска-Дальнего и р. Раковки. Наблюдения за ними выполнены совместно с А.М. Коротким в 1989 г. в нижнем течении р. Кривой (притоке р. Киевки), где высота паводка в 5 км от устья составила 4,5–5,4 м над меженю.

Прибрежно-морские процессы – экстремальные и катастрофические, сопровождаются размывом коренных берегов, обвалами, оползнями, оседаниями крупных блоков. Катастрофические процессы, возникающие при моретрясениях – *цуна-*

ми. Наиболее цунамиопасная зона в Приморье – его юго-восточная, центральная и северная части [1]. На берегах Японского моря за последние 2,5 тыс. лет, по историческим данным, зарегистрировано 17 крупных цунами. В XX веке отмечено 5 случаев цунами (1.08.1940; 16.10.1964; 5.09.1971; 26.05.1983; 13.07.1993 гг.), вызванных подводными мелко- и глубокофокусными землетрясениями у побережья Японии [1]. Следы воздействия цунами (1983 г. и 1993 г.) на побережье зал. Петра Великого показаны на рис. 8. Кроме того, во время цунами 1993 г. в устье р. Рудной произошёл размыв низкой морской террасы (высота 4 м), пляжа и подводного бара с расширением ее южного эстуария до 200 м с увеличением глубины протоки до 10 м. Здесь в северной части низкой морской террасы были смещены ёмкости для хранения горюче-смазочных материалов (рис. 9). Участки абразионных берегов были полностью «очищены» от мелкозема и средних обломков.

При этом ландшафтопреобразующие эффекты от цунами в мае 1983 и летом 1993 г. превосходили воздействия катастрофических штормов, наблюдавшихся в 1962–1993 гг.

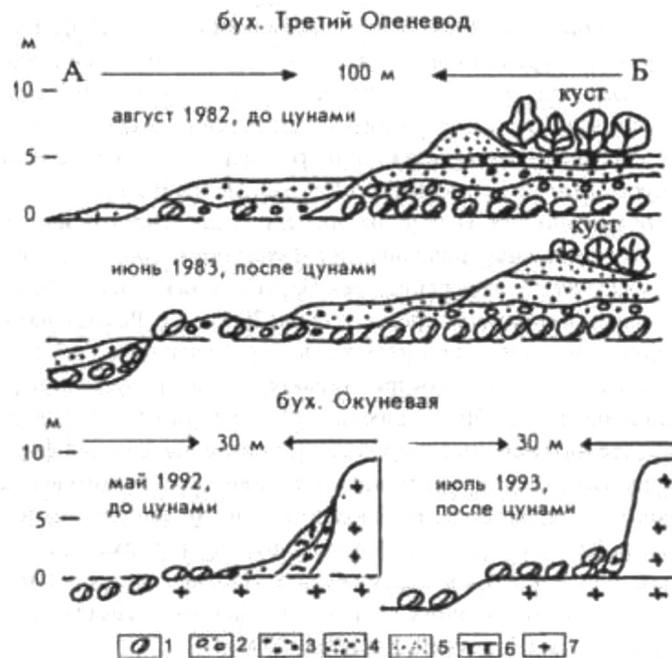


Рис. 8. Следы воздействия цунами (1983 г. и 1993 г.) на побережье зал. Петра Великого. Условные обозначения: 1 – валуны; 2 – галька с песком; 3 – гравий; 4 – песок с гравием; 5 – песок; 6 – почва; 7 – коренные породы. Составили А.М. Короткий и Г.П. Скрыльник



Рис. 9. Следы воздействия цунами в 1993 г. в бухте Рудной (Восточное Приморье). Фото А.М. Короткого

Остров Сахалин

Остров Сахалин находится в области активного взаимодействия суши и океана, в районе распространения резко дифференцированных тектонических движений и слабоустойчивых к денудации горных пород. Возникают массовые движения обломочного материала (например, вблизи м. Ламонон; на полуостровах Крильон, Анива и Шмидта) [1]. Прохождению лавин на Сахалине благоприятствует развитие резко расчлененного (глубиной от 200–500 до 600–800 м) рельефа с преобладанием крутых склонов (30–45°). Это выполняется при выпадении большого количества атмосферных осадков (от 400 до 750 мм/год, из которых до 40–45% – твердые) и метелевый перенос (число дней с метелью от 32 на юге до 65 на севере) снега на собственно лавиноопасные склоны. Влияют на это и громадные площади зарослей бамбука на месте «сведенной» (в период японской оккупации 1905–1945 гг., в южной части острова) древесной растительности. Снегопады «раздавливают» здесь слой глубинной изморози и вызывают смещение снежных масс по «пригнутому бамбуковому слою» в форме осовов. Катастрофические лавины наблюдаются 1 раз в 10 лет.

С точки зрения потенциальной угрозы для народного хозяйства о. Сахалин, по данным А.В. Иванова, следует относить к одной из наиболее лавиноопасных территорий России.

Наледи возникают обычно в малоснежные зимы, как правило, на ручьях и малых горных реках, а также в местах выхода грунтовых вод на склонах. Их площади не более 0,05–0,2 км², а мощность льда – до 1,5 м. В антропогенных обстановках налед-

ные процессы нередко переходят в разряд аномальных явлений.

Сели. Объемы селевых выносов на Сахалине, по исследованиям Г.В. Полунина в 1983–1989 гг., достигают нескольких десятков тысяч кубических метров. Интенсивные и продолжительные летне-осенние дожди способствуют частой повторяемости прохождения селей. К наиболее селеопасным районам относятся участки Южно-Прибрежной горной цепи и Охотоморский район.

Наводнения. Возникновению наводнений способствуют небольшой врез и аккумуляция в руслах равнинных рек, когда небольшое повышение уровня вызывает затопление пойм. Подъем уровня во время катастрофических паводков (1951, 1957 и 1959 гг.) на реках Сахалина составлял в среднем 3–4 м.

Эоловые процессы. Интенсивный ветровой перенос и дефляция песка наблюдается на северо-западе острова (развеваются бугристые пески, сливающиеся в гряды и дюны высотой до 15 м и протяженностью 15–90 м). Дюны передвигаются в северо-западном направлении со скоростью около 2 м, в год [3].

Прибрежно-морские процессы. Особенно значительна активность абразионных процессов отмечается в пределах западно-сахалинского побережья. Скорость смещения берега в отдельных районах за 40 лет составляла от 0,7 до 1,5 м/год. Морские наводнения и штормовые нагоны, обусловленные прохождением глубоких циклонов и тайфунов, сильно трансформируют береговые геосистемы. Особую опасность они представляют для районов обширных мелководий, где величины штормовых нагонов достигают 3–3,5 м.

Цунами – отмечаются дифференцировано, по частоте встречаемости (1 раз в 3–10 лет) и высоте прихода волн вдоль всего побережья. Наибольшей цунамиопасностью с максимальной высотой волны в 2,5–3,0 м (по данным М.Г. Диденко и А.А. Куркина) отличаются юго-западные участки южной части острова. Тихоокеанское же побережье Сахалина, несмотря на свою открытость, принимает волны не более 1,5 м.

Курильские острова

Среди катастрофических экзогенных процессов на Курильских островах выделяются обвалы и оползни на склонах, селевые и лахаровые процессы в речных долинах, вблизи вулканов (рис. 10), в пределах дену-

дационно-тектонических хребтов, а также абразия коренных берегов и размыв аккумулятивных форм. Штормовые нагоны характерны только для открытых участков преимущественно Тихоокеанского побережья Курил и могут достигать по высоте 2–4 м [1, 3]. Охотоморское побережье Курил отличается малой цунамиопасностью из-за редких землетрясений под Охотоморской впадиной. Сюда приходят через проливы только относительно ослабленные (высотой всего до 1–3 м) волны цунами с востока. Тихоокеанское же побережье Курильских островов является ареной не только частых, но и катастрофических воздействий цунами. Так, здесь отмечают волны с различным максимальным подъемом уровня – свыше 23 м 1 раз в 100–200 лет; 8–23 м 1 раз в 50–100 лет; 3–8 м 1 раз в 20–30 лет; 1–3 м 1 раз в 10 лет (по данным С.Л. Соловьева и Ч.Н. Го за 1974 г.).



*Рис. 10. Вулкан Тятя (абсолютная высота 1822 м; вид с юга). На переднем плане – аллювиально-лахаровая равнина, покрытая зарослями «курильского» бамбука.
Фото Г.И. Худякова*

Воздействия цунами на геосистемы, в течение исторического времени и прошлых эпох, прослежены методами дендрохронологии (по данным В.В. Иванова и К.В. Симонова) и спорово-пыльцевого и радиоуглеродного анализов (по материалам Т.А. Гребенниковой, Н.Г. Разжигасовой и Л.А. Ганзей).

Общерегиональные опасные явления на юге Дальнего Востока

Среди опасных явлений выделяют «речные перестройки». Они вызывают и поддерживают длительное развитие аномальных ландшафтопреобразующих процессов.

Заключение

Неустойчивыми территориями являются побережье Японского и Охотского морей, Камчатка, вершинный пояс гор, глубоко врезанные и крутосклонные речные долины материковой суши и островные территории. В условиях наметившегося усиления похолодания [8] и континентализации с увеличением природных контрастов на юге Дальнего Востока проявляется экстремализация природных процессов [1].

Пороговые (границные) уровни аномальных процессов на всех этапах естественного развития геосистем в целом тем выше от типичных и в межзональном плане дальше удалены друг от друга – более контрастны, чем больше по величине фоновые характеристики конкретной природной зоны. Тематические наблюдения автора показывают, что в антропогенных обстановках аномальные процессы (например, термокарстовые процессы после сведения лесной растительности и кустарничково-мохового покрова, оказывающей охлаждающее влияние на почво-грунты) резко активизируются и становятся в эти моменты типичными для трансформируемых геосистем. Таким образом, в антропогенных обстановках пороговые уровни аномальных процессов заметно снижаются, сближаясь с уровнями типичных, что повышает вероятность геоэкологических рисков.

Представленные результаты, полученные большей частью по авторским материалам, с привлечением только необходимых данных из литературных источников, могут быть востребованы при выборе стратегии рационального природопользования во всех рассмотренных районах, где оно должно быть всесторонне «щадящим», учитывающим существующие риски и определяемые ими экологические ограничения.

Список литературы / References

1. Короткий А.М., Коробов В.В., Скрыльник Г.П. Аномальные природные процессы и их влияние на состояние геосистем юга российского Дальнего Востока. Владивосток: Дальнаука, 2011. 265 с.
2. Kоротky A.M., Korobov V.V., Skrylnik G.P. Abnormal natural processes and their influence on the condition of geosystems of the south of the Russian Far East. Vladivostok: Dalnauka, 2011. 265 p. (in Russian).
3. Север Дальнего Востока. М.: Наука, 1970. 488 с.
The north of the Far East. M: Nauka, 1970. 488 p. (in Russian).
3. Юг Дальнего Востока: (История развития рельефа Сибири и Дальнего Востока). М.: Наука, 1972. 423 с.
The south of the Far East: (History of development of the relief of Siberia and the Far East). M: Nauka, 1972. 423 p. (in Russian).
4. Подгорная Т.И. Опасные природно-техногенные геологические процессы на освоенной территории Дальнего Востока РФ. Хабаровск: изд-во Тихоокеан. гос. ун-та, 2013. 285 с.

Podgornaya T.I. Dangerous nature-technogenic geological processes in the mastered territory of the Far East of the Russian Federation. Khabarovsk: the Publishing house of Pacific State University, 2013. 285 p. (in Russian).

5. Офицеров В.А. Состояние окружающей среды на территории Дальневосточного федерального округа // Экологическое образование на современном этапе для устойчивого развития : материалы межрегион. науч.-практ. конф. с междунар. участием (г. Благовещенск, 15–17 мая 2013 г.). Благовещенск, 2013. Т. 1. С. 3–7.

Offitserov V.A. The state of environment in the territory of the Far Eastern Federal District // Ecological education for a sustainable development at the present stage: the Proceedings of the Interregional scientific-practical conference with international participation (Blagoveshchensk, May, 15–17, 2013). Blagoveshchensk, 2013. V. 1. P. 3–7 (in Russian).

6. Адрианов А.В. Экологическая безопасность дальневосточных морей России // Вестник Российской Академии наук. 2011. Т. 81. № 2. С. 111–119.

Adrianov A.V. Ecological safety of the Far Eastern seas of Russia // Vestnik Rossijskoj Akademii nauk. 2011. V. 81, № 2. P. 111–119 (in Russian).

7. Калашников А.В., Калинина Н.В. Амурская область: экологические проблемы // Рос. объедин. Демократ. Партия «Яблоко», фракция «Зеленая Россия». М, 2014. 51 с.

Kalashnikov A.V., Kalinina N.V. Amurskaya Oblast: environmental problems // The Russian united Democratic Party «Yabloko», the fraction «Green Russia». М, 2014. 51 p. (in Russian).

8. Глобальная служба атмосферы (ГСА) – Global Atmosphere Watch Programme [Электронный ресурс]. URL: <https://public.who.into/.../programmes/global-atmosphere-watch-programme> (дата обращения: 16.06.2018).

Global atmosphere watch (GAW) – Global Atmosphere Watch Programme [Electronic resource]. URL: <https://public.wmo.int/.../programmes/global-atmosphere-watch-programme> (date of access: 16.06.2018) (in Russian).

УДК 553.086:551.2.08

**ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ И ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ
СПЕЦИАЛЬНОЙ МЕТОДИКИ МИКРОСТРУКТУРНОГО АНАЛИЗА****Устинов С.А., Петров В.А.***ФГБУН «Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии»
Российской академии наук, Москва, e-mail: stevesa@mail.ru*

Специальная методика микроструктурного анализа подразумевает решение задачи измерения и анализа геометрических параметров микроструктур в ориентированных образцах горных пород в контексте изменения тектонической обстановки их формирования. При этом появляется возможность реконструкции путей миграции флюидов на фоне смены деформационных эпизодов, характеризующихся уникальными параметрами поля напряжений-деформаций. Особое внимание уделяется изучению планарных систем флюидных включений, выступающих в роли структурных индикаторов процессов миграции рудоносных растворов в неоднородном поле напряжений-деформаций. Методика опробована на ряде рудных объектов, но пока не получила широкого распространения. В связи с этим возникает необходимость обобщения теоретических основ и широкого освещения возможностей применения данного анализа. Для реализации специальной методики микроструктурного анализа авторами предложен уникальный подход на основе разработки программного модуля, интегрированного с ГИС. Программное обеспечение содержит все необходимые инструменты для автоматического замера геометрических параметров, выявления и анализа систем трещин по фотографиям ориентированных шлифов, полученным с помощью микроскопа, оборудованного цифровой фотокамерой. Показано, что результаты пространственного анализа различных генераций и типов микроструктур с помощью специальной методики микроструктурного анализа в совокупности с другими структурными данными и результатами анализа минерального вещества позволяют реконструировать условия миграции потоков гидротермальных растворов в рамках выявленных структурных эпизодов. В статье также приведены формулы количественного расчета значений микротрещинной пористости и проницаемости для определённого эпизода развития гидротермальной системы. Значения фильтрационных характеристик могут быть рассчитаны как для определённой генерации микроструктур, так и для совокупности систем, выполнявшей роль флюидопроводящих каналов на определённом этапе деформаций.

Ключевые слова: специальная методика микроструктурного анализа, микротрещины, планарные системы флюидных включений, поле напряжений-деформаций, физико-химические условия рудообразования, пористость, проницаемость

**THEORETICAL BASICS AND OPPORTUNITIES OF THE SPECIAL TECHNIQUE
OF MICROSTRUCTURAL ANALYSIS APPLICATION****Ustinov S.A., Petrov V.A.***Institute of Geology of Ore Deposits, Petrography, Mineralogy and Geochemistry Russian Academy
of Sciences, Moscow, e-mail: stevesa@mail.ru*

The special technique of microstructural analysis involves solving the problem of measuring and analyzing the geometric parameters of microstructures in oriented rock samples in the context of changing the tectonic situation of their formation. In this case, it becomes possible to reconstruct fluid migration pathways against the background of deformation episodes changing characterized by unique stress-strain field parameters. Particular emphasis is paid to the study of fluid inclusion planes acting as structural indicators of ore-bearing solutions migration processes within inhomogeneous stress-strain field. The technique has been tested at a number of ore objects, but was not widely adopted. In this regard it becomes necessary to generalize the theoretical basics and broaden the sanctification of the analysis application opportunities. For realization of the special technique of microstructural analysis a unique approach based on the development of modular software integrated with GIS was proposed by authors. The software contains all necessary tools for automatic measurement of geometrical parameters, identification and analysis of crack systems using photographs of oriented thin sections, received by means of the microscope equipped with a digital camera. It is shown that results of the spatial analysis of various generations and types of microstructures, using the special technique of microstructural analysis in combination with other structural data and mineral analysis results allows reconstructing the hydrothermal solutions migration conditions within the identified structural episodes framework. The article also gives formulas for the quantitative calculation of the microcrack porosity and permeability values for a certain episode of the hydrothermal system development. Filtration values can be calculated both for a specific generation of microstructures and for systems set, which acted as fluid-conducting channels at a certain stage of deformations.

Keywords: special technique of microstructural analysis, microcracks, fluid inclusion planes, stress-strain field, physical and chemical conditions of ore formation, porosity, permeability

В отечественной геологической науке для решения некоторых задач структурной геологии, реконструкции напряжений и деформаций горных пород, изучения структур рудных полей и месторождений была разра-

ботана и применялась методика микроструктурного анализа. Данный анализ впервые возник в 1930 г., после того как Б. Зандер сформулировал его основные положения. Позднее микроструктурные исследования

проводились многими, преимущественно советскими, учёными и исследователями. Однако в настоящее время развитие и повсеместное использование при геологических и структурно-геологических исследованиях рассматриваемого анализа, из-за крайней сложности его проведения с технической точки зрения, необходимости сбора и обработки большого объёма информации, а также отсутствия иных независимых методов верификации полученных результатов, практически прекратилось.

В рамках современного этапа развития геологической науки для решения структурных задач всё чаще делается акцент на изучении трещин и микротрещин в ориентированных образцах горных пород, измерении их геометрических параметров и анализе минерального выполнения. Полученные результаты позволяют делать выводы о последовательности образования структур, выявлять этапы тектонических движений, восстанавливать пути миграции флюидов в трещинном пространстве горной породы, реконструировать параметры поля напряжений-деформаций (ПНД), связанные с конкретным тектоническим этапом. На основе накопленного опыта комплексного изучения микроструктур в образцах горных пород авторами создана специальная методика микроструктурного анализа (СММА) и сформулированы теоретические основы её применения.

Цель исследования: разработка и обобщение теоретических основ созданной авторами СММА, а также демонстрация возможностей и результатов её применения на основе использования дополнительных прецизионных методов анализа минерального вещества.

Материалы и методы исследования

Среди микроструктур в горных породах обычно выделяют открытые микротрещины, которые не заполнены минеральным веществом, а также минерализованные микротрещины, которые выполнены либо вторичными минералами, либо вторичными флюидными включениями. Захват вторичных флюидных включений происходит под действием какого-либо позднего (например, гидротермального) процесса после того, как кристаллизация вмещающего их минерала была уже завершена, при наличии в нём доступного проникаемого трещинно-порового пространства [1].

Минерализованные и частично минерализованные трещины являются важными индикаторами протекания процессов миграции флюидов в прошлые геологические

эпохи. Вторичные флюидные включения обычно «захватываются» микротрещинами, которые сформировались на фоне ориентированного стресса и потому представляют собой ориентированные закономерным образом генерации. Данные микротрещины при проведении структурных исследований получили название «планарные системы флюидных включений» (ПСФВ) [2].

Пространственная ориентировка каждой генерации ПСФВ также напрямую зависит от параметров действовавшего на момент её формирования ПНД. Поэтому исследования подобных планарных систем в качестве структурных маркеров в сочетании с детальным комплексным изучением других типов систем микроструктур можно использовать для восстановления этапов деформаций и проницаемости пород, реконструкции геометрии путей миграции флюидов, установления динамики изменения термобарических и физико-химических условий, связанных с определёнными этапами деформации геологических тел.

ПСФВ на начальных этапах деформаций формируются как микротрещины отрыва. Плоскость трещины чаще всего ориентирована перпендикулярно оси наименьшего сжатия σ_3 . При этом вектор максимальной проницаемости лежит в плоскости промежуточной оси σ_2 и оси максимального сжатия σ_1 , где обеспечивается наиболее интенсивная миграция флюидов (рис. 1).

Через некоторый промежуток времени смена тектонической обстановки приводит к компрессии, под действием которой активные микроструктуры запечатываются, «захватывая» первые флюидные (газово-жидкие) включения. Следующая тектоническая обстановка сопровождается новым этапом деформаций, следы которого фиксируются в ориентировке ПСФВ второй генерации, а состав и свойства выполняющих их включений характеризуют термобарические, физические и химические условия. Данный процесс повторяется с образованием новых генераций ПСФВ, до окончательного затухания гидротермальной активности.

Как показали в своих работах Смит и Эванс (1984), ПСФВ могут быть обнаружены во многих породообразующих минералах горных пород, вне зависимости от их кристаллографических свойств. При этом лучшую сохранность обеспечивают зерна кварца. Опыты продемонстрировали, что кристаллы полевых шпатов и карбонатов менее устойчивы к гидротермально-метасоматическим преобразованиям, процессам

выщелачивания и выветривания, соответственно, сохранность ПСФВ и возможности их изучения в данных минералах малы.

Именно на установление ориентировок генераций ПСФВ в сочетании с методами термобарогеохимии были направлены усилия зарубежных ученых при изучении рудных объектов. При этом другие важные типы микротрещин оставались без внимания. Необходимо отметить, что изучение открытых микроструктур и микротрещин, в которых происходило отложение минерального вещества, не всегда позволяет реконструировать параметры ПНД. Но измерение пространственно-геометрических параметров данных типов микротрещин и изучение характера их минерального выполнения играет решающую роль при конечном расчёте фильтрационных параметров горных пород, так как они, в отличие от ПСФВ, характеризуются большей протяжённостью и апертурой (шириной раскрытия), способствуя увеличению фильтрационной способности горных пород (рис. 1). Кроме того, параметры данных микроструктур необходимо учитывать при реконструкции геометрии трещинно-порового пространства, восстановления направлений и условий движения палеопотоков флюидов. Поэтому авторский подход к реализации СММА подразумевает, помимо установления ориентировок ПСФВ, решение задачи по реконструкции пространственных параметров и характера минерального выполнения минерализованных и открытых микроструктур.

Важным условием для реализации СММА, как и для классической методики,

является отбор ориентированных образцов. Далее из образцов обычно изготавливаются ориентированные шлифы. Пространственные параметры различных генераций микроструктур и характер их взаимоотношений могут быть изучены под оптическим микроскопом при помощи столика Федорова. Но при таком подходе измерение геометрических характеристик микроструктур, количество которых может достигать нескольких тысяч в одном ориентированном шлифе, занимает значительное время. Всё это определяет необходимость создания специализированного инструмента, который мог бы ускорить сбор, обработку и анализ пространственных микроструктурных данных. Так авторами был разработан ГИС-модуль для реализации СММА, изучения структурных неоднородностей горных пород, установления геометрии трещинно-порового пространства, различных типов и систем микроструктур, их пространственных взаимоотношений, реконструкции последовательности активизации и расчета фильтрационных характеристик [3].

Результаты исследования и их обсуждение

Реконструкция ориентировки осей поля напряжений-деформаций. Благодаря применению СММА, реализованной с помощью авторского программного обеспечения, устанавливаются геометрические параметры микроструктур и их генераций, характеризующих параметры трещинно-порового пространства определённого этапа деформаций.

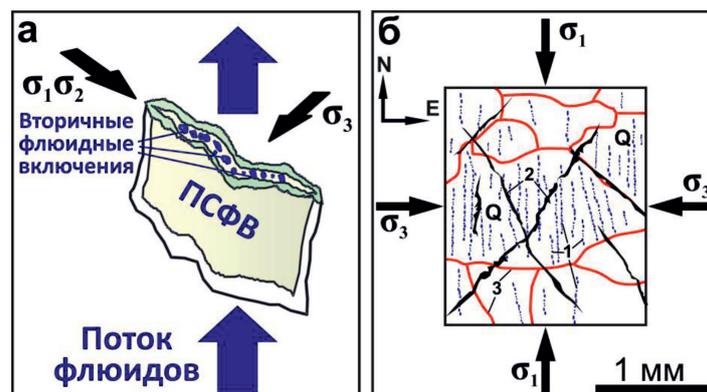


Рис. 1. Ориентировка осей поля напряжений-деформаций в зависимости от ориентировки ПСФВ; а – в трехмерном пространстве; б – в плоскости ориентированного шлифа: 1 – ПСФВ, 2 – открытые или минерализованные микротрещины, 3 – границы минеральных зёрен, Q – зерна кварца. σ_1 – ось максимального сжатия, σ_2 – ось наименьшего сжатия, $\sigma_1\sigma_2$ – плоскость промежуточной оси и оси максимального сжатия

Результаты выявления ориентировок ПСФВ, с учетом того, что они в большинстве случаев являются микротрещинами отрыва (или «гибридными») и их плоскости в большинстве случаев ориентированы преимущественно перпендикулярно оси наименьшего сжатия, могут быть восстановлены параметры ПНД на конкретном этапе эволюции гидротермальной системы.

В качестве примера можно привести работу авторов по изучению ориентировок ПСФВ с помощью СММА на урановом месторождении Антей (юго-восточное Забайкалье). На 9 и 11 горизонтах месторождения были выявлены две наиболее отчетливо проявленные генерации ПСФВ, имеющие северо-восток-юго-западные и северо-запад-юго-восточные простирания. На основе полученных результатов были построены сводные розы-диаграммы ориентировок ПСФВ (рис. 2) с учетом суммарной длины каждой генерации. Ориентировки сопоставлялись с результатами реконструкции динамики изменения ПНД, выполненной ранее на основе тектонофизических методов изучения макроструктур [4]. Оказалось, что ориентировка выявленных генераций ПСФВ совпадает с восстановленным простиранием осей максимального сжатия σ_1 , характеризующих второй и третий этапы тектогенеза, имевших место в процессе формирования месторождения. Полученные результаты подтвердили возможность использования ПСФВ в качестве структурных маркеров для реконструкции параметров ПНД, действовавших в палеоусловиях.

Восстановление физико-химических параметров гидротермального процесса для определённых стадий деформаций горных пород. Важной особенностью представляемой методики является то, что она позволяет устанавливать связь тектонодинамических процессов (формирование микроструктур) и физико-химических параметров.

Мелкая трещиноватость, рассматриваемая как совокупность небольших по размеру трещин, является не только отражением развития деформаций горных пород, но и формирует необходимые условия для успешного протекания процессов минералообразования.

Для решения задачи установления взаимосвязи структурных и физико-химических параметров недостаточно измерений геометрических параметров, помимо этого требуется использование прецизионных методов анализа минерального вещества, дающих информацию о температурах, давлениях, составе, солёности флюида и т.д. Результаты должны быть сопоставимы со структурными данными, полученными с помощью СММА. Решая данную задачу, авторы смогли сопоставить микроструктурные и тектонофизические данные с результатами определения свойств палеофлюидов (вторичных флюидных включений в микроструктурах) с помощью микротермометрии и состава минерального выполнения микротрещин с использованием сканирующей электронной микроскопии (СЭМ). В дальнейшем результаты могут быть значительно дополнены благодаря применению рамановской спектроскопии [5] вторичных флюидных включений.

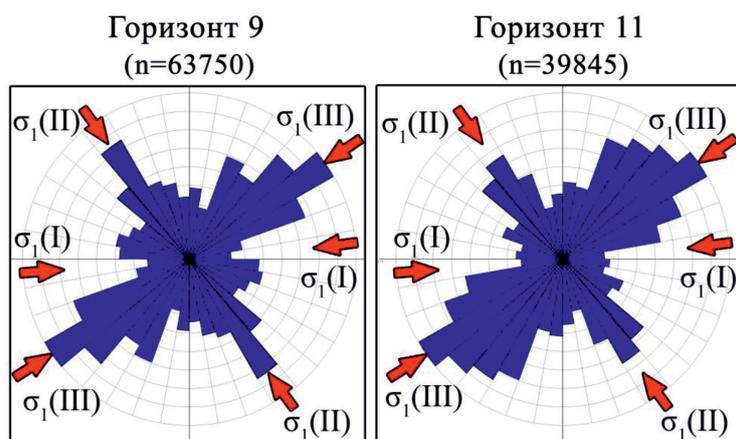


Рис. 2. Ориентировка ПСФВ на сводных розах-диаграммах для горизонтов месторождения Антей. n – количество замеров геометрических параметров микроструктур. Красные стрелки – ориентировка оси максимального сжатия σ_1 на первом – $\sigma_1(I)$, втором – $\sigma_1(II)$ и третьем $\sigma_1(III)$ этапах тектогенеза, выявленных ранее [4] макроструктурными методами

Структурные эпизоды преобразования пород на 9 и 11 горизонтах месторождения Антей по данным СММА и микротермометрических исследований вторичных флюидных включений, формирующих ПСФВ

Параметр	Структурный эпизод I	Структурный эпизод II	Структурный эпизод III
Ориентировки ПСФВ	Субширотные	Северо-западные (I генерация), северо-восточные	Субширотные, северо-западные (II генерация), субмеридиональные
Температуры гомогенизации флюидных включений, °С	380–300	300–220	220–150
Тип деформаций	Упруго-пластичные	Хрупкие	
Гидротермально-метасоматические преобразования	Калишпатиты, альбититы	Грейзенизация	Аргиллизация, хлоритизация, гематитизация

На основе синтеза результатов выявления ориентировок ПСФВ с помощью СММА и микротермометрических исследований вторичных флюидных включений, приуроченных к микротрещинам, процесс формирования месторождения Антей был разделён на три структурных эпизода. Каждый эпизод характеризовался определённым набором активных микроструктур, способствовавших ускорению процесса миграции флюидов в рамках гидротермальной активности (таблица), а также уникальными физико-химическими параметрами.

Реконструкция внутрирудной тектоники и путей миграции рудоносных флюидов. На основе комплексного изучения ориентировок выполненных рудным веществом микроструктур с помощью СММА в сочетании с различными методами анализа минерального вещества (СЭМ, рентгеноспектральный микроанализ, атомно-абсорбционная спектроскопия, радиография и др.) появляется уникальная возможность реконструкции внутрирудной тектоники и путей миграции исключительно рудоносных флюидов.

Так, применение осколковой радиографии и СЭМ в комплексе с СММА позволило авторам для месторождения Антей воссоздать последовательность активизации микроструктур, выполненных урановорудным веществом и характеризующих внутрирудную тектонику. Рудные скопления локализовались преимущественно в двух системах микротрещин. По тектоническим индикаторам (смещение одной системы относительно другой) было установлено, что первой сформировалась северо-запад-юго-восточная генерация, а затем проявились деформации, приведшие к появлению генерации северо-восток-юго-западного простирания (рис. 3, А). С помощью СЭМ были выявлены

отличия в минеральном выполнении данных микроструктур, дополнительно характеризующиеся концентрациями Ti в северо-восточных системах микротрещин (рис. 3, Б). Отсюда следует вывод, что отложение руды месторождения Антей происходило в рамках двух стадий микротектонических смещений, отражающих общий неоднородный тектонический характер функционирования рудоносной гидротермальной системы.

Количественный расчет общих и директивных фильтрационных параметров кристаллических пород в палео- и современных условиях. Помимо прочего, на основе реконструкции пространственных параметров микроструктур с помощью СММА, могут быть количественно рассчитаны фильтрационные характеристики горных пород для каждого выявленного ранее эпизода деформаций. С использованием данного подхода появляется возможность количественно рассчитать значения пористости и проницаемости, формируемые каждой активной системой микроструктур (директивные свойства) и оценить её вклад в общие фильтрационные значения.

Для расчета пористости горных пород, формируемой микротрещинами, авторы предполагают, что микроструктуры, возникшие в рамках одного структурного эпизода, взаимосвязаны. С учётом выявленной геометрии сети микротрещин, количественные расчеты производятся по формуле

$$\Phi = \frac{(L \cdot \pi \cdot e)}{S},$$

где Φ – пористость (эффективная), выраженная в %; L – суммарная длина определённой системы трещин; S – площадь поверхности (в данном случае – площадь ориентированного шлифа); e – апертура (средняя ширина раскрытия) системы трещин.

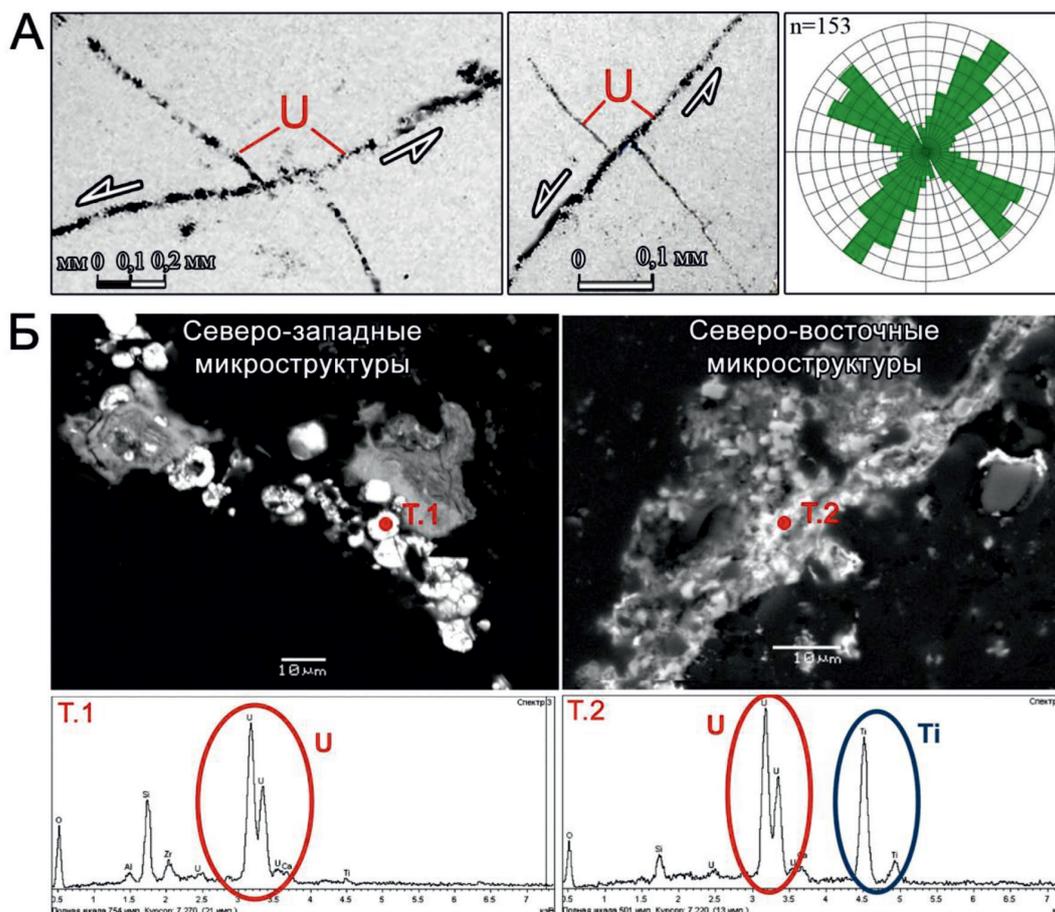


Рис. 3. Реконструкция процессов внутрирудной тектоники с применением осколковой радиографии (А) и изучение минерального выполнения рудоносных микроструктур с помощью СЭМ (Б) в сочетании с результатами СММА

Расчёты микротрещинной проницаемости осуществляются также исходя из предположения о взаимосвязи систем микротрещин одного эпизода деформаций. Помимо этого, для расчета структурной проницаемости необходимо знать угол падения микротрещин, значения которого пока не представляется возможным точно измерить в плоскости ориентированного шлифа. Поэтому авторами делается допущение о том, что микроструктуры имеют вертикальное падение. Такое допущение абсолютно справедливо и подтверждается сравнением расчётных и полученных в лабораторных условиях значений проницаемости горных пород. Учитывая вышесказанное, микротрещинная проницаемость (K_f), выраженная в m^2 или в дарси, может быть рассчитана по формуле

$$K_f = \frac{(\varepsilon \cdot \pi \cdot N_f \cdot c^2 \cdot e^3)}{12},$$

где ε – коэффициент неровности стенок трещин, N_f – объёмная плотность трещин системы f , c – среднее значение половины длины трещин, e – апертура.

Объёмная плотность вычисляется по формуле

$$N_f = \frac{2}{(S \cdot \pi \cdot c \cdot \sin \theta)},$$

где θ – угол падения каждой трещины. Так как трещины перпендикулярны плоскости шлифа – $\sin \theta = 1$. Формула для K_f может быть упрощена:

$$K_f = \frac{(\varepsilon \cdot c \cdot e^3)}{6S}.$$

При расчётах трещинной пористости и проницаемости, помимо предложенных формул, могут быть использованы различные подходы и формулы, выведенные на ос-

нове экспериментальных данных и результатов математического моделирования [6]. Алгоритмы наиболее известных подходов были заложены в разработанный авторами ГИС модуль реализации СММА.

Значения современной пористости и проницаемости, рассчитанные авторами по приведённым формулам для различных типов горных пород, показали хорошую сопоставимость с результатами лабораторных испытаний на основе петрофизических исследований [7]. Значения проницаемости, рассчитанные для выявленных структурных эпизодов, проявившихся на фоне давлений и температур, хорошо соотносятся с результатами лабораторных испытаний различных типов горных пород при воздействии на них эффективных давлений (до 200 МПа) и высоких температур (до 600 °С) [8].

Выводы

Реализация специальной методики микроструктурного анализа средствами ГИС технологий позволяет осуществлять картирование и маркировку различных типов микроструктур, а также оперативно измерять их пространственно-геометрические параметры непосредственно в ориентированных шлифах образцов горных пород. Комплексный подход к изучению трещинно-порового пространства на основе сочетания структурных и вещественных данных открывает возможности для реконструкции пространственно-временной связи между эпизодами деформаций и физико-химическими условиями протекания процесса эволюции рудоносной гидротермальной системы. Таким образом, при статистически значимом количестве образцов становится возможной реконструкция ориентировки осей ПНД, путей миграции рудоносных флюидов, расчета фильтрационных характеристик, формируемых определённой системой микроструктур или их совокупностью.

Разработанный подход применим для изучения многочисленных геологических объектов и месторождений, относящихся к различным промышленно-генетическим типам.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-35-00109.

Список литературы / References

1. Randive K.R., Hari K.R., Dora M.L., Malpe D.B., Bhondwe A.A. Study of Fluid Inclusions: Methods, Techniques and Applications. *Gond. Geol. Mag.* 2014. V. 29. P. 19–28.
2. Anders M.H., Laubach S.E., Scholz C.H. Microfractures: A review. *Journal of Structural Geology.* 2014. № 69. P. 377–394.
3. Устинов С.А., Петров В.А. Применение ГИС-технологий для микроструктурного анализа в геологии // *Геoinформатика.* 2015. № 2. С. 33–46.
4. Ustinov S.A., Petrov V.A. Using of GIS-technology for microstructural analysis in geology // *Geoinformatika.* 2015. № 2. P. 33–46 (in Russian).
5. Петров В.А., Полуэктов В.В., Насимов Р.М., Шучкин С.И., Хаммер Й. Природные и техногенные изменения напряженно-деформированного состояния пород на урановом месторождении в гранитах // *Физика Земли.* 2009. № 11. С. 86–93.
6. Petrov V.A., Poluektov V.V., Nasimov R.M., Shchukin S.I., Hammer J. Natural and technogenic changes in the mode of rock deformation in the uranium deposit in granites // *Izvestiya. Physics of the Solid Earth.* 2009. T. 45. № 11. P. 1012–1018.
7. Колесов Б.А. Раман-спектроскопия в неорганической химии и минералогии. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2009. 189 с.
8. Kolesov B.A. Raman spectroscopy in inorganic chemistry and mineralogy. Novosibirsk: Siberian Branch of the Russian Academy of Science publishing house, 2009. 189 p. (in Russian).
9. Мальковский В.И., Пэк А.А. Влияние разрывных нарушений на процессы флюидного теплопереноса в земной коре. М.: ИФЗ РАН, 2014. 120 с.
10. Malkovsky V.I., Pek A.A. Influence of explosive violations on processes of a fluid heatmass transfer in crust. М.: IFZ RAN, 2014. 120 p. (in Russian).
11. Минаев В.А. Структурно-петрофизические условия локализации урановых руд в фундаменте Стрельцовской кальдеры (на примере месторождения Антей): автореф. дис. ... канд. геол.-мин. наук: 25.00.11. Москва, 2017. 25 с.
12. Minayev V.A. Structural and petrophysical conditions of localization of uranium ores in the base of the Streltsovsky caldera (on the example of the field Antaeus): avtorefer. dis. ... kand. geol.-min. nauk: 25.00.11. Moskva, 2017. 25 p. (in Russian).
13. Жариков А.В., Величкин В.И., Мальковский В.И., Шмонов В.М. Экспериментальные исследования фильтрационных свойств кристаллических пород в целях подземного захоронения радиоактивных отходов // *Геозкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология.* 2013. № 2. С. 153–171.
14. Zharikov A.V., Velichkin V.I., Malkovsky V.I., Shmonov V.M. Experimental Study Of Crystalline Rock Filtration Properties: Implications For Underground Radioactive Waste Disposal // *Geoe'kologiya. Inzhenernaya geologiya. Hidrogeologiya. Geokriologiya.* 2013. № 2. P. 153–171 (in Russian).

УДК 550.3:621.385.632

ДВУХМЕРНАЯ ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ НЕОДНОРОДНОЙ СРЕДЫ С ПОТЕРЯМИ

¹Федоров В.Н., ²Федорова Л.Л., ²Соколов К.О.

¹ФГОУ «Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова»,
Якутск, e-mail: fvnsyfu@mail.ru;

²Институт горного дела Севера им. Н.В. Черского СО РАН, Якутск, e-mail: lar-fed-90@rambler.ru

Для совершенствования георадиолокационной аппаратуры, методик измерения и интерпретации их результатов актуальна разработка новых методов решения задач электродинамического моделирования. Наиболее популярные методы вычислительной электродинамики, такие как FDTD, TLM и др., требуют больших вычислительных ресурсов и не позволяют одновременно учитывать поляризацию электромагнитных волн, диссипативные и поляризационные потери в широком диапазоне частот. Отсутствие возможности получения подобной информации по результатам математического моделирования сказывается на качестве и достоверности результатов интерпретации данных георадиолокационных исследований. В работе описан оригинальный метод дифференциальных ABCD-матриц для представления двухмерной слоистой среды, в которой распространяются квази-Т-волны. Введение фиктивных диэлектрической и магнитной проницаемостей позволяет учесть поляризацию электромагнитных волн. Для учета поляризационных и диссипативных потерь в широком диапазоне частот введены два вида проводимостей – на низких и высоких частотах. Представлены эквивалентные электрические схемы малого участка среды и схема замещения для учета диссипативных и поляризационных потерь. Получен критерий устойчивости дифференциальных матриц, аналогичный критерию Куранта – Фредерикса – Леви. Записаны граничные условия на границах среды, которые позволяют рассчитать электромагнитное поле, как на границах, так и в самой среде при зондировании ее радиоимпульсом георадара. Полученная в результате проведенного исследования двумерная электродинамическая модель позволяет провести расчеты распространения квази-Т-волны в неоднородной среде и детально исследовать особенности электромагнитных волновых процессов, происходящих в подповерхностных слоях геологических сред, без ограничений на характер и количество включений и неоднородностей.

Ключевые слова: ABCD-матрица, матрица передачи, квази-Т-волны, уравнения Максвелла, двухмерная среда, диссипативные потери, поляризационные потери, поляризация электромагнитных волн

TWO-DIMENSIONAL ELECTRODYNAMIC MODEL OF AN INHOMOGENEOUS MEDIUM WITH LOSSES

¹Fedorov V.N., ²Fedorova L.L., ²Sokolov K.O.

¹North-Eastern federal university of M.K. Ammosov, Yakutsk, e-mail: fvnsyfu@mail.ru;

²Mining Institute of the North SB RAS, Yakutsk, Republic of Sakha, Yakutsk, e-mail: lar-fed-90@rambler.ru

In the propagation of ultra-wideband pulses of georadars in the ground, their characteristics are affected by the electrophysical properties of rocks and the methods used to calculate the reflected signals of conventional radars cannot be used here. Therefore, it is necessary to develop methods for solving inverse problems of electrodynamics, which is necessary to improve the equipment of georadar, measurement techniques and their interpretation. The most popular methods of Computational Electrodynamics such as FDTD, TLM, etc. do not allow to take into account simultaneously the polarization of electromagnetic waves, dissipative and polarization losses in a wide frequency range. In addition, they require large machine resources. The lack of the possibility of obtaining such information from the results of mathematical modeling affects the quality and reliability of the results of the interpretation of GPR data. The paper describes the original method of differential ABCD-matrices for two-dimensional layered medium in which quasi-T-waves propagate. The insertion of fictitious dielectric and magnetic permittivity allows in to take into account the polarization of electromagnetic waves. To account for polarization and dissipative losses in a wide frequency range, two types of conductivities are introduced – at low and high frequencies. The equivalent electric circuits of a small part of the medium and the equivalent circuit for the account of dissipative and polarization losses are presented. The stability criterion of differential matrices analogous to the Courant-Fredricks-levy criterion is obtained. The boundary conditions at the boundaries of the medium are recorded, which allow to calculate the electromagnetic field both at the boundaries and in the medium itself under irradiation by its radio pulse of the georadar. The two-dimensional electrodynamic model obtained as a result of the investigation allows calculations of the propagation of a quasi-T wave in an inhomogeneous medium. It also makes it possible to investigate in detail the features of electromagnetic wave processes occurring in the subsurface layers of geological media, without restrictions on the nature and number of inclusions and inhomogeneities.

Keywords: ABCD-matrix, transmission matrix, quasi-T-waves, Maxwell's equations, two-dimensional medium, dissipative losses, polarization losses, polarization of electromagnetic waves

В последнее десятилетие метод георадиолокации стали активно применять для решения самых разных инженерно-геологических, геотехнических задач. Метод георадиолокации основан на явлении отражения

электромагнитной волны от границ неоднородностей в изучаемой среде, на которых скачкообразно изменяются электрические свойства – электропроводность и диэлектрическая проницаемость. При распростра-

нении георадарных сверхширокополосных импульсов в грунте на их амплитуду, фазовые характеристики и спектр частот влияют электрофизические свойства пород – электропроводность, диэлектрическая и магнитная проницаемости в широком диапазоне частот. Они в свою очередь зависят от таких параметров грунта, как влажность и плотность горных пород, форма, размеры, взаимное расположение и ориентация минеральных зёрен или частиц и т.п.

Для совершенствования георадиолокационной аппаратуры, методик измерения и интерпретации их результатов актуальна разработка новых методов решения задач электродинамического моделирования, учитывающих изменение поляризации электромагнитной волны после отражения от границы неоднородности изучаемой среды. Наиболее широкое распространение для электродинамического моделирования получили такие методы, как FDTD, TLM и другие [1, 2]. Их основной недостаток – невозможность учета потерь в широком диапазоне частот, использование рекурсивных методов расчета и поэтому потребность в больших машинных ресурсах памяти и быстродействию.

С целью разработки более эффективно метода расчёта было предложено использовать дифференциальные ABCD-матрицы передачи [3], которые описывают малые участки оптической среды через матрицы передачи. Данный подход успешно реализован для расчета оптических систем в работе [4]. В работах [5–7] малые участки двумерной слоистой среды с потерями были представлены в виде их матриц передачи. Это позволило записать ABCD-матрицы

слоев, а их перемножение – матрица передачи всей среды и рассчитать электромагнитное поле на границе среды при облучении ее радиоимпульсом георадара.

В данной работе для учета поляризации электромагнитной волны (ЭМВ) предлагается уточненная модель среды, путем введения фиктивных диэлектрической и магнитной проницаемостей. Это позволяет в ABCD-матрице малых элементов среды учесть поляризацию ЭМВ. Для учета поляризационных и диссипативных потерь в широком диапазоне частот предлагается ввести два вида проводимостей – на низких и высоких частотах. Получен критерий устойчивости дифференциальных матриц, аналогичный критерию Куранта – Фредерикса – Леви.

Двухмерная электродинамическая модель среды

Под элементом пространства будем понимать часть среды, линейные размеры которой малы или стремятся к 0. Электродинамическое моделирование методом ABCD-матриц основано на представлении элементов среды матрицами передачи в виде отрезков электрических цепей с распределенными параметрами. Для этого вводятся комплексные проводимость \dot{y} и сопротивление \dot{z} среды:

$$\begin{aligned} \dot{y} &= j\omega\epsilon_0\epsilon_a + \sigma; \\ \dot{z} &= j\omega\mu_0\mu_a, \end{aligned} \quad (1)$$

где $\omega = 2\pi \cdot f$ – круговая частота; $\epsilon_0, \mu_0, \epsilon_a, \mu_a$ – абсолютные и относительные диэлектрическая и магнитная проницаемости; σ – проводимость среды, позволяющая учесть тепловые и диссипативные потери.

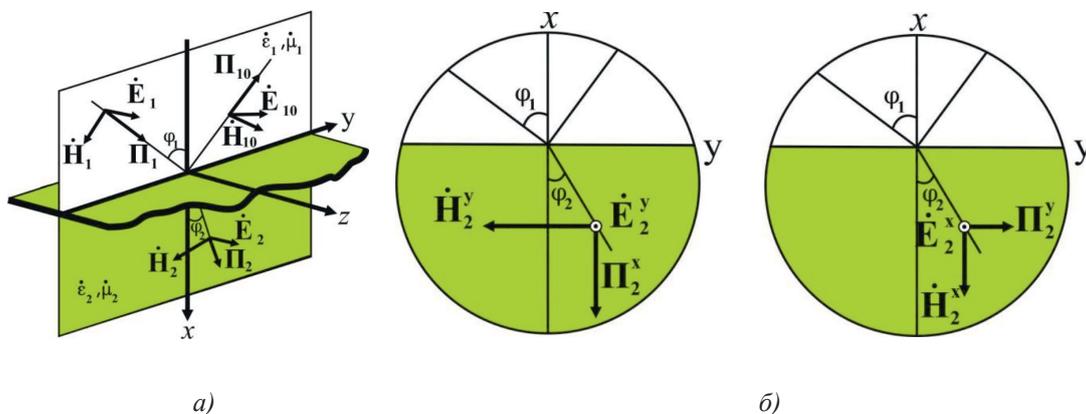


Рис. 1. а) Падающая Π_p , отраженная Π_{10} и прошедшая Π_2 электромагнитные волны; б) две ортогональных связанных Т-волны Π_2^x и Π_2^y , образующие прошедшую волну

В этом случае уравнения Максвелла записываются [8]:

$$\begin{aligned} \operatorname{rot} \vec{H} &= \dot{y} \vec{E}; \\ \operatorname{rot} \vec{E} &= -\dot{z} \vec{H}. \end{aligned} \quad (2)$$

Пусть плоскость YZ – граница, разделяющая среду 1 и среду 2, вектор Пойтинга Π_1 падающей ЭМВ лежит в плоскости XY , а вектор \vec{E}_1 ей перпендикулярен так, как это показано на рис. 1, а (случай горизонтальной поляризации). В среде 1 будут распространяться две волны: падающая Π_1 и отраженная Π_{10} . В среде 2 распространяется только прошедшая волна Π_2 . Тогда $\dot{E}_1^x = \dot{E}_1^y = 0$, $\dot{H}_1^z = 0$ и из (2) следует, что прошедшая ЭМВ будет описываться следующей системой уравнений:

$$\begin{aligned} \frac{\partial \dot{E}_2^y}{\partial y} &= -\dot{z}_2 \dot{H}_2^x, \\ \frac{\partial \dot{E}_2^x}{\partial x} &= \dot{z}_2 \dot{H}_2^y, \\ \frac{\partial \dot{H}_2^y}{\partial x} - \frac{\partial \dot{H}_2^x}{\partial y} &= \dot{y}_2 \dot{E}_2. \end{aligned} \quad (3)$$

Прошедшую ЭМВ Π_2 можно представить как две ортогональные связанные T -волны Π_2^x и Π_2^y , где $\dot{E}_2 = \dot{E}_2^x + \dot{E}_2^y$ (рис. 1, б).

Тогда третье уравнение в (3) можно разделить на два уравнения, если ввести фиктивные диэлектрические проницаемость $\dot{\epsilon}_m$ и проводимость $\dot{y}_m = j\omega \epsilon_0 \dot{\epsilon}_m$, которые связывают \dot{E}_2^x и \dot{E}_2^y и переписать (3) как

$$\begin{aligned} \frac{\partial \dot{E}_2^y}{\partial y} &= -\dot{z}_2 \dot{H}_2^x, \\ \frac{\partial \dot{E}_2^x}{\partial x} &= \dot{z}_2 \dot{H}_2^y, \\ \frac{\partial \dot{H}_2^y}{\partial x} &= \frac{1}{2}[(\dot{y}_2 + \dot{y}_m) \dot{E}_2^x - \dot{y}_m \dot{E}_2^y], \\ \frac{\partial \dot{H}_2^x}{\partial y} &= \frac{1}{2}[\dot{y}_m \dot{E}_2^x - (\dot{y}_2 - \dot{y}_m) \dot{E}_2^y]. \end{aligned} \quad (4)$$

$$[ABCD] = \frac{1}{2} \begin{bmatrix} 1 & 0 & (\dot{z}_2 + \dot{z}_m) \cdot \Delta x & -\dot{z}_m \Delta x \\ 0 & 1 & \dot{z}_m \Delta y & (\dot{z}_2 - \dot{z}_m) \Delta y \\ (\dot{y}_2 + \dot{y}_m) \cdot \Delta x & -\dot{y}_m \Delta x & 1 & 0 \\ \dot{y}_m \Delta y & (\dot{y}_2 - \dot{y}_m) \Delta y & 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad (6)$$

Учет поляризационных и диссипативных потерь в среде

Внешнее электрическое поле вызывает в ионно-проводящих горных породах (песках, песчаниках, известняках и др.) различного вида поляризационные процессы. Для их учета необходимо знать время релаксации $\tau_{\text{рел}}$, которое для большинства пород неизвестно. Но для многих пород известна зависимость проводимости σ и комплексной диэлектрической $\dot{\epsilon}$ от частоты [9–10]. Чтобы учесть в породах поляризационные и диссипативные потери введем два вида проводимостей – $\sigma_{\text{ст}}$, σ_{∞} и два вида диэлектрических проницаемостей $\epsilon_{\text{ст}}$, ϵ_{∞} на низких и высоких частотах соответственно. Этому соответствует эквивалентная схема замещения рис. 2.

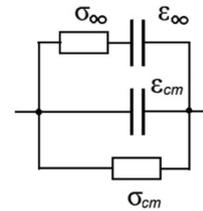


Рис. 2. Эквивалентная схема замещения диссипативных и поляризационных потерь, $\epsilon_{\text{ст}}$, ϵ_{∞} , $\sigma_{\text{ст}}$, σ_{∞} – диэлектрические проницаемости и проводимости среды на низких и высоких частотах соответственно

Тогда комплексную проводимость горной породы \dot{y} в (2) можно записать как

$$\dot{y} = j\omega \epsilon_0 \left(\epsilon_{\infty} + \frac{\epsilon_{\text{ст}} - \epsilon_{\infty}}{1 + j\omega \sigma_{\infty}^{-1} \epsilon_0 (\epsilon_{\text{ст}} - \epsilon_{\infty})} + \frac{\sigma_{\text{ст}}}{j\omega \epsilon_0} \right), \quad (5)$$

где $\sigma_{\infty}^{-1} \epsilon_0 (\epsilon_{\text{ст}} - \epsilon_{\infty}) = \tau_{\text{рел}}$ – время релаксации.

Дифференциальная матрица передачи элемента среды

Рассмотрим случай вертикальной поляризации, когда вектор E лежит в плоскости XY . Рассуждая аналогично вышесказанному, введя фиктивные магнитные проницаемость $\dot{\mu}_m$ и сопротивление $\dot{z}_m = j\omega \mu_0 \dot{\mu}_m$, переходя аналогично (4) к конечным разностям: $\partial x \rightarrow \Delta x$ и $\partial y \rightarrow \Delta y$ записываем обобщенную дифференциальную матрицу передачи двухмерного элемента среды (ABCD-матрицу):

$$\begin{bmatrix} \dot{E}_2^x(x+\Delta x) \\ \dot{E}_2^y(y+\Delta y) \\ \dot{H}_2^y(x+\Delta x) \\ \dot{H}_2^x(y+\Delta y) \end{bmatrix} = [ABCD] \cdot \begin{bmatrix} \dot{E}_2^x(x) \\ \dot{E}_2^y(y) \\ \dot{H}_2^y(x) \\ \dot{H}_2^x(y) \end{bmatrix} \quad (7)$$

ABCD-матрице (6) можно поставить в соответствие эквивалентную схему элемента среды как восьмиполусник (рис. 3).

Расчет электрических полей

Дифференциальные ABCD-матрицы элементов среды позволяют записать ABCD-матрицы слоев, а их перемножение – матрицу передачи всего участка сре-

ды. Задавая соответствующие граничные условия, можно рассчитать распределение электрических полей в этой среде.

Модель элементов среды позволяет описать двумерную среду, в общем случае состоящую из ячеек с разными электрофизическими свойствами. На рис. 4 показана такая модель, в которой двумерная среда представлена матрицей (M×N) элементов и состоящая из вектора внутренних сопротивлений источников (Z₁), вектора источников ЭМВ (E_s), каскадного соединения восьмиполусников элементов среды (a_s, где a_{s1}, a_{s2}... a_{sN} – ABCD-матрицы слоев среды) и вектора волновых сопротивлений N + 1 среды (Z₂).

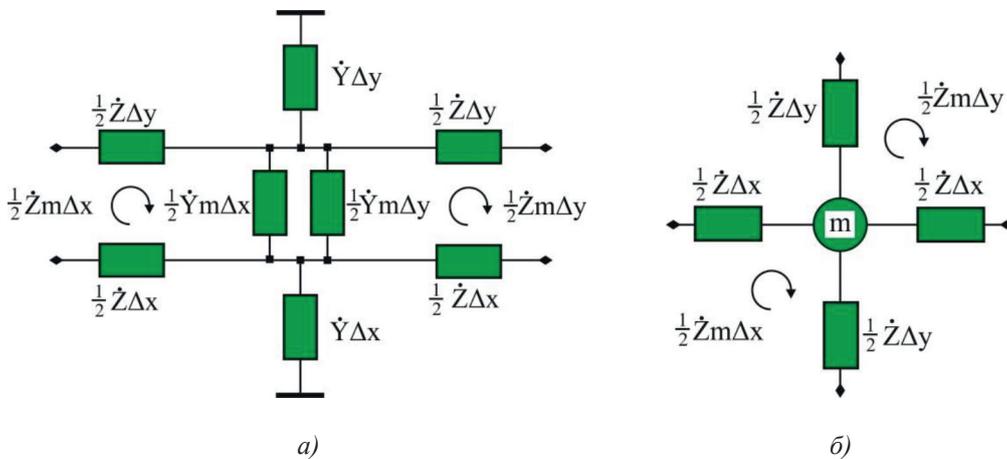


Рис. 3. Эквивалентная схема элемента среды: а) в виде восьмиполусника; б) упрощенный вариант а)

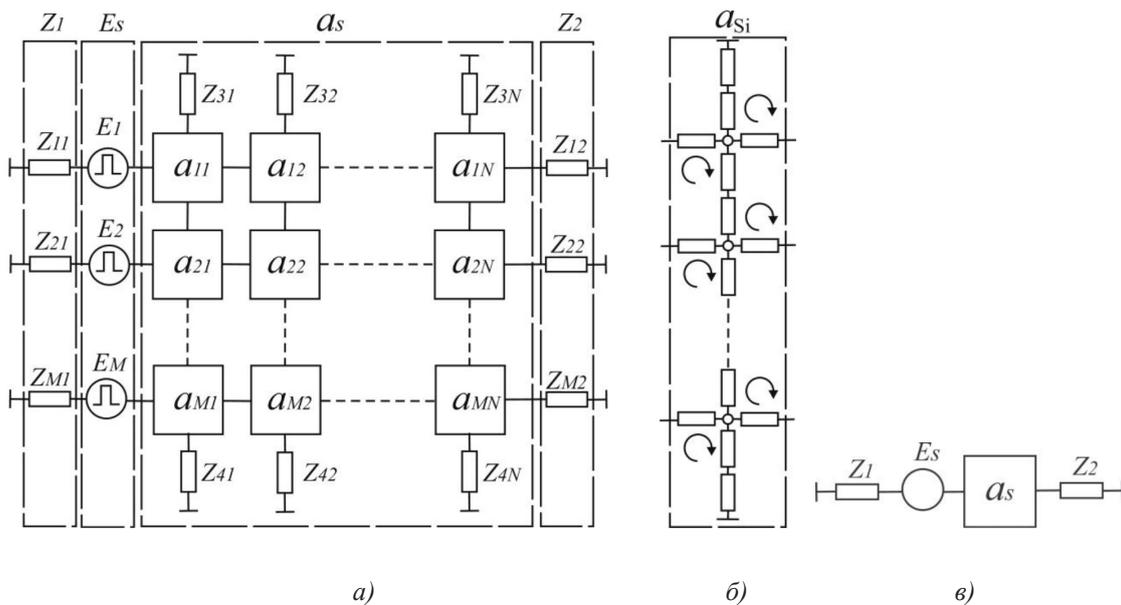


Рис. 4. Эквивалентные схемы: а) двумерной неоднородной среды; б) результирующего многополусника i-го слоя a_{si}; в) результирующего многополусника участка среды a_s

Объединяя элементы послойно, перемножая матрицы слоев, получаем результирующую ABCD-матрицу среды a_s :

$$a_s = \prod_{i=1}^N a_{s_i}, \quad (8)$$

в которой условия распространения Т-волн определяются граничными условиями среды слева и справа:

$$\begin{aligned} \dot{E}_1 &= \dot{E}_s - \dot{Z}_1 \dot{H}_1, \\ \dot{E}_{N+1} &= \dot{Z}_2 \dot{H}_{N+1}. \end{aligned} \quad (9)$$

Отсюда амплитуда магнитного поля справа:

$$\dot{H}_{N+1} = \frac{\dot{E}_s}{a_{11} \dot{Z}_{N+1} + a_{12} + a_{21} \dot{Z}_1 \dot{Z}_{N+1} + a_{22} \dot{Z}_1}, \quad (10)$$

где a_{ij} – элементы результирующей матрицы a_s . Остальные амплитуды электрического и магнитного полей справа и слева находим из (9).

Устойчивость дифференциальных матриц передачи

Численное решение дифференциальных уравнений в частных производных сходится, при выполнении условия устойчивости

$$v \frac{\Delta t}{\Delta x} < C, \quad (11)$$

где v – максимальная скорость переноса возмущения в среде, Δx – шаг по координате, Δt – шаг по времени, C – константа, которая в общем случае зависит от уравнения, но не зависит от Δx и Δt . Критерий назван в честь Рихарда Куранта, Курта Фридрикса и Ганса Леви (КФЛ). Физический критерий КФЛ означает, что возмущение за один шаг Δt по времени не должно продвинуться больше, чем на один пространственный шаг Δx .

Рассмотрим для простоты одномерную электродинамическую модель среды. Для нее дифференциальная матрица передачи элемента среды запишется как

$$[ABCD] = \begin{bmatrix} 1 & -\dot{Z}_2 \cdot \Delta x \\ -\dot{Y}_2 \cdot \Delta x & 1 \end{bmatrix}. \quad (12)$$

Очевидно, что если модуль дискриминанта дифференциальной матрицы (12)

$$\det = 1 - \dot{Z}_2 \dot{Y}_2 \Delta x^2 = 1 + \omega^2 \dot{\epsilon}_2 \dot{\mu}_2 \Delta x^2 \quad (13)$$

будет больше 1, то значения членов результирующей матрицы a_s в результате умножения будут стремиться к бесконечности. Это будет значить, что решение потеряло устойчивость.

Введем параметр δ^2 , характеризующий отклонение \det от 1 как

$$1 + |\omega^2 \dot{\epsilon}_2 \dot{\mu}_2 \Delta x^2| = 1 + \delta^2. \quad (14)$$

Тогда можно записать условие сходимости процесса для заданного диапазона частот и δ при известном Δx :

$$|\omega^2 \dot{\epsilon}_2 \dot{\mu}_2 \Delta x^2| \leq \delta^2, \quad (15)$$

откуда условие устойчивости:

$$\omega_{\max} \frac{\Delta x}{v_c} \leq \delta, \quad (16)$$

где $v_c = 1 / \text{Im}(\dot{\epsilon}_2 \dot{\mu}_2)$ – скорость распространения ЭМВ в среде, ω_{\max} – максимальная круговая частота сигнала.

Например, если $\delta = 10^{-6}$, $f_{\max} = 10^9$ Гц, $v_c = 3 \cdot 10^8$ м/с, то пространственный шаг не должен превышать $\Delta x \leq 0,477 \cdot 10^{-7}$ м.

Заключение

В работе описан оригинальный метод электродинамического моделирования с помощью дифференциальных ABCD-матриц, которые описывают малые участки двухмерной слоистой среды. Введение фиктивных диэлектрической и магнитной проницаемостей позволило в ABCD-матрице малых элементов среды учесть поляризацию ЭМВ. Для учета поляризационных и диссипативных потерь в широком диапазоне частот введены два вида проводимостей – на низких и высоких частотах. Получен критерий устойчивости дифференциальных матриц, аналогичный критерию Куранта – Фредерикса – Леви. Записаны граничные условия на границах среды, которые позволяют рассчитать электромагнитное поле, как на границах, так и в самой среде при облучении ее радиоимпульсом георадара.

Работа выполнена в рамках программы фундаментальных исследований СО РАН (проект № 0382-2016-0001) и при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 18-45-140061 p_a).

Список литературы / References

1. Yee K.S. Numerical solution of initial boundary value problems involving Maxwell's equations in isotropic media. IEEE Trans. Antennas Prop. 1966. vol. AP-14. P. 302–307.
2. Johns P.B., Beurle R.L. Numerical solution of 2-dimensional scattering problems using a transmission-line matrix. Proc. IEE. 1971. vol. 118. no. 9. P. 1203–1208.
3. Григорьев А.Д. Методы вычислительной электродинамики. М.: Физматлит. 2013. 432 с.
4. Grigoriev A.D. Methods of computing electrodynamics. M.: Fizmatlit. 2013. 432 p. (in Russian).

4. Kogelnik H. On the propagation of Gaussian beams of light through lenslike media including those with a losses or gain variation. *Appl. Opt.* 1965. № 4. P. 1562–1569.
5. Федоров В.Н., Федорова Л.Л., Прудецкий Н.Д. Лучевой метод квази-Т-волн при георадиолокационных исследованиях // СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии: материалы 27-ой Международной Крымской конференции (Севастополь, 10–16 сент. 2017 г.). Севастополь, 2017. С. 1562–1568.
- Fedorov V.N., Fedorova L.L., Prudetsky N.D. A beam method of quasi-T-waves at georadar researches // The Microwave technique and telecommunication technologies: materials of the 27th International Crimean conference (Sevastopol, 10–16 Saint. 2017). Sevastopol, 2017. P. 1562–1568 (in Russian).
6. Федоров В.Н., Федорова Л.Л., Малютин Н.Д. Электродинамическое моделирование неоднородных сред методом дифференциальных ABCD матриц: материалы VIII Международной конференции по математическому моделированию (Якутск, 4–8 июля 2017 г.). Якутск, 2017. С. 162.
- Fedorov V.N., Fedorova L.L., Malyutin N.D. Electrodynamic modeling of non-uniform environments by method of differential ABCD of matrixes: materials VIII of the international conference on mathematical modeling (Yakutsk, on July 4–8, 2017). Yakutsk, 2017. P. 162 (in Russian).
7. Федоров В.Н., Федорова Л.Л. Электродинамическое моделирование структурных особенностей массива горных пород россыпных месторождений при георадиолокации // Известия высших учебных заведений. Физика. 2015. Т. 58. № 8–2. С. 48–50.
- Fedorov V.N., Fedorova L.L. Electro-dynamic simulation of structural features of rock mass of placer deposits using gpr-method // *Izvestiya vysshix uchebny`x zavedenij. Fizika.* 2015. T. 58. № 8–2. P. 48–50 (in Russian).
8. Фальковский О.И. Техническая электродинамика. СПб.: Лань, 2009. 432 с.
- Falkovsky O.I. Technical electrodynamics. SPb.: Lan', 2009. 432 p. (in Russian).
9. Корсаков А.К. Структурная геология. М.: РГГРУ, 2009. 325 с.
- Korsakov A.K. Structural geology. M.: RGGRU, 2009. 325 p. (in Russian).
10. Treatise on Geophysics. edition. G. Schubert. Second Edition. Kidlington: Elsevier, 2015. 5604 p.

УДК 528.873

ПРОГРАММА LEFA: АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ СТРУКТУРНЫЙ АНАЛИЗ КОСМИЧЕСКОЙ ОСНОВЫ В СРЕДЕ MATLAB^{1,2}Шевырёв С.Л.¹Дальневосточный геологический институт ДВО РАН, Владивосток, e-mail: shevirev@mail.ru;²Дальневосточный федеральный университет, Владивосток

Структурный анализ космических изображений применяется для постановки региональных геологических работ на доступной пользователям фактологической основе. Однако отмечается недостаток программного обеспечения автоматизированного анализа с открытым исходным кодом для реализации исследовательских и образовательных проектов. С целью восполнения указанного пробела предлагается программа LEFA (Lineament Extraction and Fracture Analysis), выполняемая в среде Matlab и располагающая возможностями линейментного анализа и дешифрирования тектонических разломов, нахождения фрактальной размерности изображения, расчета плотности фрактур и вывода векторных и растровых данных в форматах с геопривязкой. В настоящей обзорной статье рассматриваются интерфейс программы, особенности ее работы, лежащий в основе методический аппарат и порядок обработки данных применительно к разрывной тектонике юга Сихотэ-Алинского складчатого пояса (Дальний Восток России). Территория исследований включает полигенетический коллаж террейнов, интродуцированных магматическими комплексами мезокайнозой и несогласно перекрытый вулканогенно-осадочным чехлом. Среди разрывных нарушений выделяются глубинные разломы, отмеченные зонами меланжа, левосторонние сдвиги северо-восточного простирания, пологие надвиги в северо-западном направлении, структуры содвигового сжатия и растяжения, а также кольцевые фрактур, соответствующие вулканотектоническим поднятиям и кальдерам. Тектоно-магматические комплексы пояса ассоциированы с многочисленными рудными и благороднометалльными месторождениями и проявлениями. Ввиду того, что территория Сихотэ-Алиния представляет собой труднопроходимую горную страну, с таежной растительностью и мощным элювиально-почвенным слоем, планирование региональных поисково-оценочных работ производится при использовании результатов дешифрирования космических изображений, позволяющих сосредоточить полевые работы на наиболее перспективных участках. Рассматривается соотнесение выделенных в результате работы программы элементов изображения, а также карты их плотности с известными геологическими структурами Сихотэ-Алинского складчатого пояса.

Ключевые слова: Matlab, линейменты, фрактальная размерность, дистанционное зондирование

LEFA SOFTWARE: AN AUTOMATIZED STRUCTURAL ANALYSIS OF REMOTE SENSING IMAGERY IN MATLAB ENVIRONMENT^{1,2}Shevirev S.L.¹Far East Geological institute, FEB RAS, Vladivostok, e-mail: shevirev@mail.ru;²Far Eastern Federal University, FEFU, Vladivostok

Structural analysis of space images is used as the base foundation for organizing regional geological search and prospecting works on affordable factual base. However, there is a lacking of open source software for research and educational applications. In order to fill this gap LEFA (Lineament Extraction and Fracture Analysis) software has been offered. This software runs in Matlab environment and has the algorithms for lineament analysis and fault detecting, calculation of fractal dimension, fracture density and output of both vector and raster data in georeferenced formats. Given paper describes software interface, its features, methodologies to be used and approach to data analysis of fracture tectonics of Sikhote-Alin folded belt south (Russian Far East). Research area includes polygenic terrane collage intruded by Meso-Cenozoic complexes, unconformable overlapped by volcanic-sedimentary cover. There are deep-seated faults traced by mélange zones, sinistral strike-slip faults of north-eastern strike, gentle-sloped thrust in north-western direction, near-slip structures of contraction and tension as well as ring fractures of magmatic uplifts and calderas. Tectonomagmatic complexes are associated with the numerous ore and precious metals deposits and manifestations. In view of low passability of Sikhote-Alin due to its taiga forestation and thick soil layer, planning of regional search and prospecting works is supported by results of space image analysis. It makes possible to concentrate filed surveying on the most prospective areas. Correlation between automatically detected image elements and their density map with known Sikhote-Alin folded belt structures is also considered.

Keywords: Matlab, lineaments, fractal dimension, remote sensing

Современные успехи в технологиях компьютерного распознавания образов сделали возможным независимое от человеческого восприятия определение объектов изображений, полученных с пилотируемых и беспилотных летательных аппаратов и спутников. Однако реализация таких алгоритмов с учетом специфики научных и учебных

(студенческих и аспирантских) проектов представляет собой нетривиальную задачу. Имеющееся программное обеспечение зачастую проприетарно, как, например, WinLessa [1]. Закрытость исходного кода существенно осложняет интерпретацию результатов. Приложения, написанные и исполняемые в среде Matlab, используют бога-

тый набор ее библиотек и их документации, а исходный код доступен для ознакомления и изменения.

Программа LEFA содержит набор функций, позволяющих выявлять линейные элементы растровых изображений, как непривязанных, так и имеющих картографическую привязку (поддерживаются ЦМР SRTM, а также изображения Landsat 5-8); рассчитывать характеристики пространственного распределения линейных элементов, плотность и фрактальную размерность Минковского с экспортом результатов; объединять выделенные линейные элементы в линеаменты («разломы») на основе коллинеарности и пространственной близости; создавать розы-диаграммы направлений для линейных элементов; экспортировать распознанные линейные элементы в векторный формат ESRI Shape (shp).

Перечисленные выше возможности позволяют рассматривать программу LEFA как средство структурного анализа дистанционных изображений в среде Matlab полного цикла. Системные требования для работы программы включают компьютер с минимальной оперативной памятью 1 Гб, поддерживающий программное обеспечение Matlab с модулями Statistics toolbox, Mapping toolbox и Image Processing Toolbox.

Цель исследования: рассмотрение методики дешифрирования разрывных структур космического изображения Shuttle Radar Topographic Mission (SRTM) в программном обеспечении LEFA, работающем в среде Matlab с сопоставлением результатов экспресс-дешифрирования и графического вывода программы с положением действительных геологических объектов – разрывных структур Сихотэ-Алинского горно-складчатого пояса.

Материалы и методы исследования

Характер выявленных программой структурных элементов и их соответствие тектоническим структурам определяется видом использованных космических изображений, их пространственным разрешением и применяемыми методиками распознавания. В программе LEFA нами используется методика исследования, апробированная ранее [2] и включающая предварительную обработку изображения, алгоритмы детектирования контуров, выделения линейных элементов, учета количества линейных элементов, объединения коллинеарных линейных элементов в линеаменты; нахождения фрактальной размерности контуров изобра-

жения, экспорта картографических растров (geotiff) и линейных элементов (shp).

Организация пользовательского интерфейса. Использование возможностей графического интерфейса Matlab, реализованная в LEFA, избавляет от необходимости, хотя и не исключает работу пользователя непосредственно с исходным кодом программы. Для выполнения анализа в программе предусмотрены специализированные функциональные области (рис. 1).

В начале работы с программой изображение необходимо открыть в режиме «только для чтения», для чего воспользоваться областью файловых операций (1). Программа может работать как с растровыми изображениями в общеупотребительных форматах (png, bmp, tiff, jpg), так и с изображениями с геопривязкой (geotiff).

Затем изображение нужно предварительно обработать (область (3)). Предварительная обработка необходима не только для детектирования границ для дальнейшего распознавания объектов, но и для подстройки и визуальной оценки изображения, так как изображение может быть изначально излишне светлым или темным. Для этой цели в области предварительной обработки необходимо выбрать Adjust («Подстроить») и нажать кнопку Apply («Применить»). Действие этого и других фильтров предварительной обработки, выбираемых здесь из разворачивающегося списка, может быть отменено нажатием на кнопку Revert («К исходному состоянию»). Детектирование линейных элементов чувствительно к разрешению изображения в зависимости от длины выделяемых линий. Для выделения более крупных объектов и ускорения работы программы имеет смысл уменьшить размер изображения кратно коэффициенту ресемплирования (поле «Resample»). Например, для уменьшения разрешения изображения в 10 раз надо выбрать коэффициент 0,1.

Последовательность применяемых фильтров предварительной обработки определяется аналитиком самостоятельно, исходя из целей исследования и природы детектируемых линейных элементов. Как правило, элементарные линейные элементы как тектонической, так и нетектонической природы (небольшие разломы, региональная трещиноватость и т.д.) дешифрируются в изображении как области контрастного фототона, тальвеги овражно-балочной сети, русла рек на стадии врезания, спрямленные участки долин и т.д.

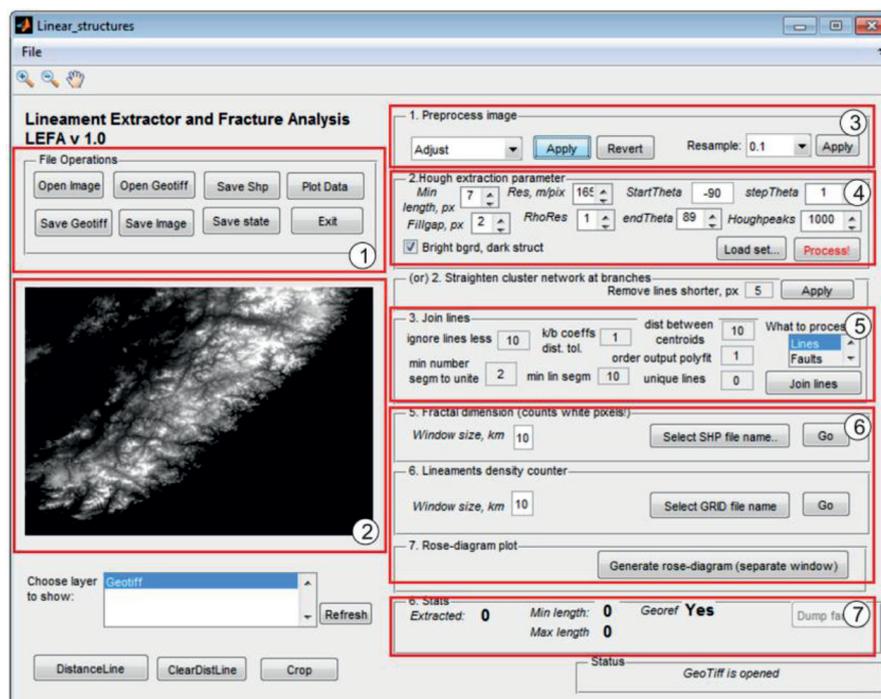


Рис. 1. Оконный интерфейс программы LEFA. Функциональные области: 1 – файловых операций; 2 – окно просмотра изображения; 3 – предварительной обработки (фильтрации изображения); 4 – анализа линейных элементов по методу Хафа; 5 – объединения выделенных элементарных линейных элементов в «линеаменты»; 6 – области создания аналитических изображений: полигонального покрытия с значениями фрактальной размерности Минковского, растровой карты плотности линейных элементов и розы-диаграммы направлений линейных элементов; 7 – статистика распознанных элементов

Программа LEFA располагает несколькими алгоритмами детектирования границ, однако для исследования эрозионной сети наиболее применим метод Саппу [3]. Трещины различного происхождения выражаются как линейные объекты границы. Для их поиска к предварительно обработанному бинарному изображению с детектированными границами применяется преобразование Хафа [4], параметры которого задаются в функциональной области (4) (рис. 1). К числу таких параметров относятся: минимальная длина детектируемых линий (в пикселях), максимальный допуск разрыва в пикселях для конкретной линии, дискретизация значений координат Хафа (ρ и θ), количество пиков Хафа («houghpeaks»). Альтернативным способом детектирования линейных элементов в программе является разбивка и спрямление элементов (кластеров) границ изображения.

Основанием для объединения линейных элементов в линеаменты (предположительно, крупные тектонические единицы), является их коллинеарность, т.е. совместное на-

хождение на некоторой прямой. Алгоритм «коллинеарность» применяется к линейным элементам длиной более нескольких пикселей и контролируется следующими параметрами: максимальная разница k/b (отношение углового коэффициента уравнения сравниваемых линий к свободному члену), максимальное расстояние между центральными точками сравниваемых линий, минимальное количество линий, необходимое для объединения в линеаменты, порядок полинома линии, получаемой в результате. Эти параметры задаются в функциональной области объединения линий (5) программы (рис. 1).

Изображение, прошедшее предварительную обработку, а также выделенные линии могут быть сохранены с помощью кнопок «Save Geotiff» (сохранить изображение с геопривязкой) и «Save SHP» (сохранить векторные данные в формате ESRI Shape).

Помимо распознавания элементарных линейных элементов и линеаментов в программе возможно построение аналитических изображений с геопривязкой. Програм-

ма рассчитывает фрактальную размерность Минковского для изображения границ и выводит массив векторных квадратов в SHP-формат. Для применения этого метода при оценке минерально-сырьевого потенциала территории ранее получено свидетельство интеллектуальной собственности [5]. Оценка площадного распределения линейных элементов определяется картой плотности (км/км²), для построения которой необходимо дешифровать линейные элементы и указать длину стороны окна осреднения в километрах с учетом пространственного разрешения изображения, заданного или определенного автоматически в функциональной области анализа линейных элементов по методу Хафа (4).

Сравнение программы с имеющимися аналогами. В настоящее время для широкого круга пользователей доступно специализированное программное обеспечение российских или зарубежных разработчиков, среди которого выделяются наиболее длительно развиваемые авторами и доступные проекты LESSA [1] и FracPac [6]. Сравнительные характеристики этих программ и LEFA приведены в таблице.

Результаты исследования и их обсуждение

Для юго-востока России изучение разрывной тектоники имеет сейсмологическое, минерагеническое и инженерно-геологическое значения. Под первым подразумевается ответственность структур глубокого заложения за новейшую и современную сейсмичность; второе включает связь разрывных структур и флюидопроводящих зон коры и мантии; третье означает связь разрывных структур с коровыми напряжениями, не обязательно выражающимися в сейсмичности, но наводящимися на сооружения повышенной ответственности: фундаменты, подземные горные выработки и магистральные трубопроводы. Количественный учёт линейных элементов изображения и трещиноватости может служить основой для экспресс-анализа территории и выявления скрытой и мало выраженной зональностей.

В качестве территории исследований используется часть Сихотэ-Алинского супертеррейна (САТ) в пределах юга Приморского края (рис. 2). В составе этой структуры, значительную часть которой занимают террейны Сихотэ-Алинского горно-складчато-

Сопоставление характеристик LEFA и ближайших аналогов

Название	LEFA	FracPac	LESSA
Бесплатная	Да	Да	Нет
Платформа	Matlab	Matlab	Windows
Открытый код	Да	Да	Нет
Выделение полилиний	Да	Нет	Нет
Расчёт плотности линий	Да	Да	Да
Экспорт в формате ESRI Shape	Да	Нет	Да
Дополнительные функции	Расчет фрактальной размерности	Вейвлет анализ	Нет

Привлекательностью программ, работающих в среде Matlab, обуславливается возможностью анализа исходного кода, их кроссплатформенность и бесплатность (однако необходимо приобретение Matlab). Это преимущество также обеспечивает применение программ, написанных на Matlab в учебном процессе, а также их портирование в другие языки программирования и операционные системы.

Для изучения дистанционной основы важнейшим свойством является экспорт данных в форматах, поддерживающих геопривязку – Shape и Geotiff. Не обладающая такой функцией, программа FracPac ограничивает своё применение изучением фотографий обнажений горных пород.

го пояса, выделяются разрывные нарушения различного масштаба и глубины заложения. Установлены: главные разрывы (первого порядка) северо-восточного простирания, соответствующие левосторонним сдвиго-надвигом; системы субпараллельных левых сдвигов второго порядка; ортогональные сдвиго-раздвиговые структуры; нормальные раздвиговые зоны северо-западного простирания. Системы разрывов первого порядка и северо-восточного простирания соответствуют главным разломам, известным в регионе: Алчанскому, Уссурийскому, Шкотовскому, Центральному Сихотэ-Алинскому, Фурмановскому, Арсеньевскому, Колумбинскому, Прибрежному и другим [7]. Основными магмо- и флюидопроводящими для Сихотэ-Алинского пояса являются

структуры второго порядка: нормальные зоны раздвига и ортогональные сдвиго-раздвиговые зоны. Пластины террейнов надвинуты в северо-западном направлении, прорваны интрузиями и перекрыты вулканогенно-осадочными образованиями. Территория располагает потенциалом коренных золотосеребряных месторождений,

постмагматического, скарнового и вулканогенно-гидротермального генезиса. Рудные объекты Восточно-Сихотэ-Алинского вулканоплутонического пояса отличаются небольшими размерами, и необходимость их обнаружения требует значительных усилий для поисковых работ, а значит, и учёта всех прогнозных предпосылок.

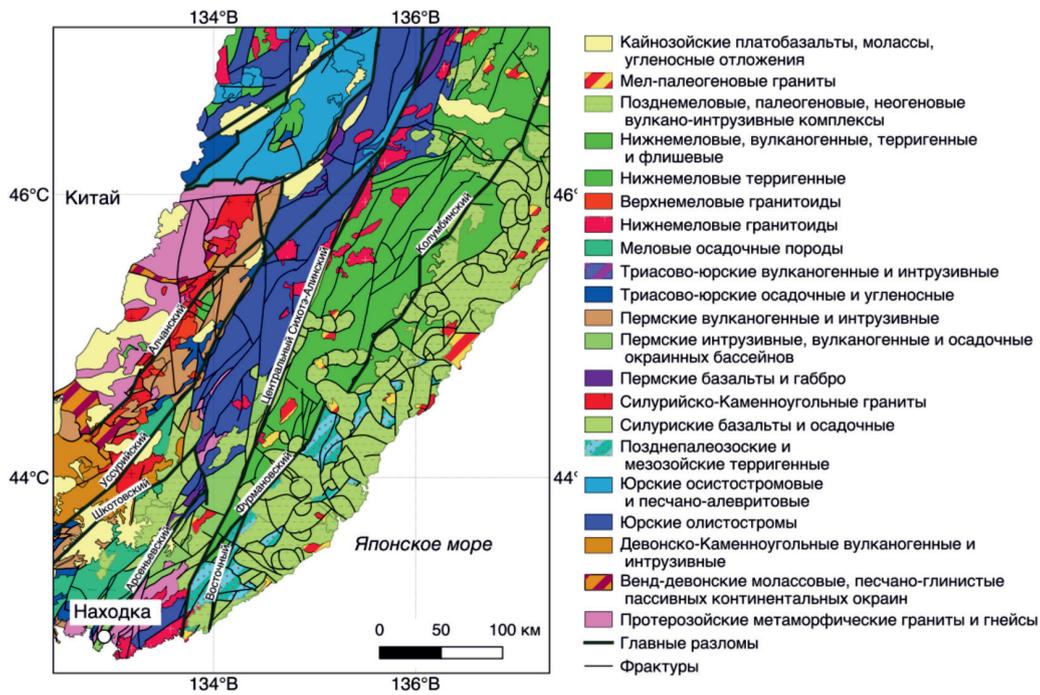


Рис. 2. Схема геологического строения участка Сихотэ-Алинского супертеррейна

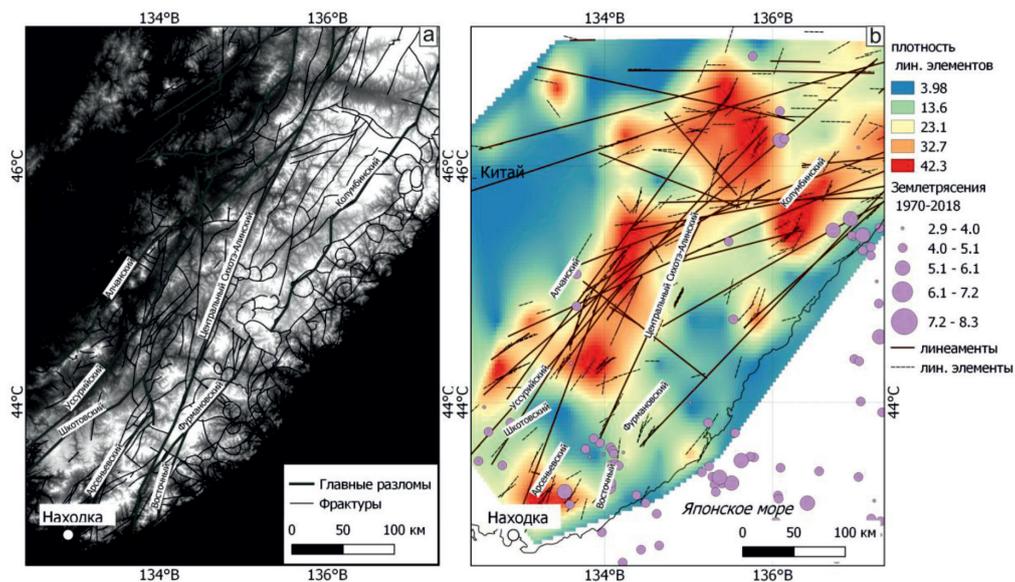


Рис. 3. а) Исходные данные SRTM для экспресс-дешифрирования территории САТ в пределах Приморского края (ресемплирование 0.1); б) Результат автоматизированной обработки данных SRTM в программе LEFA

Тестовый набор данных содержит цифровую модель рельефа SRTM для юга Приморского края (рис. 3, а), который был автоматически дешифрован с помощью LEFA с дальнейшей компоновкой вывода программы в QGIS (рис. 3, б).

Сопоставление левой и правой частей изображения показывает, что главные разломы САТ, включая границы разновозрастных комплексов, в основном распознаны. Рисунок дешифрованных линейных элементов носит несколько спрямленный характер, однако может быть использован для экспресс-анализа территории. Интенсивность развития коровой трещиноватости может быть оценена с помощью анализа плотности линейных элементов (км/км²).

Заключение

В рамках настоящего исследования проведен анализ методики автоматизированной обработки дистанционных изображений в программном обеспечении LEFA. Рассмотрены основы методического аппарата, включающего предварительную обработку, поиск границ на изображении, дешифрирование элементарных линейных элементов поиском спрямленных границ и их объединение в линейные элементы предположительно тектонической природы – «линементы». Для дистанционных данных юга Приморского края показана эффективность предлагаемого програм-

многo обеспечения для тектонического экспресс-анализа территории.

Список литературы / References

1. Gil'manova G.Z., Goroshko M.V., Rybas O.V., Didenko A.N. Lineament analysis of morphostructures of the Uchur-Maya basin (Southeastern Siberian Platform) from SRTM Data: relationship with metallogeny. *International Journal of Geosciences*. 2012. № 3. P. 1176–1186.
2. Шевырёв С.Л. Алгоритмизация дистанционного анализа структурно-вещественных парагенезисов золоторудных районов (Многовершинное рудное поле, Хабаровский край) // *Вестник Воронежского государственного университета*. Серия: Геология. 2017. № 2. С. 115–121.
3. Shevyrev S.L. Algorithmization of Remote Sensing of Structural-Substantial Analysis Paragenesises Gold-Bearing Districts (Mnogovershinnoe Ore Field, Khabarovsk Krai) // *Proceedings of Voronezh State University*. Series: Geology. 2017. № 2. P. 115–121 (in Russian).
4. Canny J.A. Computational Approach to edge detection. *IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence*. 1986. Vol. 8(6). P. 679–698.
5. Duda R.O., Hart P.E. Use of the Hough Transformation to Detect Lines and Curves in Pictures. *Comm. ACM*. 1972. Vol. 15. P. 11–15.
6. Шевырев С.Л. Способ проведения прогнозно-поисковых работ месторождений полезных ископаемых полезных ископаемых на исследуемой площади. Патент 2603856 РФ: МПК G01V 9/00; заявитель и патентообладатель С.Л. Шевырев. № 2015125585128; заявл. 26.06.2015; опубл. 10.12.2016, Бюл. 2016. № 34.
7. Healy D., Rizzo R.E., Cornwell D.G., Farrell N.J.C., Watkins H., Timms N.E., Gomez-Rivas E., Smith M. FracPaQ: A MATLAB™ toolbox for the quantification of fracture patterns. *Journal of Structural Geology*. 2017. Vol. 95. February. P. 1–16.
8. Геодинамика, магматизм и металлогения Востока России. Т. 1, 2 / Под ред. А.И. Ханчука. Владивосток: Дальнаука, 2006. 982 с.
9. Geodynamics, magmatism and metalgenius of the East of Russia. T. 1, 2 / Under the editorship of A.I. Hanchuk. Vladivostok: Dalnauka, 2006. 982 p (in Russian).

ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ

УДК 543.544-414:504.054:665.61

**НЕФТЕЕМКОСТЬ СОРБЕНТА:
ПРОБЛЕМА ВЫБОРА МЕТОДИКИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ****Лим Л.А., Реутов В.А., Руденко А.А., Чудовский А.С.***ФГАОУ ВО «Дальневосточный федеральный университет», Владивосток, e-mail: lim.la@dvfu.ru, reutov.va@dvfu.ru, rudenko.aandr@dvfu.ru, chudovskiy.as@dvfu.ru*

Аварийные разливы, к сожалению, могут происходить на различных стадиях добычи, подготовки, транспортировки и переработки нефти и нефтепродуктов и являются экологическим бедствием. В комплексе мероприятий по ликвидации разливов нефти на поверхности природных вод актуально применение нефтесорбентов. В настоящий момент нефтесорбенты, произведённые из сырья различного происхождения, составляют достаточно емкую долю на рынке специальных товаров. Важнейшими характеристиками нефтесорбентов являются: высокая нефтеемкость, низкая влагоемкость, высокая плавучесть, низкая стоимость и возможность многократной регенерации. Оценка и сравнение различных нефтесорбентов между собой, разработка технологий производства и применения нефтесорбентов, интерпретация результатов исследований различных исследовательских групп затруднены по причине отсутствия нормативной базы по выбору методики определения важнейшей характеристики сорбента – нефтеемкости. В работе проведен анализ описанных в литературе методик проведения экспериментов по определению нефтеемкости сорбентов, выявлены основные факторы экспериментов, влияющих на конечный результат: время замачивания, время стекания, вязкость нефтепродукта и его температура, конструкция удерживающего устройства. На примере двух нефтепродуктов: дизельного топлива и масла моторного – с использованием трех сорбентов различной природы (древесные опилки, уголь активированный, волокнистый полиэтиленовый сорбент) экспериментально установлены значительные отклонения результатов определения нефтеемкости сорбентов различной природы при использовании различных методик ее измерения. Отклонения в значении нефтеемкости для одного и того же вида дисперсного сорбента (опилки, уголь) составляют 1,3–5,1% по дизельному топливу, но уже 9,7–60,3% по маслу моторному. Для волокнистого сорбента по обоим нефтепродуктам отклонения еще более значительные.

Ключевые слова: нефтеемкость, нефтесорбенты, ликвидация разливов нефти

SORBENT OIL CAPACITY: PROBLEM OF MEASURING METHOD CHOOSING**Lim L.A., Reutov V.A., Rudenko A.A., Chudovskiy A.S.***Far Eastern Federal University, Vladivostok, e-mail: lim.la@dvfu.ru, reutov.va@dvfu.ru, rudenko.aandr@dvfu.ru, chudovskiy.as@dvfu.ru*

Unfortunately, emergency spills can occur at various stages of oil and petroleum products production, treatment, transportation and refining, they are ecology disasters. Using of oil sorbents as a part of complex of methods for liquidation of oil spills on the surface of natural waters is a subject of current interest. Today oil sorbents produced from various raw materials occupy a large share of special products market. The most important characteristics of oil sorbents are high oil capacity, low water capacity, high flotation, low cost and the possibility of multiple regeneration. Evaluation and comparison of different oil sorbent, development of production technologies and oil sorbents usage, interpretation of different research group studies results are troubled with the lack of regulations bases for choosing of measuring method of the main sorbent characteristics – oil capacity. The research shows analysis of methods for measurement of sorbents oil capacity. Main factors affected on result were identified: soak time, drip time, viscosity of the petroleum product and its temperature, structure of holding device. When using of two petroleum products (diesel fuel and engine oil) and testing three oil sorbents with different origin (wood sawdust, activated carbon, fibrous polyethylene sorbent) it was experimentally established that using of various methods for measurement caused large oil capacity deviation of sorbents with different origin. Oil capacity value differences for the same type of dispersed sorbent (sawdust, coal) is 1.3–5.1% for using diesel fuel, but 9.7–60.3% for using motor oil. Oil capacity value differences for fibrous sorbent using both petroleum products are even more significant.

Keywords: oil capacity, oil sorbents, oil spill cleanup

Общий объем добычи нефти, важнейшего энергоносителя и химического сырья, составляет миллионы баррелей в сутки [1]. Добыча нефти, как правило, удалена от основных переработчиков и потребителей, а следовательно, практически неизбежны потери не только при извлечении нефти из недр, но и при перевалке и транспортировке нефти и нефтепродуктов. Большие объемы нефти и нефтепродуктов (НП) перевозятся

морем, и аварии танкеров представляют серьезную экологическую угрозу [2, 3]. В этой связи вопросы ликвидации и предотвращения загрязнения вод нефтью и продуктами ее переработки являются чрезвычайно актуальными.

В РФ разливы нефти являются чрезвычайными ситуациями [4], порядок ликвидации которых регулируется соответствующими нормативными актами, при этом

мероприятия в отношении разливов на морских акваториях регулируются отдельным положением [5]. Все органы исполнительной власти и организации, участвующие в добыче, транспортировке и обороте нефти и нефтепродуктов, согласно [6] «обязаны иметь резервы финансовых средств и материально-технических ресурсов для локализации и ликвидации разливов нефти и нефтепродуктов». Таким образом, каждая организация, осуществляющая деятельность, связанную с добычей и оборотом нефти и нефтепродуктов, обязана иметь наготове достаточные количества технических средств и материалов для ликвидации возможных аварий. Учитывая, что в комплексе мероприятий по ликвидации аварийных разливов нефти и НП (ЛАРН) значительное место занимают сорбционные методы, можно утверждать, что в РФ имеется достаточно ёмкий рынок специализированной продукции: сорбентов для ЛАРН. В качестве нефтесорбентов предлагается использовать как материалы природного [7–10], так и искусственного происхождения – синтетические полимерные материалы [11–14]. Большинство производителей сорбентов, размещая информацию о своей продукции, указывают значения нефтеемкости. В табл. 1 приведена далеко не полная информация о нескольких нефтесорбентах российского производства. Сорбенты отличаются не только разнообразием материалов, ассортиментом и видом продукции и изделий, но также значениями заявленной производителем нефтеемкости. Анализ информации на сайтах компаний-производителей сорбентов и дилеров показал, что важнейшими критериями для выбора нефтесорбента являются нефтеемкость (масса нефти, которую способен поглотить 1 кг сорбента); плавучесть и/или водопоглощение; способность к регенерации/многократному использованию и нефтеотдаче; условия хранения и утилизации, обычно

приводятся также сведения о насыпной или объемной плотности (табл. 1).

При рассмотрении вопроса об оценке эффективности использования сорбента в мероприятиях ЛАРН предлагаются разные подходы [15, 16]. Общим для них является то, что эффективность сорбента полагается прямо пропорциональной нефтеемкости и обратно пропорциональной стоимости сорбента. Совершенно очевидно, что стоимость будет прямо влиять на выбор покупателя, особенно в случае закупок по процедурам конкурсов/тендеров, а высокие значения нефтеемкости будут определяющими для принятия решения о выборе сорбента. При оценке затрат на мероприятия по ЛАРН удобно пользоваться показателем стоимости сорбента для сбора 1 т нефти или НП, так как согласно [4, 17] объем разлитой нефти является основным параметром классификации ЧС и основанием для расчета ущерба.

С этой точки зрения оценка величины нефтеемкости приобретает определенную многомерность: не просто масса нефти, которую способна удержать единица массы сорбента и отправная точка для сравнения различных сорбентов, но и основание для расчета величины запасов материальных ресурсов для ЛАРН, оценка бюджета для планирования мероприятий ЛАРН разных уровней, расчет затрат, ущерба от ЧС и эффективности расходования средств.

При этом до последнего времени в Российской Федерации отсутствовал нормативный документ, однозначно регламентирующий методику определения нефтеемкости сорбентов. Методика определения адсорбционной активности [18] активированного угля малоприменяема для оценки нефтеемкости, так как измерение предполагается проводить по метиленовым красителям и мелассе, природа, а следовательно, и механизм сорбции которых сильно отличается от механизма сорбции нефтепродуктов.

Таблица 1

Нефтеемкость и насыпная плотность некоторых сорбентов

Сорбент (торговое название)	Материал	Нефтеемкость, кг/кг	Плотность, кг/м ³	Источник
1 Профсорб-Эко	сфагновый торф	2,8–7	120–200	[10]
2 Экосорб	полипропилен	8–20	50	[11]
3 Ирвелен марка 1	полипропилен	10–25	160	[12]
4 Сорбирующие изделия	полипропилен	14	66–86	[13]
5 Унисорб	МФС*	30–67	25	[14]

Примечание. * Мочевино-формальдегидная смола.

Цель исследования: анализ различных факторов, влияющих на значение нефтеемкости, определяемой по различным методикам, описанным в литературе, так и сравнение нефтеемкости трех различных по своей природе нефтесорбентов, полученной экспериментальным путем.

В русскоязычной научной литературе для определения нефтеемкости используются различные методики. При кажущейся простоте

задачи: привести сорбент в контакт с НП и определить количество сорбата, удерживаемого 1 граммом сорбента, – имеются факторы, способные значительно повлиять на результаты определения. При попытке максимально формализовать отдельные этапы процедуры определения нефтеемкости (табл. 2) видно, что некоторые важные детали часто/обычно не указываются авторами, однако могут повлиять на конечный результат определения.

Таблица 2

Анализ литературных методик определения нефтеемкости сорбентов
(Н/У – означает «не указано, нет данных»)

№ п/п	Процедура измерения нефтеемкости					Источники, в которых описана методика
	Оборудование или последовательность действий	Время замачивания, мин	Время стекания, мин	Навеска сорбента, г	Учет холостой пробы	
1	Медная сетка диаметром 30–80 мм с отбортовкой из медной проволоки	10–15	Н/У («дают стечь»)	5	Да	ТУ 214-10942238-03-95, цит. по [19]
2	Сорбент помещался в плотную хлопчатобумажную ткань	10–30	Н/У	Н/У	Н/У	[20]
3	Взвешенная латунная сетка помещается в чашки Петри и заливается 50 см ³ нефти. Показания снимают в интервале 1–30 минут	1–30	Н/У	1	Н/У	[21]
4	Определение «массовой емкости поглощения проводилось с использованием модельных сточных вод в статических условиях»	Н/У	Н/У	Н/У	Н/У	[22] Конц. НП в воде определяли по [23]
5	«В фильтрующие секции с загрузкой добавлялся нефтепродукт, равномерно распределяемый по всей площади фильтра. Пролив нефтепродукта продолжался до полного насыщения загрузки нефтепродуктами»	Н/У	Н/У	14,8-18	Н/У	[24]
6	«...сорбционный материал... помещали на ровную поверхность и искусственно загрязняли сорбент нефтью до полного насыщения»	Н/У	Н/У	3	Н/У	[25]

Таблица 3

Влияние различных факторов эксперимента на результат

Фактор эксперимента	Влияние на фактор	Влияние на результат
Время замачивания, мин	Температура, вязкость нефтепродукта, размер пор сорбента	При недостаточном времени замачивания результат может быть заниженным, вследствие неполного проникновения НП в поры сорбента.
Время стекания, мин	Вязкость нефтепродукта, характер поверхности, динамическое воздействие (встряхивание, толчки), конструкция удерживающего устройства	Результат будет завышенным, если время стекания мало или конструкция удерживающего устройства не обеспечивает свободного стекания.
Навеска сорбента		Может быть недостоверным при использовании слишком маленьких навесок в вязких НП.
Учет холостой пробы		Результат будет систематически завышенным, если не учитывать холостую пробу

В табл. 3 приведены факторы эксперимента, способные оказать значительное влияние на результат.

При этом при определении нефтеемкости авторы обычно не указывают результаты статистической обработки результаты измерений, а в некоторых случаях и число параллельных опытов. Учитывая, что в лабораторных условиях обычно манипулируют небольшими количествами сорбента, масштабирование результатов измерений требует отдельного изучения.

Совершенно очевидно, что без конкретных, максимально подробных указаний воспроизвести методику, а соответственно, и результат не представляется возможным. Методики могут принципиально отличаться, что делает невозможным сравнение результатов, полученных разными исследователями. Это касается и промышленно производимых сорбентов. В работе [26] прямо указывается, что предприятия – потребители нефтесорбентов вынуждены самостоятельно проводить сравнительные испытания «крупнотоннажных по потреблению сорбентов», «ввиду представления производителями только положительных эксплуатационных свойств своих товарных продуктов, иногда не соответствующих истине», а использование литературных данных затруднительно. В результате авторы [26] выяснили, что заявленная производителями нефтеёмкость отличается от измеренной в результате испытаний, даже несмотря на все допуски проведенного лабораторного эксперимента. При этом для одного из сорбентов результаты отличались более чем в два раза (заявленная производителем – больше), в то время как для других результаты были в пределах заявленных значений.

Исключительную важность максимальной детализации процедуры определения нефтеемкости и ее влияния на значение измеряемой величины можно проиллюстрировать нижеописанными экспериментами.

Материалы и методы исследования

Для испытаний отобраны три сорбента, отличающихся по материалу и механизму сорбции нефтепродукта: уголь активированный (для медицинского применения марки УБФ), древесные опилки из мягких сортов древесины (сосна), волокнистый сорбент из полиэтилена. Далее по тексту сорбенты именуется как «уголь», «опилки» и «ПЭ волокно» соответственно.

Как известно, активированный уголь – самый изученный и широко использу-

ющийся адсорбент для удаления различных нежелательных веществ. Сорбционная активность угля [18] обусловлена наличием микро-, мезо- и макропор и развитой поверхностью, достигающей 500–1500 м²/г. ПЭ волокно использовано в настоящей работе в качестве сорбента, имеющего исключительно когезионный механизм удерживания нефти гидрофобной непористой поверхностью.

В качестве модельных поглощаемых нефтепродуктов было выбрано топливо дизельное зимнее ДТ-3-К5 (производитель ПАО НК «Роснефть») и масло моторное Роснефть Optimum SAE 15W-40 (производитель ПАО НК «Роснефть»).

Методики определения нефтеемкости

Методика 1: Модифицированная методика Standard Test Method for sorbent performance of adsorbents (ASTM F726-99) [9]. Для проведения испытаний были изготовлены цилиндрические емкости из металлической сетки с ячейей ромбической формы с размером отверстия 2×2 мм. Диаметр емкости 55 мм, высота – 60 мм. Размеры цилиндрической емкости из сетки (далее по тексту – сетка) были подобраны таким образом, чтобы плотно входить в стеклянные стаканы емкостью 250 см³. Цилиндрический сосуд из металлической сетки погружали в мерный стакан и заливали нефтепродуктом, так чтобы сетка-ловушка была полностью покрыта.

Холостое испытание с целью определения массы НП, удерживаемого сеткой, проводили, как описано в [27], при температуре в помещении 22 °С. Предварительно взвешенную сетку помещали в стакан и заливали испытуемым НП, так чтобы вся сетка была покрыта жидкостью. Стакан накрывали часовым стеклом и оставляли на 10 мин. По истечении этого времени сетку подвешивали к нижнему крюку весов Mettler Toledo ME403. Значения массы сетки с удерживаемым НП фиксировали автоматически, передавая информацию на компьютер через порт RS232, с интервалом 1 мин, до установления постоянной массы. При этом сетка-ловушка находилась в покое, без сотрясений и наклона. Постоянной считали массу, которая не изменялась в течение 3 мин. Эксперимент проводили 5 раз, стандартное отклонение значений нефтеемкости пустой сетки – не более 5%. В дальнейших расчетах учитывали массу сетки с учетом удерживаемого НП, полученную в холостом опыте (m_2).

Измерение нефтеемкости (НЕ): в сетку помещался сорбент массой 1 г и погружался на 10 мин в нефтепродукт, при этом сорбент механически не перемешивался и был полностью покрыт НП. По истечении заданного времени сетка с сорбентом с поглощенным НП подвешивалась к нижнему крюку автоматических весов до установления постоянного веса, как описано выше. Эксперимент повторялся троекратно, стандартное отклонение при этом не превышало 5%. Расчет нефтеемкости (НЕ) сорбента выполнен по формуле

$$HE = \frac{m_1 - (m_2 + m_3)}{m_3}, \text{ г/г,}$$

где m_1 – масса сетки с навеской сорбента и удерживаемым НП, г;

m_2 – масса сетки с учетом удерживаемого НП (холостая проба), г;

m_3 – масса навески сорбента, г.

Методика 2: Аналогична 1, но используется для сыпучих мелкодисперсных сорбентов, которые не удерживаются сеткой. Нефтеемкость определяется путем помещения испытуемого сорбента массой 1 г в пакет из нетканого полипропилена (спандонд). Предварительно определяется нефтеемкость пустого полипропиленового пакета («холостой опыт»). По истечении заданного времени пакет с сорбентом и НП подвешивался к нижнему крюку автоматических весов до установления постоянного веса, как описано выше.

Методика 3: Для сорбентов в виде волокнистого неупорядоченного материала нефтеемкость определялась путем закрепления на тонкой тарированной проволоке для погружения в НП и последующего взвешивания массы сорбента с НП до установ-

ления постоянной массы как описано выше. Нефтеемкость проволоки принимается пренебрежимо малой.

Методика 4: Для сорбентов из ПЭ волокна были проведены ускоренные испытания по ГОСТ 33627-2015 [28] на определение нефтеемкости. Сорбент массой 1 г выдерживали в емкости с нефтепродуктом в течение 15 мин, затем вытаскивали и удерживали над емкостью для стекания избытка жидкости в течение 30 с, после чего сорбент взвешивали и записывали результат.

Методика 5: Производятся испытания по методике ТУ 214-10942238-03-95. Сыпучий сорбент массой 1 г помещают на тарированное часовое стекло и по каплям течение 20–30 с прибавляли нефтепродукт до полного впитывания. Часовое стекло с топливом и сорбентом взвешивалось, и рассчитывалась сорбционная емкость по формуле

$$HE = \frac{m_4}{m_3}, \text{ г/г,}$$

где m_4 – масса нефти, поглощенная сорбентом, г;

m_3 – масса навески сорбента, г.

Результаты исследования и их обсуждение

Как видно в описанных методиках 1–3, во всех проведенных экспериментах массу сорбента с поглощенным нефтепродуктом фиксировали ежеминутно до установления постоянной массы, сведя к минимуму воздействие на объект. Это позволяет сравнивать результаты измерения, в том случае, если строго указан интервал времени истечения излишков нефтепродукта.

Таблица 4

Результаты измерений нефтеемкости (г/г) с использованием разных методик

Объект	Дизельное топливо				
	Методика				
	1	2	3	4	5
Опилки (россыпь)		1,659/1,592*			1,620
Уголь (порошок)		1,330/1,282			1,265
ПЭ волокно	22,88/20,52		6,87/2,76	8,70	
Объект	Моторное масло				
	Методика				
	1	2	3	4	5
Опилки (россыпь)		2,266/2,008			1,831
Уголь (порошок)		1,996/1,618			1,245
ПЭ волокно	34,97/20,93		35,02/11,39	28,56	

Примечание. *Через косую черту приведены значения нефтеемкости в начальный момент времени (через 30 с после извлечения из НП) и после установления постоянной массы.

Методика 3 была использована для того, чтобы нейтрализовать влияние чисто механического удерживания НП в сетке-ловушке после того, как было отмечено, что после установления постоянной массы при наклоне сетки происходит резкое изменение массы НП, за счет жидкости, которая скопилась на дне, но не может вытечь из-за плотного слоя полимера. Так, при экспериментах с ДТ масса НП с 20,52 г уменьшилась до 14,79 г. Методика 5 выбрана для сравнения как имеющая максимальное влияние трудно учитываемого фактора – личной оценки экспериментатора о степени насыщения сорбента.

Анализируя полученные результаты для всех сорбентов (табл. 4), видно, что значение нефтеемкости действительно зависит от выбранной методики определения. Отклонения в значении нефтеемкости для одного и того же вида дисперсного сорбента (опилки, уголь) составляет 1,3–5,1% по дизельному топливу, но уже 9,7–60,3% по маслу моторному. Для волокнистого сорбента и по ДТ, и по маслу моторному отклонения еще более значительные.

Основная методологическая проблема определения нефтеемкости заключается не только в том, чтобы установить массу НП, которую способен удержать 1 г сорбента, без учета НП, удерживаемого посудой, оборудованием или чисто механически за счет невозможности стока, но и установить влияние времени выдерживания сорбента в НП, времени свободного истечения излишков НП (до взвешивания), а также природы (состава) НП или его свойств. Очевидно, что решение этой проблемы в ближайшее время невозможно из-за большого числа факторов, влияющих на значение нефтеемкости. С 1 апреля 2017 г. в РФ вступили в силу два ГОСТ, в которых приведены методы испытаний адсорбентов и абсорбентов для нефтепродуктов. ГОСТ 33622-2015 [28], идентичный ASTM F 716-09, устанавливает методы испытания, расширяющие набор лабораторных методов, предназначенных для определения характеристик материалов, абсорбирующих нефтепродукты и другие жидкости из воды. ГОСТ 33627-2015 [29], идентичный ASTM F 726-12, устанавливает лабораторные методы определения характеристик адсорбентов, предназначенных для удаления с поверхности воды неэмульгированных масел и других не смешивающихся с водой и плавающих на её поверхности жидкостей. Наличие стандартных методик, возможно, улучшит ситуацию с заявляемыми производителями значениями нефтеемкости.

Выводы

1. Методика определения нефтеемкости сорбента влияет на значение получаемой величины. Отличия могут составлять от нескольких до сотен процентов. Недостоверное значение нефтеемкости затрудняет или делает невозможным адекватный расчет запаса сорбентов для ликвидации аварийных разливов нефти и нефтепродуктов на предприятиях, производственный цикл которых связан с опасностью загрязнения водных объектов.

2. В исследовательской практике при изучении свойств нефтесорбентов следует максимально использовать методики испытаний, рекомендованных ГОСТ 33622-2015 и ГОСТ 33627-2015, либо представлять результаты испытаний, позволяющие их интерпретировать и пересчитывать для сравнения нефтеемкости различных сорбентов между собой.

Список литературы / References

1. Investing.com: News of futures and commodity markets [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://investing.com/> (дата обращения: 14.08.2018).

2. Vikas M., Dwarakish G.S. Coastal Pollution: A Review. *Aquatic Procedia*. 2015. № 4. P. 381–388.

3. Al-Majed A.A., Adebayo A.R., Hossain M.E. A sustainable approach to controlling oil spills. *Journal of Environmental Management*. 2012. № 113. P. 213–227.

4. Постановление Правительства РФ от 21 августа 2000 г. № 613 «О неотложных мерах по предупреждению и ликвидации аварийных разливов нефти и нефтепродуктов» // Собрание законодательства. 2000. № 35.

The resolution of the Government of the Russian Federation of August 21, 2000 No. 613 «About urgent measures for prevention and elimination of emergency oil spills and oil products» // Collection of the legislation. 2000. № 35 (in Russian).

5. Постановление Правительства РФ от 14 ноября 2014 г. № 1189 «Об организации предупреждения и ликвидации разливов нефти и нефтепродуктов на континентальном шельфе Российской Федерации, во внутренних морских водах, в территориальном море и прилегающей зоне Российской Федерации» // Собрание законодательства. 2014. № 47. Ст. 6549.

The resolution of the Government of the Russian Federation of November 14, 2014 No 1189 «About the organization of prevention and elimination of oil spills and oil products on the continental shelf of the Russian Federation, in internal sea waters, in the territorial sea and a contiguous zone of the Russian Federation» // Collection of the legislation. 2014. № 47. Art. 6549 (in Russian).

6. Постановление Правительства РФ от 15 апреля 2002 г. № 240 «О порядке организации мероприятий по предупреждению и ликвидации разливов нефти и нефтепродуктов на территории Российской Федерации» // Собрание законодательства. 2002. № 16.

The resolution of the Government of the Russian Federation of April 15, 2002 No. 240 «About an order of organization of events according to prevention and elimination of oil spills and oil products in the territory of the Russian Federation» // Collection of the legislation. 2002. № 16 (in Russian).

7. Сироткина Е.Е., Новоселова Л.Ю. Материалы для адсорбционной очистки воды от нефти и нефтепродуктов // *Химия в интересах устойчивого развития*. 2005. Т. 13. № 3. С. 359–377.

Sirotkina E.E., Novoselova L.Yu. Materials for the adsorptive water purification from oil and oil products // *Chemistry*

for the benefit of sustainable development. 2005. T. 13. № 3. P. 359–377 (in Russian).

8. Zhou Y., Zhang L., Cheng Z. Removal of organic pollutants from aqueous solution using agricultural wastes: A review. *Journal of Molecular Liquids*. 2015. № 212. P. 739–762.

9. Ifealebuegu A.O., Anh Nguyen T.V., Ukotije-Ikwut P., Momoh Z. Liquid-phase sorption characteristics of human hair as a natural oil spill sorbent. *Journal of Environmental Chemical Engineering*. 2015. № 3(2). P. 938–943.

10. Terra Экология: Сорбент «ПРОФСОРБ ЭКО» для сбора нефтепродуктов [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.terra-ecology.ru/> (дата обращения: 14.08.2018).

Terra Ecology: A sorbent of «PROFSORB EKO» for collecting oil products [An electronic resource]. Access mode: <http://www.terra-ecology.ru/> (date of the address: 14.08.2018) (in Russian).

11. Экосорб. Научно-производственная фирма: Сорбирующий материал «Экосорб» [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.ecosorb.ru/> (дата обращения: 14.08.2018).

Ekosorb. Scientific and production firm: The occluding material «Ekosorb» [An electronic resource]. Access mode: <http://www.ecosorb.ru/> (date of the address: 14.08.18) (in Russian).

12. Ирвелен-М: Фильтрующий материал Ирвелен-М [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://irvelen.com> (дата обращения: 14.08.18).

Irvelen-M: The filtering material Irvelen-M [An electronic resource]. Access mode: <https://irvelen.com> (date of the address: 14.08.2018) (in Russian).

13. ООО «ЛАРН 32»: Сорбирующие изделия [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.larn32.ru/catalog/detail163.htm> (дата обращения: 14.08.2018).

LLC LARN 32: The occluding products [An electronic resource]. Access mode: <http://www.larn32.ru/catalog/detail163.htm> (date of the address: 14.08.2018) (in Russian).

14. Экосорб. Научно-производственная фирма: Сорбент «Унисорб» [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.ecosorb.ru/> (дата обращения: 14.08.2018).

Ekosorb. Scientific and production firm: Sorbent of «Unisorb» [An electronic resource]. Access mode: <http://www.ecosorb.ru/> (date of the address: 14.08.2018) (in Russian).

15. Мерциди И.А., Шлапаков А.В. Критерии выбора нефтяного сорбента для локализации аварийных разливов нефти на поверхности // Управление качеством в нефтегазовом комплексе. 2007. № 4. С. 52–57.

Meritsidi I.A., Shlapakov A.V. Criteria of the choice of an oil sorbent for localization of emergency oil spills on a surface // *Quality management in an oil and gas complex*. 2007. No. 4. P. 52–57 (in Russian).

16. Мхитаров Р.А. Сорбирующие средства ЛАРН на основе нанотехнологий [Электронный ресурс] // ООО Экосорбер сайт. – Режим доступа: http://www.ecosorber.ru/List38_15.aspx (дата обращения: 14.08.18).

Mkhitarov R.A. The occluding means LARNE on the basis of nanotechnologies [An electronic resource] // LLC Ekosorber the website. Access mode: http://www.ecosorber.ru/List38_15.aspx (date of the address: 14.08.18) (in Russian).

17. Приказ Министерства природных ресурсов от 03 марта 2003 года № 156 «Об утверждении указаний по определению нижнего уровня разлива нефти и нефтепродуктов для отнесения аварийного разлива к чрезвычайной ситуации» // Бюллетень нормативных актов федеральных органов исполнительной власти. 2003. № 29.

The order of the Ministry of natural resources of March 03, 2003 No. 156 «About the approval of instructions by determination of the lower level of oil spill and oil products for reference of an emergency flood to emergency situation» // *Bulletin of regulations of federal executive authorities*. 2003. № 29 (in Russian).

18. ГОСТ 4453-74. Уголь активный осветляющий древесный порошкообразный. Технические условия. М.: Издательство стандартов, 1993. 23 с.

19. Каменщиков Ф.А., Богомольный Е.И. Нефтяные сорбенты. М.: Регулярная и хаотическая динамика, 2005. С. 265–267.

Kamenshchikov F.A., Bogomolny E.I. Oil sorbents. M.: Regular and chaotic dynamics, 2005. P. 265–267 (in Russian).

20. Телушкина Т.Ю., Медведев А.В. Фракционный состав и нефтеемкость глауконитового песка // Новые технологии – нефтегазовому региону: материалы Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, посвященной 50-летию ТИИ-ТюмГНГУ. Тюмень: ТИУ, 2013. С. 69–71.

Telushkina T.Yu., Medvedev A.V. Fractional composition and oil capacity of glaukonitovy sand // *New technologies – to the oil and gas region: Materials of the All-Russian scientific and practical conference of students, graduate students and young scientists devoted to the 50 anniversary of TII-TSOGU*. Tyumen: TIU, 2013. P. 69–71 (in Russian).

21. Денисова Т.Р., Шайхиев И.Г., Сиппель И.Я., Кузнецова Н.П., Мубаракшина А.Ю. Влияние кислотной обработки опилок липы на нефтеемкость // Вестник Казанского технологического университета. 2015. № 20. С. 275–277.

Denisova T. R., Shaykhiyev I.G., Sippel I.Ya., Kuznetsova N.P., Mubarakshina A.Yu. Influence of acid processing of sawdust of a linden on oil capacity // *Bulletin of the Kazan technological university*. 2015. No. 20. P. 275–277 (in Russian).

22. Грузинова В.Л., Романовский В.И. Сорбционные свойства и эксплуатационные характеристики угольных волокнистых материалов // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия F. Строительство. Прикладные науки. 2015. № 16. С. 141–145.

Gruzinova V.L., Romanovsky V.I. Sorption properties and operational characteristics of coal fibrous materials // *Bulletin of the Polotsk state university. Series F. Construction. Applied sciences*. 2015. No. 16. P. 141–145 (in Russian).

23. ПНД Ф 14.1:2:4.128-98. Методика выполнения измерений массовой концентрации нефтепродуктов в пробах природной, питьевой и сточной воды флуориметрическим методом на анализаторе жидкости «Флюорат-02» (М 01-05-2012). М.: Госкомитет Рос. Федерации по ООС, 2012. 18 с.

24. Евстигнеев В.Д., Графова Е.О. Перспективы применения древесных отходов для обеспечения экологической безопасности лесозаготовительных предприятий // *Resources and Technology*. 2016. № 13(3). С. 63–70.

Evstigneev V.D., Grafova E.O. Consideration of using wood wastes for environmental compliance on timber procurement enterprise // *Resources and Technology*. 2016. № 13(3). P. 63–70 (in Russian).

25. Цомбуева Б.В. Применение природных материалов в качестве сорбентов для очистки почв от нефтяного загрязнения [Электронный ресурс] // Современные проблемы науки и образования. 2014. № 6. Режим доступа: www.science-education.ru/120-15695 (дата обращения: 14.08.2018).

Tsombueva B.V. The Use of Natural Materials as Sorbents for Cleanup of Soils From Oil Pollution // *Modern problems of science and education*. 2014. № 6. Rezhim dostupa: www.science-education.ru/120-15695 (data obrashheniya: 14.08.2018) (in Russian).

26. Заусалина А.В., Валь А.В., Боярко Г.Ю. Сравнительная эффективность сорбентов нефти и нефтепродуктов, используемых в условиях Томской области // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. 2015. № 2. С. 51–55.

Zausalina A.V., Val' A.V., Boyarko G.Yu. Comparative efficiency of oil and oil products sorbents used in the Tomsk region conditions // *Zashhita okruzhayushhej sredy` v neftegazovom komplekse*. 2015. № 2. P. 51–55 (in Russian).

27. Чухарева Н.В., Шишмина Л.В. Сравнение сорбционных свойств торфа верхового и низинного типов по отношению к товарной нефти и стабильному газовому конденсату // *Химия растительного сырья*. 2012. № 4. С. 193–200.

Chukhareva N.V., Shishmina L.V. Low-Moor and Moor Peat Sorption Properties Comparison Relative To Commercial Oil and Stable Gas Condensate // *Chemistry of plant raw material*. 2012. № 4. P. 193–200 (in Russian).

28. ГОСТ 33622-2015. Уголь активированный. Стандартный метод определения сорбционных характеристик адсорбентов. М.: Изд-во стандартов, 2016. 10 с.

29. ГОСТ 33627-2015. Уголь активированный. Стандартный метод определения сорбционных характеристик адсорбентов. М.: Изд-во стандартов, 2016. 13 с.