
УСПЕХИ СОВРЕМЕННОГО ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ

№ 11 2016

Часть 2

ISSN 1681-7494

Импакт-фактор

РИНЦ – 0,906

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» – 70062

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР

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

ЗАМ. ГЛАВНОГО РЕДАКТОРА

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

Ответственный секретарь редакции

Бизенкова Мария Николаевна, к.м.н.

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

д.х.н., проф. Алоев В.З. (Нальчик); д.х.н., проф. Великородов А.В. (Астрахань); д.х.н., проф. Дресвянников А.Ф. (Казань); д.х.н., проф. Душкин А.В. (Новосибирск); д.х.н., проф. Ивашкевич А.Н. (Москва); д.х.н., проф. Микитаев А.К. (Нальчик); д.х.н., проф. Нилов А.П. (Егорьевск); д.х.н., проф. Танганов Б.Б. (Улан-Удэ); д.с.-х.н., проф. Анищенко Л.Н. (Брянск); д.с.-х.н., проф. Байрамбеков Ш.Б. (Камызяк); д.с.-х.н., проф. Берсон З. (Великий Новгород); д.с.-х.н., проф. Зволинский В.П. (Волгоград); д.с.-х.н., проф. Коцарева Н.В. (Белгород); д.с.-х.н., проф. Ланцева Н.Н. (Новосибирск); д.с.-х.н., проф. Морозова Н.И. (Рязань); д.с.-х.н., проф. Тихановский А.Н. (Салехард); д.с.-х.н., проф. Улимбашев М.Б. (Нальчик); д.с.-х.н., проф. Ухтверов А.М. (Самара); д.с.-х.н., проф. Хазиахметов Ф. С. (Уфа); д.с.-х.н., проф. Шамшиев Б.Н. (Ош); д.г.-м.н., проф. Абилхасимов Х.Б. (Астана); д.г.-м.н., проф. Алексеев С.В. (Иркутск); д.г.-м.н., проф. Бондарев В.И. (Екатеринбург); д.г.-м.н., проф. Гавришин А.И. (Новочеркасск); д.г.-м.н., проф. Ерофеев В.И. (Томск); д.г.-м.н., проф. Костицын В.И. (Пермь); д.г.-м.н., проф. Лебедев В.И. (Кызыл); д.г.-м.н., проф. Мельников А.И. (Иркутск)

Журнал «УСПЕХИ СОВРЕМЕННОГО ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ» зарегистрирован
в Федеральной службе по надзору за соблюдением законодательства
в сфере массовых коммуникаций и охране культурного наследия.

Свидетельство – **ПИ № 77-11311.**

Все публикации рецензируются. Доступ к журналу бесплатен.

Импакт-фактор РИНЦ = 0,906.

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

Журнал включен в Реферативный журнал и Базы данных ВИНИТИ.

Учредитель – ИД «Академия Естествознания»
Издательство и редакция: Издательский Дом «Академия Естествознания»

Почтовый адрес –
105037, г. Москва, а/я 47,
АКАДЕМИЯ ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ,
редакция журнала «УСПЕХИ СОВРЕМЕННОГО ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ»

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

Подписано в печать – 06.12.2016

Формат 60х90 1/8
Типография
ООО «Научно-издательский центр
Академия Естествознания»,
г. Саратов, ул. Мамонтовой, 5

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

Способ печати – оперативный.
Усл.п.л. 29,13
Тираж – 1000 экз. Заказ. УСЕ/11-2016
Подписной индекс 70062

© ИД «Академия Естествознания»

СОДЕРЖАНИЕ

Химические науки (02.00.00)

ЖЕЛЕЗОСОДЕРЖАЩИЕ ДВОЙНЫЕ И ТРОЙНЫЕ МОЛИБДАТЫ ЦЕЗИЕВОГО РЯДА <i>Доржиева С.Г., Базаров Б.Г., Намсараева Т.В., Базарова Ж.Г.</i>	215
ДЕСТРУКЦИЯ ПОЛИМЕРНЫХ ПЛЕНОК, МОДИФИЦИРОВАННЫХ ОКСИБИОРАЗЛАГАЕМОЙ ДОБАВКОЙ D ₂ W <i>Ершова О.В., Мишурина О.А.</i>	221
ОПТИКО-ЭМИССИОННАЯ СПЕКТРОМЕТРИЯ С ИНДУКТИВНО СВЯЗАННОЙ ПЛАЗМОЙ В АРХЕОЛОГИИ ДЛЯ АНАЛИЗА ДРЕВНИХ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ НА ОСНОВЕ МЕДИ <i>Колмыков Р.П., Созинов С.А.</i>	226
СТАБИЛИЗАЦИЯ ЭЛЕКТРОДНОГО ПОТЕНЦИАЛА ТВЕРДОКОНТАКТНЫХ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИХ СЕНСОРОВ НА ОСНОВЕ ЭЛЕКТРОНОПРОВОДЯЩИХ ПОЛИМЕРОВ <i>Маркузина Н.Н.</i>	232
ХИМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПРОЦЕССА ГИДРОФОБИЗАЦИИ ВТОРИЧНЫХ ЦЕЛЛЮЛОЗНЫХ ВОЛОКОН ПРИ ПОЛУЧЕНИИ УПАКОВОЧНЫХ ВИДОВ БУМАГ И КАРТОНОВ <i>Муллина Э.Р., Ершова О.В.</i>	237
МЕТОД ИССЛЕДОВАНИЯ ИЕРАРХИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ В ПРИРОДНЫХ АМИНОКИСЛОТНЫХ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЯХ <i>Некрасов А.Н., Зинченко А.А., Карлинский Д.М., Козырев С.В.</i>	242
ОЦЕНКА РАЗМЕРА И ФОРМЫ ЧАСТИЦ ФАРМАЦЕВТИЧЕСКИХ СУБСТАНЦИЙ МИКРОСКОПИЧЕСКИМ МЕТОДОМ <i>Новик Е.С., Доренская А.В., Борисова Н.А., Гунар О.В.</i>	249
ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ВЫСОКОЭФФЕКТИВНОЙ ЖИДКОСТНОЙ ХРОМАТОГРАФИИ ДЛЯ АНАЛИЗА ЭФИРОВ 4-ГИДРОКСИБЕНЗОЙНОЙ КИСЛОТЫ <i>Осипов А.С., Попова О.А., Сулейманов Р.Р., Нездольева М.В.</i>	256
СРАВНЕНИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИХ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИК-СПЕКТРОВ КОМПЛЕКСОВ АТОМА ЦИНКА С МОЛЕКУЛАМИ АЛАНИНА <i>Пешкова Т.В., Сальникова Е.В., Пешков С.А.</i>	261
ВЛИЯНИЕ ИНГИБИТОРОВ КОРРОЗИИ НА РЕОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ВОДНО-ОРГАНИЧЕСКИХ РАСТВОРОВ ПОЛИАКРИЛОВЫХ ЗАГУСТИТЕЛЕЙ <i>Савинова М.В., Панина Е.А., Квашенников А.И., Рябова Т.А., Логутов В.И.</i>	266
ИЗУЧЕНИЕ ЦИТОТОКСИЧНОСТИ ПРОИЗВОДНЫХ АМИНОИНДОЛА И ПИРРОЛОХИНОЛИНОВ IN VITRO <i>Степаненко И.С., Ямашкин С.А., Акулина И.В., Котькин А.И., Костина Ю.А.</i>	271
ИССЛЕДОВАНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СВОЙСТВ ПОЛИМЕРНЫХ ПЛЁНОК С ИНГИБИТОРОМ КОРРОЗИИ <i>Чупрова Л.В., Ершова О.В.</i>	276
КИНЕТИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ПРОЦЕССА ДЕГИДРОКСИЛАЦИИ СЛЮД <i>Шишелова Т.И., Леонова Н.В.</i>	281

Сельскохозяйственные науки (06.01.00, 06.03.00)

ДИНАМИКА СОСТОЯНИЯ ЛИСТВЕННИЧНЫХ ЛЕСОВ ЗАБАЙКАЛЯ <i>Горбунов И.В., Зима Ю.В., Баницикова Е.А., Желибо Т.В., Пак Л.Н.</i>	286
ОСОБЕННОСТИ ВОЗДЕЛЫВАНИЯ ГИБРИДОВ САХАРНОЙ СВЕКЛЫ НА СТЕРИЛЬНОЙ ОСНОВЕ В УСЛОВИЯХ НЕУСТОЙЧИВОГО УВЛАЖНЕНИЯ ЦЕНТРАЛЬНО-ЧЕРНОЗЁМНОГО РАЙОНА <i>Горячих А.С., Ступаков А.Г., Куликова М.А., Ломазов В.А.</i>	291

НОВЫЙ ПЕСТИЦИДНЫЙ ПРЕПАРАТ НА ОСНОВЕ КОМПЛЕКСОВ ТЕБУКОНАЗОЛА И ПРОИЗВОДНЫХ ГЛИЦИРРИЗИНА <i>Душкин А.В., Метелева Е.С., Хомиченко Н.Н., Власенко Н.Г., Теплякова О.И., Халиков М.С., Халиков С.С.</i>	296
ОСОБЕННОСТИ ОРОШЕНИЯ СЕЯНЦЕВ ДРЕВЕСНЫХ ПОРОД В ПИТОМНИКАХ СТЕПНОЙ ЗОНЫ <i>Иозус А.П., Морозова Е.В.</i>	301
ОСОБЕННОСТИ СОРТОИСПЫТАНИЯ ПЕРСПЕКТИВНЫХ ДЛЯ ЗАЩИТНОГО ОРОШАЕМОГО И БОГАРНОГО ЛЕСОРАЗВЕДЕНИЯ ВИДОВ, ГИБРИДОВ И ФОРМ ТОПОЛЕЙ В УСЛОВИЯХ СУХОЙ СТЕПИ НИЖНЕГО ПОВОЛЖЬЯ <i>Морозова Е.В., Иозус А.П.</i>	306
ОЦЕНКА ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ МЕРОПРИЯТИЙ, НАПРАВЛЕННЫХ НА ЛИКВИДАЦИЮ ЛЕСНЫХ ПОЖАРОВ <i>Рунова Е.М., Савченкова В.А.</i>	311
ВИДОВОЕ РАЗНООБРАЗИЕ ЛУГОВЫХ ТРАВСТОЕВ <i>Тюлин В.А., Сутягин В.П.</i>	318
УРОЖАЙНОСТЬ И КАЧЕСТВО КАРТОФЕЛЯ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ПРЕДПОСАДОЧНОГО ПРОРАЩИВАНИЯ КЛУБНЕЙ <i>Уромова И.П., Копосова Н.Н.</i>	324
ИСТОЧНИКИ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ТЯЖЕЛЫМИ МЕТАЛЛАМИ ТЫКВЫ В УСЛОВИЯХ ФОНОВОЙ СРЕДЫ (ПРИАЗОВЬЕ) <i>Шумакова Г.Е.</i>	329

Науки о Земле (25.00.00)

ПОСТСЕЛИТЕЛЬНЫЕ ГЕОСИСТЕМЫ БЕЛГОРОДСКОЙ ОБЛАСТИ: ФИЗИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА И ПЕРСПЕКТИВЫ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ РЕАБИЛИТАЦИИ <i>Артищев В.Е., Голесов П.В.</i>	334
ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ СЕРЕБРЯНО-МЕДНОГО РУДОПРОЯВЛЕНИЯ «СИГУРД» НА ОСТРОВЕ ЗАПАДНЫЙ ШПИЦБЕРГЕН <i>Евдокимов А.Н., Сироткин А.Н., Коробова Г.А.</i>	339
ОЦЕНКА СЕЙСМИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ НА ОСНОВЕ ДАННЫХ РЕГИОНАЛЬНОЙ СЕТИ СЕЙСМИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ И МЕТОДАМИ ИЗОТОПНОЙ ГЕОХИМИИ <i>Кужугет К.С., Рычкова К.М., Лебедев В.И., Монгуш С-С.С., Аюнова О.Д.</i>	348
ИНФОРМАЦИОННО-КАРТОГРАФИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ КАК МЕТОД ИНТЕГРАЦИИ ИСТОРИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ ДЛЯ ОЦЕНКИ РАЗВИТИЯ ГЕОСИСТЕМ БАССЕЙНА ОЗ. БАЙКАЛ <i>Кузнецова Т.И.</i>	354
ИЗОТОПЫ ГЕЛИЯ И ТЕПЛОВОЙ ПОТОК КАК ОТРАЖЕНИЕ СОВРЕМЕННОЙ СЕЙСМОТЕКТОНИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ (ЦЕНТРАЛЬНО-ТУВИНСКАЯ КОТЛОВИНА, ОЗ. ДУС-ХОЛЬ) <i>Лебедев В.И., Рычкова К.М., Монгуш С-С.С.</i>	362
ЛАНДШАФТНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В РАЙОНАХ ДОБЫЧИ НЕФТИ И ГАЗА (ОТ ТЕОРИИ К ПРАКТИКЕ) <i>Лысенкова З.В., Рудский В.В.</i>	367
ЛАНДШАФТНО-КЛИМАТИЧЕСКИЕ ИЗМЕНЕНИЯ НА ОСТРОВАХ ЗАЛИВА ПЕТРА ВЕЛИКОГО (ЯПОНСКОЕ МОРЕ) ЗА ПОСЛЕДНИЕ 20 000 ЛЕТ <i>Ляцевская М.С.</i>	372
ОБОСНОВАНИЕ ЗАМЕЩЕНИЯ ЭКОНОМИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ ПОТЕНЦИАЛЬНЫМИ РЕСУРСАМИ НЕДР <i>Михайлов А.Г., Брагин В.И., Вашилаев И.И., Харитонова М.Ю.</i>	380

ОПАСНЫЕ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЕ ЯВЛЕНИЯ НА ТЕРРИТОРИИ БЕЛГОРОДСКОЙ ОБЛАСТИ И ИХ ВЛИЯНИЕ НА ОТРАСЛИ ЭКОНОМИКИ ДАННОГО РЕГИОНА <i>Петин А.Н., Брыкалова М.В.</i>	385
ТЕРРИТОРИАЛЬНАЯ ДИНАМИКА КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТИ МАЛОГО ПРЕДПРИНИМАТЕЛЬСТВА В РФ <i>Сафиуллин Р.Г., Гришина Т.П., Маликова Э.Р.</i>	390
К ВОПРОСУ О ВЛИЯНИИ ГЕОКЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ НА СОСТАВ И ПЕРЕНОС ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА ВОДНО-БОЛОТНЫХ ЭКОСИСТЕМ <i>Селянина С.Б., Кокрятская Н.М., Пономарева Т.И., Ярыгина О.Н., Труфанова М.В.</i>	396
РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ СОВРЕМЕННЫХ И ПОГРЕБЕННЫХ ПОЧВ АЛЛЮВИАЛЬНЫХ ГЕОСИСТЕМ БАССЕЙНА РЕКИ СУРА <i>Солодков Н.Н., Чурсин А.И., Дьячков М.Д.</i>	401
ВЛИЯНИЕ АНТРОПОГЕННЫХ ИСТОЧНИКОВ НА ФОРМИРОВАНИЕ МИКРОЭЛЕМЕНТНОГО СОСТАВА ПРИЗЕМНОГО АЭРОЗОЛЯ ПОБЕРЕЖЬЯ БЕЛОГО МОРЯ <i>Стародымова Д.П., Виноградова А.А., Шевченко В.П., Захарова Е.В., Сивонен В.В., Сивонен В.П.</i>	407
ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ АНКЕРНЫХ ПРОТИВОПУЧИННЫХ СВАЙ В УСЛОВИЯХ МНОГОЛЕТНЕМЕРЗЛЫХ ГРУНТОВ <i>Тарасенко А.А., Грученкова А.А., Чепур П.В., Юргевич А.В.</i>	411
ИСТОРИЧЕСКИЕ ПАРАДОКСЫ СЕВЕРНОГО ЗЕМЛЕДЕЛИЯ <i>Трапезникова О.Н.</i>	417
ТЕХНОГЕННАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ ЛАНДШАФТОВ В ЗОНЕ ВЛИЯНИЯ АКТИВНО РАЗРАБАТЫВАЕМЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ РЕГИОНА КМА <i>Фурманова Т.Н., Петина М.А., Петин А.Н., Белоусова Л.И.</i>	422
ОПЕРАТИВНОЕ ПРИНЯТИЕ УПРАВЛЕНЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ В СФЕРЕ ВОДОПОЛЬЗОВАНИЯ НА ЗАГРЯЗНЕННЫХ ВОДНЫХ ОБЪЕКТАХ <i>Черноморец А.А., Петина М.А., Путивцева Н.П., Коваленко А.Н.</i>	427
ПРОБЛЕМЫ РАЗВИТИЯ СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ГЕОСИСТЕМЫ ЮЖНОУРАЛЬСКОГО МЕЗОРЕГИОНА В УСЛОВИЯХ ВОЗРАСТАЮЩЕГО АНТРОПОГЕННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ <i>Чибилёв А.А. (младший)</i>	433

CONTENTS

Chemical sciences (02.00.00)

IRON-CONTAINING DOUBLE AND TRIPLE MOLYBDATES OF CESIUM <i>Dorzhieva S.G., Bazarov B.G., Namsaraeva T.V., Bazarova Zh.G.</i>	215
DESTRUCTION OF THE POLYMERIC FILMS MODIFIED BY OXYBIODEGRADABLE D ₂ W ADDITIVE <i>Ershova O.V., Mishurina O.Ā.</i>	221
OPTICAL EMISSION SPECTROMETRY WITH INDUCTIVELY COUPLED PLASMA IN ARCHAEOLOGY FOR ANALYSIS OF ANCIENT METAL BASED ON COPPER <i>Kolmykov R.P., Sozinov S.A.</i>	226
ELECTRODE POTENTIAL STABILIZATION OF SOLID-CONTACT ELECTROCHEMICAL SENSORS BASED ON CONDUCTING POLYMERS <i>Markuzina N.N.</i>	232
CHEMICAL ASPECTS OF THE PROCESS OF THE SECONDARY HYDROPHOBIC CELLULOSE FIBERS WHEN RECEIVING PACKAGING TYPES PAPER AND CARDBOARD <i>Mullina E.R., Ershova O.V.</i>	237
A METHOD FOR DISCOVERY OF HIERARCHY ELEMENTS IN NATURAL PROTEIN SEQUENCES <i>Nekrasov A.N., Zinchenko A.A., Karlinskiy D.M., Kozyrev S.V.</i>	242
ASSESSMENT OF PARTICLE SIZE AND SHAPE OF FARMACEUTICAL SUBSTANCES WITH MICROSCOPIC TECHNIQUE <i>Novik E.S., Dorenskaya A.V., Borisova N.A., Gunar O.V.</i>	249
APPLICATION OF HIGH PERFORMANCE LIQUID CHROMATOGRAPHY FOR ANALYSIS 4-HYDROXYBENZOIC ACID ESTERS <i>Osipov A.S., Popova O.A., Suleymanov R.R., Nezdoleva M.V.</i>	256
THEORETICAL AND EXPERIMENTAL IR-SPECTRA OF ZINC COMPLEXES WITH MOLECULES ALANINE <i>Peshkova T.V., Salnikova E.V., Peshkov S.A.</i>	261
INFLUENCE OF CORROSION INHIBITORS ON RHEOLOGICAL CHARACTERISTICS OF WATER/ORGANIC SOLUTIONS OF POLYACRYLIC THICKENERS <i>Savinova M.V., Panina E.A., Kvashennikov A.I., Ryabova T.A., Logutov V.I.</i>	266
STUDY OF CYTOTOXICITY OF DERIVATIVES AMINOINDOLE AND PYRROLOQUINOLINE IN VITRO <i>Stepanenko I.S., Yamashkin S.A., Akulina I.V., Kotkin A.I., Kostina Yu.A.</i>	271
RESEARCH OF OPERATIONAL PROPERTIES OF POLYMERIC FILMS WITH CORROSION INHIBITOR <i>Chuprova L.V., Ershova O.V.</i>	276
KINETIC PARAMETERS OF MICAS DEHYDROXYLATION PROCESS <i>Shishelova T.I., Leonova N.V.</i>	281

Agricultural sciences (06.01.00, 06.03.00)

DYNAMICS OF STATE LARCH FORESTS IN TRANSBAIKALIA <i>Gorbunov I.V., Zima Yu.V., Banschikova E.A., Zhelibo T.V., Pak L.N.</i>	286
SPECIAL FEATURES OF CULTIVATION OF SUGAR BEET HYBRID ON THE BASIS OF STERILITY IN CONDITIONS OF UNRELIABLE MOISTENING IN CENTRAL BLACK EARTH DISTRICT <i>Goryachikh A.S., Stupakov A.G., Kulikova M.A., Lomazov V.A.</i>	291

NEW PESTICIDE PRODUCT BASED ON COMPLEXES OF TEBUCONAZOLE AND GLYCYRRHIZIN DERIVATIVES <i>Dushkin A.V., Meteleva E.S., Khomichenko N.N., Vlasenko N.G., Teplyakova O.I., Khalikov M.S., Khalikov S.S.</i>	296
THE FEATURES OF IRRIGATION OF SEEDLINGS OF TREE SPECIES IN NURSERIES OF STEPPE ZONE <i>Iozus A.P., Morozova E.V.</i>	301
FEATURES VARIETY TESTING PROMISING FOR PROTECTIVE AFFORESTATION ON IRRIGATED AND DRY-FARMING LAND SPECIES, HYBRIDS AND FORMS OF POPLAR IN CONDITIONS OF DRY STEPPE IN THE LOWER VOLGA REGION <i>Morozova E.V., Iozus A.P.</i>	306
ASSESSMENT OF FEASIBILITY OF PERFORMANCE INDICATORS ACTIVITIES AIMED AT THE ELIMINATION OF FOREST FIRES <i>Runova E.M., Savchenkova V.A.</i>	311
DIVERSITY MEADOW HERBAGE <i>Tyulin V.A., Sutyagin V.P.</i>	318
PRODUCTIVITY AND QUALITY OF POTATOES IN DEPENDENCE FROM PRELANDING CULTIVATION OF TUBERS <i>Uromova I.P., Koposova N.N.</i>	324
SOURCES OF HEAVY METALS' POLLUTION OF PUMPKIN IN CONDITION OF PRIAZOVIA <i>Shumakova G.E.</i>	329

Earth sciences (25.00.00)

ABANDONED SETTLEMENTS OF BELGOROD REGION: GEOGRAPHICAL CHARACTERISTICS AND PERSPECTIVES OF ENVIRONMENTAL REHABILITATION <i>Artischev V.E., Goleusov P.V.</i>	334
GEOCHEMICAL FEATURES OF SILVER-COPPER ORE MINERALIZATION «SIGURD» ON THE ISLAND OF WEST SPITSBERGEN <i>Evdokimov A.N., Sirotkin A.N., Korobova G.A.</i>	339
EVALUATION OF SEISMIC SAFETY BASED ON REGIONAL NETWORK DATA OF SEISMIC STATIONS AND BY METHODS OF ISOTOPE GEOCHEMISTRY <i>Kuzhuget K.S., Rychkova K.M., Lebedev V.I., Mongush S-S.S., Ayunova O.D.</i>	348
INFORMATION AND CARTOGRAPHICAL MONITORING AS A METHOD FOR INTEGRATION OF HISTORICAL AND GEOGRAPHICAL INFORMATION FOR ASSESSING THE DEVELOPMENT OF THE GEOSYSTEMS OF THE BASIN OF LAKE BAIKAL <i>Kuznetsova T.I.</i>	354
HELIUM ISOTOPES AND HEAT FLOW AS A REFLECTION OF MODERN SEISMOTECTONIC ACTIVITY (CENTRAL TUVA BASIN, OZ. DUS-KHOL) <i>Lebedev V.I., Rychkova K.M., Mongush S-S.S.</i>	362
LANDSCAPE RESEARCH IN THE AREAS OF OIL AND GAS PRODUCTION (FROM THEORY TO PRACTICE) <i>Lysenkova Z.V., Rudskiy V.V.</i>	367
LANDSCAPE-CLIMATE CHANGES OF THE ISLANDS OF PETER THE GREAT BAY (SEA OF JAPAN) DURING LAST 20 000 YEARS <i>Lyashevskaya M.S.</i>	372
THE SUBSTANTIATION OF REPLACEMENT OF ECONOMIC RESOURCES BY POTENTIAL OF SUBSOIL RESOURCES <i>Mikhaylov A.G., Bragin V.I., Vashlaev I.I., Kharitonova M.Yu.</i>	380
DANGEROUS HYDROMETEOROLOGICAL PHENOMENA IN BELGOROD REGION AND THEIR IMPACT ON THE REGIONAL ECONOMY <i>Petin A.N., Brykalova M.V.</i>	385

TERRITORIAL DYNAMICS OF COMPETITIVENESS SMALL BUSINESS IN THE RUSSIAN FEDERATION <i>Safullin R.G., Grishina T.P., Malikova E.R.</i>	390
TO THE QUESTION OF THE INFLUENCE OF GEOCLIMATIC CONDITIONS ON THE ORGANIC MATTER COMPOSITION AND TRANSPORT OF BOG-AQUATIC ECOSYSTEMS <i>Selyanina S.B., Kokryatskaya N.M., Ponomareva T.I., Yarygina O.N., Trufanova M.V.</i>	396
THE RESULTS OF STUDIES OF MODERN AND BURIED SOILS OF ALLUVIAL GEOSYSTEMS OF THE SURYA RIVER BASIN <i>Solodkov N.N., Chursin A.I., Dyachkov M.D.</i>	401
IMPACT OF ANTROPOGENIC SOURCES ON FORMATION OF TRACE-METAL COMPOSITION OF THE WHITE SEA COASTAL NEAR-THE-GROUND AEROSOL <i>Starodymova D.P., Vinogradova A.A., Shevchenko V.P., Zakharova E.V., Sivonen V.V., Sivonen V.P.</i>	407
ASSESSMENT OF ANCHOR UNHEAVING PILES EFFECTIVENESS IN THE CONDITIONS OF PERMAFROST SOILS <i>Tarasenko A.A., Gruchenkova A.A., Chepur P.V., Yurjevich A.V.</i>	411
HISTORICAL PARADOXES OF NORTHERN AGRICULTURE <i>Trapeznikova O.N.</i>	417
TECHNOGENIC LANDSCAPES TRANSFORMATION IN THE AREA OF INFLUENCE ACTIVELY DEVELOPING MINERAL DEPOSITS OF THE REGION KMA <i>Furmanova T.N., Petina M.A., Petin A.N., Belousova L.I.</i>	422
OPERATIONAL MANAGEMENT DECISION MAKING IN THE FIELD OF WATER ON CONTAMINATED WATER BODIES <i>Chernomorets A.A., Petina M.A., Putivtseva N.P., Kovalenko A.N.</i>	427
PROBLEMS OF DEVELOPMENT OF THE SOCIO-ECONOMIC GEOSYSTEM OF SOUTH-URAL REGION IN CONDITIONS OF INCREASING ANTHROPOGENIC IMPACT <i>Chibilev A.A. (jr.)</i>	433

УДК 546.77

ЖЕЛЕЗОСОДЕРЖАЩИЕ ДВОЙНЫЕ И ТРОЙНЫЕ МОЛИБДАТЫ ЦЕЗИЕВОГО РЯДА

¹Доржиева С.Г., ^{1,2}Базаров Б.Г., ¹Намсараева Т.В., ^{1,2}Базарова Ж.Г.

¹Байкальский институт природопользования Сибирского отделения

Российской академии наук, Улан-Удэ;

²ФГОУ ВПО «Бурятский государственный университет», Улан-Удэ, e-mail: jbaz@binm.bscnet.ru

Получены железосодержащие двойные и тройные молибдаты цезиевого ряда, определены их кристаллографические, термические, спектроскопические и магнитные характеристики. Установлено, что соединения кристаллизуются в разных структурных типах. Двойной молибдат $\text{CsFe}_5(\text{MoO}_4)_7$ кристаллизуется в моноклинной сингонии (пр. гр. $P2_1/m$), $\text{Cs}_3\text{FeZr}(\text{MoO}_4)_6$ – в гексагональной сингонии (пр. гр. $P6_3$), $\text{CsFeZr}_{0.5}(\text{MoO}_4)_3$ и $\text{CsFeTi}_{0.5}(\text{MoO}_4)_3$ – в тригональной сингонии (пр. гр. $R\bar{3}$). Тройные молибдаты $\text{Cs}_3\text{FeZr}(\text{MoO}_4)_6$, $\text{CsFeZr}_{0.5}(\text{MoO}_4)_3$ и $\text{CsFeTi}_{0.5}(\text{MoO}_4)_3$ охарактеризованы методами ИК-, КР-спектроскопии и электронной микроскопии. Изучены магнитные свойства тройного молибдата $\text{CsFeZr}_{0.5}(\text{MoO}_4)_3$ и выявлено наличие упорядоченных магнитных взаимодействий в магнитно-разбавленных системах. $\text{CsFeZr}_{0.5}(\text{MoO}_4)_3$ парамагнитен до 5 К с парамагнитным моментом $6,05 \mu_B$, который является типичным для высокоспинового иона Fe^{3+} . Зависимость магнитной восприимчивости при 2 К показывает гистерезис с коэрцитивностью 0,02 Т.

Ключевые слова: молибдат, железо, структура, магнитные свойства

IRON-CONTAINING DOUBLE AND TRIPLE MOLYBDATES OF CESIUM

¹Dorzhieva S.G., ^{1,2}Bazarov B.G., ¹Namsaraeva T.V., ^{1,2}Bazarova Zh.G.

¹Baikal Institute of Nature Management of Siberian Branch

of the Russian Academy of Sciences, Ulan-Ude;

²Buryat State University, Ulan-Ude, e-mail: jbaz@binm.bscnet.ru

Iron-containing double and triple molybdates of cesium are obtained and their crystallographic, thermal, spectroscopic and magnetic properties are determined. It is established that the compounds crystallize in different structural types. Double molybdate $\text{CsFe}_5(\text{MoO}_4)_7$ crystallizes in the monoclinic system (space group $P2_1/m$), $\text{Cs}_3\text{FeZr}(\text{MoO}_4)_6$ – in the hexagonal crystal system (space group $P6_3$), $\text{CsFeZr}_{0.5}(\text{MoO}_4)_3$ and $\text{CsFeTi}_{0.5}(\text{MoO}_4)_3$ – in the trigonal crystal system (space group $R\bar{3}$). Triple molybdates of $\text{Cs}_3\text{FeZr}(\text{MoO}_4)_6$, $\text{CsFeZr}_{0.5}(\text{MoO}_4)_3$ and $\text{CsFeTi}_{0.5}(\text{MoO}_4)_3$ are characterized by IR, Raman – spectroscopy and electron microscopy. The magnetic properties of the triple molybdate $\text{CsFeZr}_{0.5}(\text{MoO}_4)_3$ are studied and the presence of ordered magnetic interactions in magnetically diluted systems are revealed. $\text{CsFeZr}_{0.5}(\text{MoO}_4)_3$ is paramagnetic to 5 K with a paramagnetic moment of $6,05 \mu_B$, which is typical of the high-spin ion Fe^{3+} . The dependence of the magnetic susceptibility at 2 K shows hysteresis with coercivity 0,02 T.

Keywords: molybdate, iron, structure, magnetic properties

Интерес к изучению многокомпонентных соединений молибдена обусловлен большим спектром их ценных физико-химических, оптических и электрических свойств [1–8]. Известно, что ферромагнитными свойствами обладают как металлические железо, кобальт, никель или их сплавы, так и многие их оксидные соединения. В настоящей работе представлены результаты по синтезу двойных и тройных железосодержащих молибдатов цезиевого ряда, изучению их кристаллографических, спектроскопических, термических и магнитных свойств.

Материалы и методы исследования

Поликристаллические образцы железосодержащих молибдатов цезия были получены по стандартной керамической технологии из соответствующих средних молибдатов и/или оксидов. Достижение

равновесия контролировали рентгенографически на дифрактометре Advance D8 фирмы Bruker с использованием CuK_α -излучения в геометрии Брэгга-Брентано с линейным детектором Vantec. Спектры КР зарегистрированы на КР-Фурье спектрометре RFS 100/S Bruker (возбуждение лазером Nd-YAG, $\lambda = 1064 \text{ нм}$). ИК-спектры сняты на спектрометре «Tenser 27» фирмы Bruker. Дифференциальная сканирующая калориметрия (ДСК) проведена на термоанализаторе NETZSCH STA 449 C (Jupiter) со скоростью подъема температуры 10 К/мин. Микроморфология была изучена на сканирующем электронном микроскопе JSM – 6510LV JEOL (Япония) с детектором характеристического рентгеновского излучения INCA Energy 350, Oxford Instruments (Великобритания).

Результаты исследования и их обсуждение

При изучении двойной системы $\text{Cs-Fe(II, III)-Mo-O}$ были выявлены двойные железосодержащие молибдаты цезия $\text{Cs}_2\text{Fe}_2(\text{MoO}_4)_3$, $\text{Cs}_4\text{Fe}(\text{MoO}_4)_3$,

$\text{CsFe}_5(\text{MoO}_4)_7$ [1, 8]. Двойные молибдаты были получены в условиях вакуума, конечная температура синтеза для $\text{Cs}_2\text{Fe}_2(\text{MoO}_4)_3$ и $\text{CsFe}_5(\text{MoO}_4)_7$ составляла 750°C (30 часов), для $\text{Cs}_4\text{Fe}(\text{MoO}_4)_3$ – 550°C (20 часов).

В тройных солевых системах выявлены соединения составов $\text{Cs}_5\text{FeZr}(\text{MoO}_4)_6$, $\text{CsFeZr}_{0.5}(\text{MoO}_4)_3$ [3].

Соединения $\text{Cs}_5\text{FeZr}(\text{MoO}_4)_6$ и $\text{CsFeZr}_{0.5}(\text{MoO}_4)_3$ получены на воздухе при температурах 500 – 520°C (200–300 ч) и 540 – 750°C (100 ч) соответственно. Тройной молибдат $\text{CsFeTi}_{0.5}(\text{MoO}_4)_3$ получен из средних молибдатов и оксида титана с триоксидом молибдена в виде порошка в температурном интервале 350 – 600°C [7].

Двойной молибдат $\text{CsFe}_5(\text{MoO}_4)_7$ кристаллизуется в моноклинной сингонии (пр. гр. $P2_1/m$, $Z = 2$) с параметрами элементарной ячейки: $a = 6,9239(6)$, $b = 21,4477(19)$, $c = 8,6374(8)$ Å, $\beta = 101,667(2)^\circ$, $V = 1256,17(19)$ Å³. Структура состоит из FeO_6 -октаэдров и Fe_4O_{18} -блоков (из FeO_6 -октаэдров, сочлененных ребрами). MoO_4 -тетраэдры в структуре изолированы и соединяются общими кислородными вершинами с FeO_6 -октаэдрами (рис. 1).

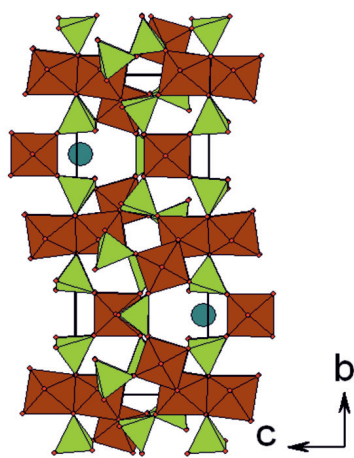


Рис. 1. Кристаллическая структура $\text{CsFe}_5(\text{MoO}_4)_7$ вдоль оси a

Тройной молибдат $\text{Cs}_5\text{FeZr}(\text{MoO}_4)_6$ изоструктурен $\text{Rb}_5\text{FeHf}(\text{MoO}_4)_6$ [7]. $\text{Cs}_5\text{FeZr}(\text{MoO}_4)_6$ кристаллизуется в гексагональной сингонии (пр. гр. $P6_3$, $Z = 2$) с параметрами элементарной ячейки: $a = 10,433(4)$, $c = 15,342(9)$ Å, $V = 1446,2(2)$ Å³.

Молибдат $\text{CsFeZr}_{0.5}(\text{MoO}_4)_3$ был получен в виде порошка и монокристалла, полученного раствор-расплавной кристаллизацией [3]. Соединение $\text{CsFeZr}_{0.5}(\text{MoO}_4)_3$ кри-

сталлизуется в тригональной сингонии (пр. гр. $R\bar{3}$, $Z = 6$) с параметрами элементарной ячейки: $a = 13,0876(2)$, $c = 12,1619(3)$ Å, $V = 1804,06(6)$ Å³. Параметры структуры и межатомные расстояния $\text{CsFeTi}_{0.5}(\text{MoO}_4)_3$ решены с использованием модели структуры $\text{CsFeZr}_{0.5}(\text{MoO}_4)_3$ (тригональная сингония, пр. гр. $R\bar{3}$, $Z = 6$) с параметрами элементарной ячейки: $a = 12,9088(1)$, $c = 12,0614(1)$ [7]. Кристаллическая структура данных тройных молибдатов представляет собой трехмерный смешанный каркас, образованный тремя типами полиэдров: Мо-тетраэдрами, соединяющимися с тетраэдрами через общие О-вершины октаэдрами (Fe,Zr(Ti)O_6 и CsO_{12} -полиэдрами).

Получены и проанализированы колебательные спектры исследуемых соединений и проведено отнесение полос. Колебательные спектры молибдатов в основном содержат линии колебаний группы MoO_4 . Теоретико-групповой анализ в приближении фактор-группы молибдатов $\text{CsFeZr}_{0.5}(\text{MoO}_4)_3$ с пр. гр. $R\bar{3}$ (C_{3i}):

$$\Gamma_{\text{внутр}} = 9A_g(\text{КР}) + 9E_g(\text{КР}) + 9A_u(\text{ИК}) + 9E_u(\text{ИК})$$

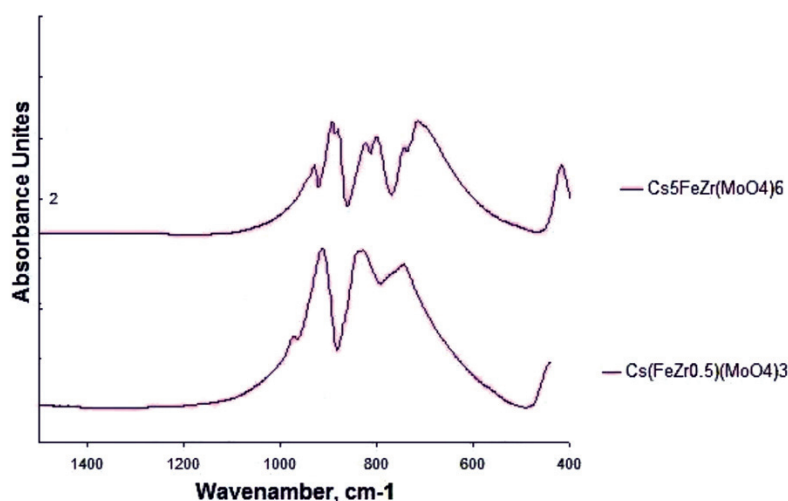
предполагает появление 18 частот, активных в ИК, и 18 частот, активных в КР-спектрах; для соединения $\text{Cs}_5\text{FeZr}(\text{MoO}_4)_6$ с пр. гр. $P6_3$ (C_6):

$$\Gamma_{\text{внутр}} = 3A(\text{ИК,КР}) + 6E_1(\text{ИК,КР}) + 6E_2(\text{КР})$$

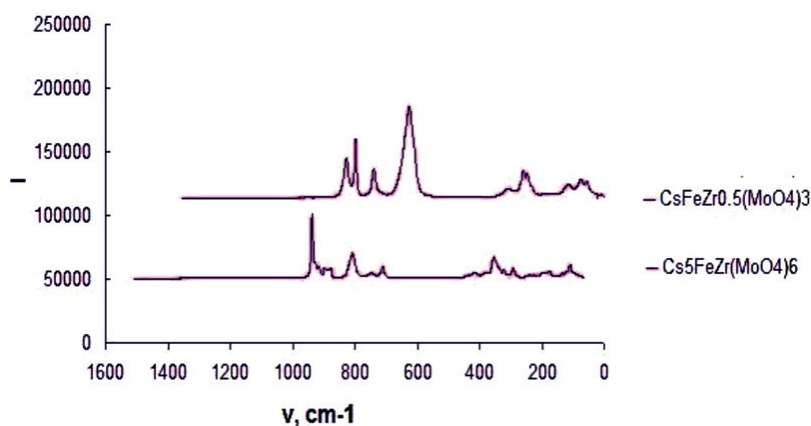
предполагает появление 9 частот, активных в ИК, и 15 частот, активных в КР-спектрах [5]. В экспериментальных спектрах соединений с пр. гр. $R\bar{3}$ наблюдаются 6–8 ИК полос и 8–11 линий КР-спектра в области внутренних колебаний MoO_4 -тетраэдра. Для тройных молибдатов с пр. гр. $P6_3$: 8–10 ИК полос и 15–16 линий КР (рис. 2 а, б).

К внутренним колебаниям MoO_4 -групп отнесены полосы с частотами 970 – 700 см⁻¹ (валентные) и 464 – 401 см⁻¹ (деформационные колебания). Несовпадение числа экспериментально зарегистрированных линий КР-спектра и полос ИК-поглощения предсказанному теоретически свидетельствует о низкой симметрии положений атомов Мо.

ИК-спектры $\text{CsFeTi}_{0.5}(\text{MoO}_4)_3$ содержат полосы поглощения при 970 – 700 см⁻¹ валентных колебаний Мо-О в MoO_4 -тетраэдре. Для свободного MoO_4 -иона (точная группа симметрии T_d) частоты валентных колебаний следующие: $\nu_1 = 936$ и $\nu_3 = 895$ см⁻¹. Таким образом, полосы поглощения $\text{CsFeTi}_{0.5}(\text{MoO}_4)_3$ соответствуют $\nu_1 = 960$, 892 см⁻¹, $\nu_3 = 807$, 702 см⁻¹ и $\nu_4 = 425$ см⁻¹ (рис. 3).



a



б

Рис. 2. ИК- (а) и КР-спектры (б) тройных молибдатов $Cs_5FeZr(MoO_4)_6$ и $CsFeZr_{0.5}(MoO_4)_3$

Методом дифференциально-сканирующей калориметрии определены температуры фазовых переходов и плавления. ДСК-кривые соединений $CsFeTi_{0.5}(MoO_4)_3$ показывают эндотермические эффекты при температурах выше $450^\circ C$, относящиеся к фазовым переходам I рода вследствие температурного гистерезиса (рис. 4). Установлены температура плавления тройного молибдата $CsFeTi_{0.5}(MoO_4)_3$ при $745^\circ C$, фазовый переход при $545^\circ C$. На температурной кривой охлаждения наблюдается экзо-пик при $524^\circ C$, что характеризует ги-

стерезис температурной кривой и, следовательно, фазовый переход первого рода.

Методом сканирующей электронной микроскопии изучена микроморфология и определены спектроскопические характеристики $CsFeTi_{0.5}(MoO_4)_3$. Методом электронной микроскопии подтвержден элементный состав тройного молибдата $CsFeTi_{0.5}(MoO_4)_3$, размер частиц варьирует в диапазоне 10–100 нм (рис. 5). Элементный состав тройного молибдата $CsFeTi_{0.5}(MoO_4)_3$ по данным электронной микроскопии представлен в таблице.

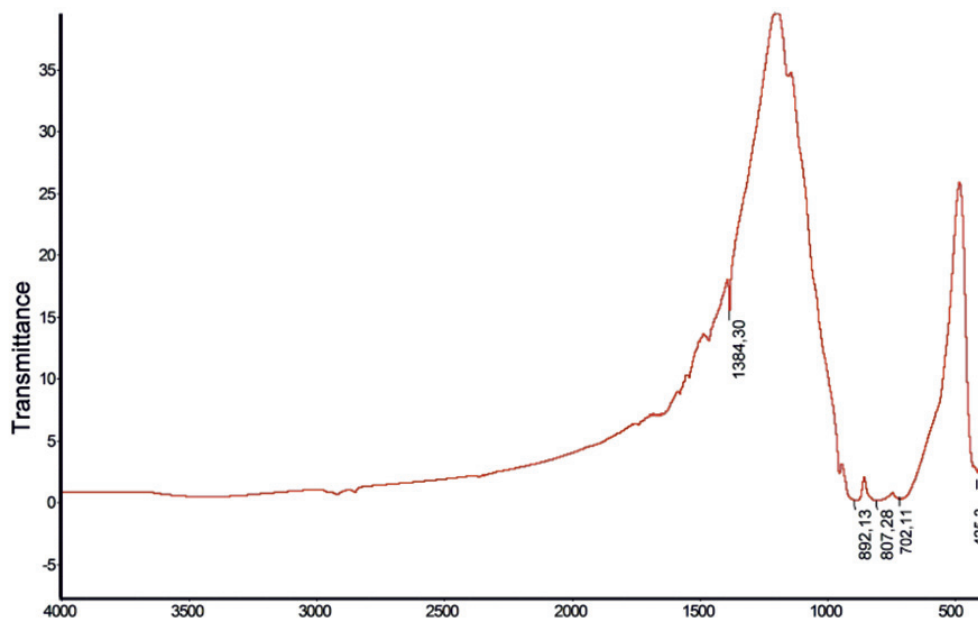


Рис. 3. ИК-спектры тройного молибдата $\text{CsFeTi}_{0.5}(\text{MoO}_4)_3$

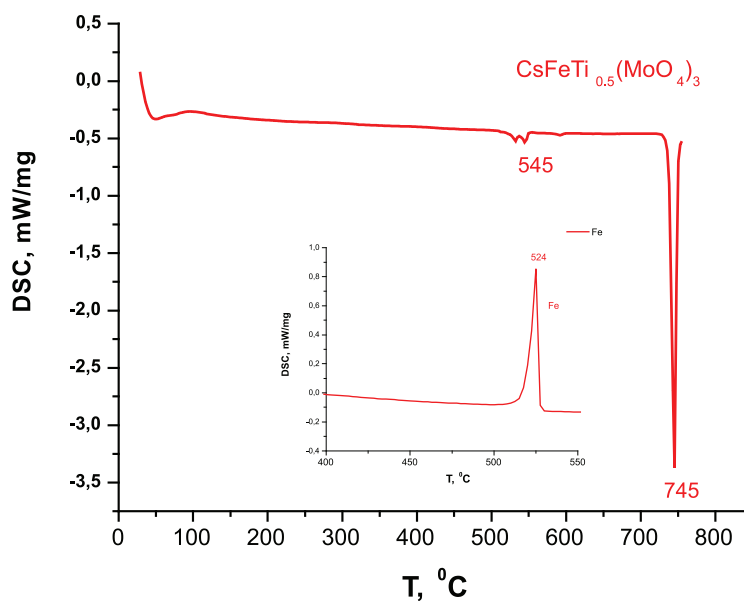


Рис. 4. ДСК-кривые $\text{CsFeTi}_{0.5}(\text{MoO}_4)_3$ в режиме нагрева и охлаждения

В работе изучены магнитные свойства соединения $\text{CsFeZr}_{0.5}(\text{MoO}_4)_3$. Молибдат $\text{CsFeZr}_{0.5}(\text{MoO}_4)_3$ парамагнитен до 5 К (рис. 6 а, б) с парамагнитным моментом $6,05 (1) \mu_B$, который является типичным для высокоспинового иона Fe^{3+} ($5,9 \mu_B$). Ниже этой температуры наблюдается отклонение от

закона Кюри – Вейсса. Зависимость магнитной восприимчивости при 2 К показывает гистерезис с коэрцитивностью 0,02Т (рис. 6 б). Исследованный молибдат является парамагнитным при комнатной температуре и проявляет при низких температурах ферро- (или ферри-) магнитные взаимодействия.

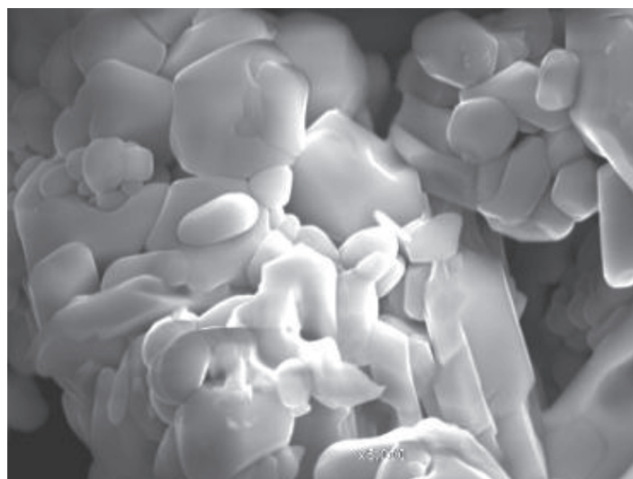
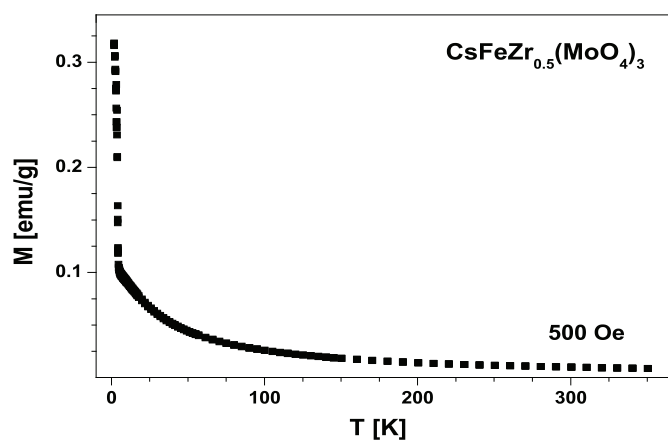
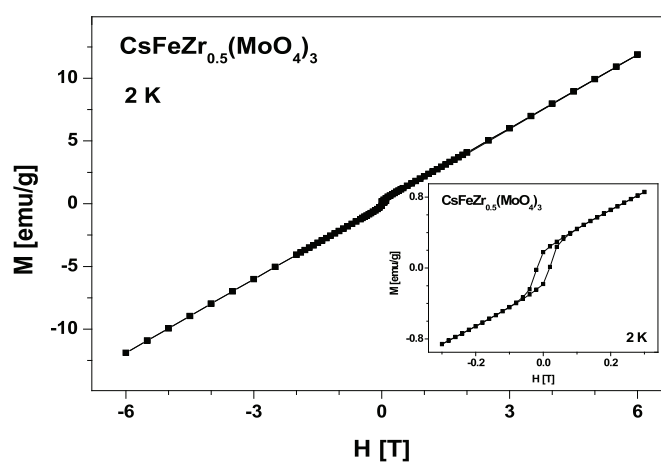


Рис. 5. Микроморфология тройного молибдата $\text{CsFeTi}_{0.5}(\text{MoO}_4)_3$ в приближении 1500 мкм



a



б

Рис. 6. Зависимость магнитной восприимчивости $\text{CsFeZr}_{0.5}(\text{MoO}_4)_3$ от температуры (а) и напряженности поля (б)

Элементный состав тройного молибдата
 $\text{CsFeTi}_{0,5}(\text{MoO}_4)_3$

Спектр	O	Ti	Fe	Mo	Cs	ИТОГ
Суммарный спектр	32,29	2,91	7,18	38,47	18,56	100,00
Спектр 2	36,79	2,77	6,21	38,06	16,17	100,00
Спектр 3	33,28	3,06	7,49	37,99	18,19	100,00
Спектр 4	35,25	2,84	6,79	38,34	16,78	100,00
Среднее	34,55	2,89	6,92	38,21	17,42	100,00
Станд. отклонение	1,82	0,12	0,55	0,23	1,14	
Максимальная	36,79	3,06	7,49	38,47	18,56	
Минимальная	32,89	2,77	6,21	37,99	16,17	

Заключение

Установлено образование двойных и тройных молибдатов железосодержащих молибдатов цезиевого ряда – составов $\text{Cs}_2\text{Fe}_2(\text{MoO}_4)_3$, $\text{Cs}_4\text{Fe}(\text{MoO}_4)_3$, $\text{CsFe}_5(\text{MoO}_4)_7$, $\text{Cs}_5\text{FeZr}(\text{MoO}_4)_6$, $\text{CsFeZr}_{0,5}(\text{MoO}_4)_3$ и $\text{CsFeTi}_{0,5}(\text{MoO}_4)_3$. Определены кристаллографические, термические и спектроскопические характеристики полученных соединений. Определены магнитные свойства

соединения $\text{CsFeZr}_{0,5}(\text{MoO}_4)_3$ и установлено, что исследованный молибдат является парамагнитным при комнатной температуре и проявляет при низких температурах (ниже 10 К) ферро- (или ферри-) магнитные взаимодействия.

Список литературы

1. Базаров Б.Г., Намсараева Т.В., Клевцова Р.Ф., Аншиц А.Г., Верещагина Т.А., Глинская Л.А., Федоров К.Н., Базарова Ж.Г. // Кристаллография. – 2010. – Т. 55, № 4. – С. 634–636.
2. Доржиева С.Г., Базаров Б.Г., Буш А.А., Базарова Ж.Г. // Успехи современного естествознания. – 2016. – № 5–0. – С. 14–19.
3. Базаров Б.Г., Намсараева Т.В., Клевцова Р.Ф., Бамбуров В.Г., Глинская Л.А., Тушинова Ю.Л., Базарова Ж.Г., Федоров К.Н. // Доклады академии наук. – 2010. – Т. 431, № 1. – С. 58–62.
4. Базаров Б.Г., Клевцова Р.Ф., Цырендоржиева А.Д. и др. // Журн. структурн. химии. – 2004. – Т. 45, № 6. – С. 1038–1043.
5. Фомичев В.В., Ефремов В.А., Балданова Д.Д., Кондратов О.И., Петров К.И. // Журн. неорган. химии. – 1983. – Т. 28, № 5. – С. 1184–1190.
6. Sarapulova A.E., Bazarov B., Namsaraeva T., Dorzhieva S., Bazarova J., Grossman V., Bush A.A., Antonyshyn I., Schmidt M., Bell A.M.T., Knapp M., Ehrenberg H., Eckert J., Mikhailova D. // J. of Phys. Chem. C. – 2014. – Vol. 118. – Issue: 4. – P. 1763–1773.
7. Dorzhieva S.G., Bazarov B.G., Bush A.A., Kamentsev K.E., Bazarova J.G. // Sol. St. Commun. – 2015. – Vol. 217. – P. 25–27.
8. Namsaraeva T., Bazarov B., Mikhailova D., Sarapulova A., Ehrenberg H., Kuratieva N., Senyshyn A. // European Journal of Inorganic Chemistry. – 2011. – № 18. – P. 2832–2841.

УДК 547.1

ДЕСТРУКЦИЯ ПОЛИМЕРНЫХ ПЛЁНОК, МОДИФИЦИРОВАННЫХ ОКСИБИОРАЗЛАГАЕМОЙ ДОБАВКОЙ D₂W

Ершова О.В., Мишурина О.А.

ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова»,
Магнитогорск, e-mail: ovyr_58@mail.ru

В статье приводятся результаты длительных испытаний деструкции полимерных плёнок, модифицированных оксибиоразлагаемой добавкой. Авторами проведены исследования изменения физико-механических свойств биоразлагаемых полимерных плёнок с добавкой d₂w с течением времени при их выдержке в условиях повышенной влажности и температуры, а также в почве. Продолжительность исследования составила двадцать пять месяцев. Испытаниям были подвергнуты образцы шести биоразлагаемых плёнок различных производителей, которые были помещены в климатическую камеру (влажность 90%, температура 40 °C) и в почву при комнатной температуре. Проводились испытания материалов на растяжение и на стойкость к проколу. По результатам были построены зависимости изменения прочностных характеристик плёнок во времени. С целью исследования изменения тепловых характеристик полимеров в процессе разложения был проведён синхронный термический анализ образцов. Установлено, что за период проведения исследований полностью разрушились три образца из шести исследуемых. Прочностные характеристики остальных образцов уменьшились, кроме образца, срок разложения которого не указан. Сделан вывод о том, что полимерные плёнки, содержащие добавку d₂w, находящиеся в естественных условиях на поверхности почвы, самопроизвольно разрушаются согласно рецептуре, в среднем в течение трех лет. При этом образуются углекислый газ, вода, гумус.

Ключевые слова: полимеры, отходы, биоразлагаемые полимеры, деструкция, добавка d₂w, полиэтилен низкой плотности, сила прокола, прочность при разрыве

DESTRUCTION OF THE POLYMERIC FILMS MODIFIED BY OXYBIODEGRADABLE D₂W ADDITIVE

Ershova O.V., Mishurina O.A.

Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, e-mail: ovyr_58@mail.ru

Results of the long tests of destruction of the polymer films modified by the oxybiodegradable component are given in article. Authors conducted researches of change of physicochemical properties of biodegradable polymer films with the component d₂w eventually in case of their exposure in the conditions of the increased humidity and temperature, and also in the soil. Duration of a research made twenty five months. Samples of six biodegradable films of different vendors which were placed in the climatic cell (humidity of 90%, temperature of 40 °C) and in the soil in case of indoor temperature were put on trials. Tests of materials on stretching and on resistance to a puncture were carried out. Dependences of change of strengthening characteristics of films in time were by results constructed. With a research objective of change of thermal characteristics of polymers in the course of expansion the synchronous thermal analysis of samples was carried out. It is set that during researches three samples from six researched completely failed. Strengthening characteristics of remaining samples decreased, except a sample which period of expansion isn't specified. The conclusion is drawn that the polymer films containing the component d₂w, being under natural conditions on the surface of the soil spontaneously fail according to a compounding, on average within three years. At the same time carbon dioxide, water, a humus are formed.

Keywords: polymers, waste, high-pressure polyethylene, degradation, d₂w additive, polyethylene of low density, puncture strength, tensile strength

В настоящее время производится примерно 150 видов различных пластиков, из которых в отходы попадает до 75 % материалов от общего объема произведенных и использованных полимеров. В связи с этим проблема переработки отходов полимерных материалов обретает актуальное значение не только с позиций охраны окружающей среды, но и с экономических позиций [6, 7].

В общей массе полимерных отходов основной удельный вес занимает полиэтиленотерефталат – 25 %, затем полиэтилен высокой плотности и низкой плотности (ПЭВП, ПЭНП) – по 15 %, полипропилен

(ПП) – 13 %, полистирол (ПС) – 6 %, поливинилхлорид (ПВХ) – 5 % и прочие полимеры, использование которых пока ограничено – 21 % [8].

Значительная доля полимеров имеют очень короткий срок эксплуатации. Рост объемов производства полимеров приводит, соответственно, к росту их доли в отходах. По данным Союза европейских производителей пластмасс за последние 15 лет доля полимерных материалов в отходах выросла с 2 до 8–11 %.

Полимерная упаковка выходит из оборота почти сразу же после того, как товар попал в руки покупателя. Отходы полиме-

ров, в том числе и упаковочных материалов, подвергают либо захоронению в земле, либо утилизации, которая осуществляется по одному из трёх направлений: сжигание, пиролиз, рециклинг [7].

Одним из наиболее эффективных способов решения проблемы полимерного мусора является получение новых композиционных материалов на основе вторичных полимеров [4, 9] и производство биоразлагаемых полимеров, способных разрушаться в природе с образованием безвредных веществ [3].

Процессы разложения отходов полимерных материалов в природных условиях являются малоизученными из-за их новизны, сложности и отсутствия быстрой экономической выгоды. Дело в том, что

известные на рынке типы полимерных материалов с оксобиоразлагаемыми добавками разлагаются по-разному не только по скорости, но и по механизму деструкции.

Полимеры, изготовленные с применением добавки d_2w (дитиокарбонат железа или никеля), относят к классу оксобиоразлагаемых, так как их разрушение происходит в два этапа: окисление и биоразложение. Сначала происходит процесс окисления, вызванный воздействием света, тепла и механических нагрузок; затем – процесс биоразложения полимера микроорганизмами. При этом действие добавки запускается не сразу после производства изделия, а через некоторое время, поскольку включение в рецептуру определенных стабилизаторов препятствует этому.

Таблица 1

Объекты исследования

Номер образца	Название пленки	Производитель	Состав	Срок разложения, заявленный производителем
1	Биопакеты для продуктов, 27×37 см	ООО «ПК УФА ПАК», Башкортостан	Полиэтилен низкого давления с добавлением оксодобавки d ₂ w	1,5–2 года под действием кислорода, воды и света
2	Биопакеты для мусора, 30×30 см			
3	Пакеты для мусора, особо прочные	ООО «Грифон», г. Новосибирск		3 года
4	Пакеты для замораживания биоразлагаемые			не указан
5	Пакеты для продуктов	г. Серпухов		8–18 месяцев
6	Биопакеты с затяжками, 51×53 см	ООО «КПД», Украина, Днепропетровский район, пгт. Юбилейный		3 года

Таблица 2

Методики эксперимента

Определяемая характеристика	Нормативный документ	Название методики
Угол смачиваемости	ГОСТ Р 54105-2010 Пленки и листы полимерные. Метод определения смачивания	Метод определения смачиваемости
Стойкость на растяжение	ГОСТ 14236-81 Плётки полимерные. Метод испытания на растяжение	Метод определения стойкости на растяжение
Тепловые характеристики	ISO 11357 Пластмассы. Дифференциальная сканирующая калориметрия	—
Стойкость к проколу	ГОСТ 12.4.118-82 Плётчатые полимерные материалы и искусственные кожи для средств защиты рук	Определение стойкости полимерной плёнки к проколу

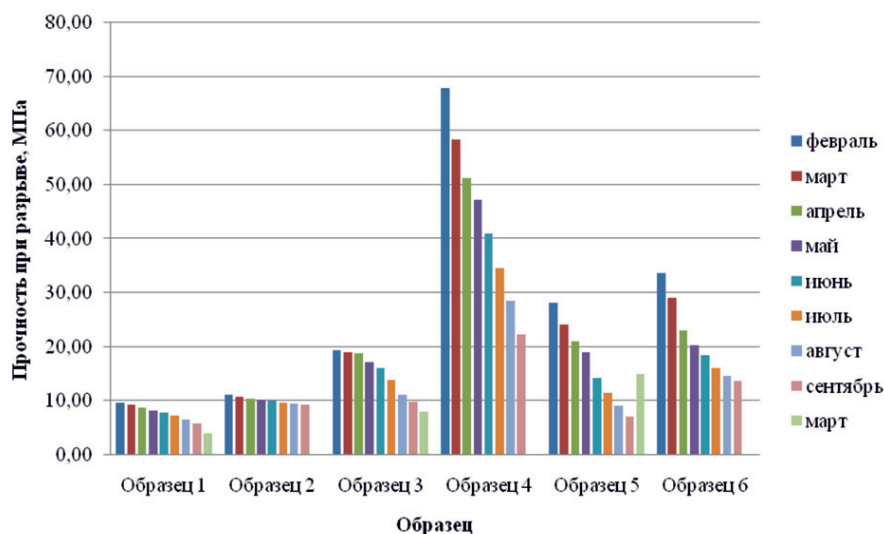


Рис. 1. Прочность при разрыве (продольное направление), Н

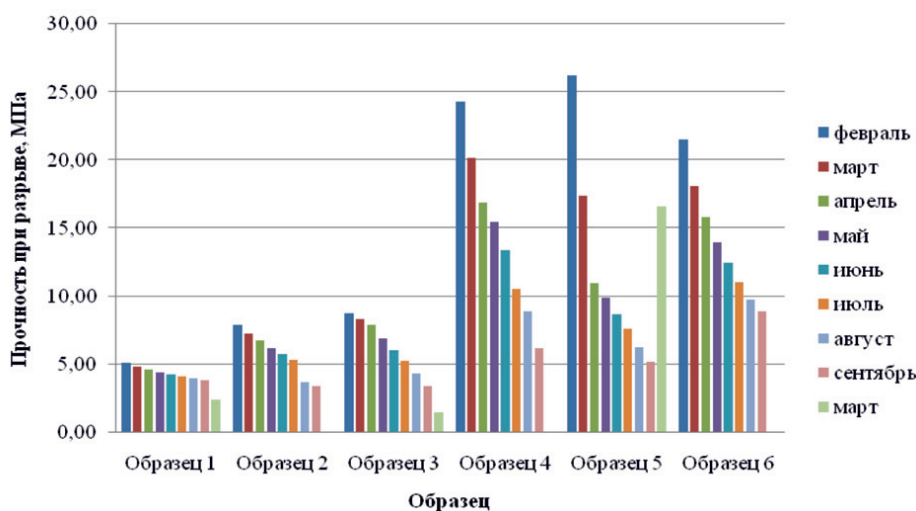


Рис. 2. Прочность при разрыве (поперечное направление), Н

После заданного периода стабильности, обеспечиваемого антиоксидантами, входящими в состав d_2w , добавка вызывает распад углерод-углеродных связей в молекулярной цепи, что приводит к расщеплению цепи и её разрыву. Полиолефины, которые подверглись окислительной деградации, представляют собой молекулы с уменьшенной молекулярной массой и гидрофильными поверхностями. Уменьшение молекулярной массы полиолефина от 300 000 до 40 000 вместе с проникновением кислорода, который содержит функциональные группы (радикалы), ведет к биоразложению [1–3].

Сокращение размеров молекул позволяет кислороду связываться с углеродом с образованием CO_2 . Пластмассовые изделия становятся хрупкими и разрушаются на мелкие хлопья. Процесс окисления может идти быстрее в присутствии света, тепла и механических воздействий.

К концу этапа материал фактически становится смачиваемым водой, и микроорганизмы могут получить доступ к углероду и водороду, это уже не пластик, а материал, способный к биоразложению, в результате которого получаем CO_2 , воду и гумус [1]. Управление скоростью разложения полиолефинов осуществляется с помощью анти-

оксидантов и прооксидантов. **Антиоксиданты** определяют индукционный период до распада макромолекул в процессе перекисления (induction period to peroxidation), **прооксиданты** определяют скорость биоразложения путем абиотического окисления. *Скорость разложения полиолефинов в этом случае аналогична скорости разложения природных материалов, таких как опилки или солома.*

Кроме того, исследования показали, что почвы, на которых ежегодно «перегнивает» такая пленка, являются более плодородными, что увеличивает урожай на 15–20 %, т.к. результатом работы микроорганизмов, кроме CO_2 и воды, является образование гумуса.

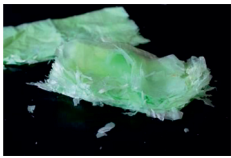
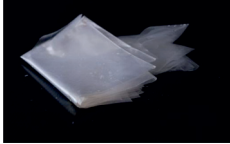
Сфера применения добавки d_2w обширна: это может быть и упаковка из термоусадочной пленки, любые другие изделия, которым необходимо придать свойство «быстро исчезнуть».

На базе кафедры химии Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова в период с февраля 2014 г. по март 2016 г. проводились **исследования с целью** изучения влияния добавки d_2w на деструкцию полиэтиленовых упаковочных пленок.

Объекты исследования. Для достижения цели были отобраны образцы шести оксидиоразлагаемых плёнок из полиэтилена различных производителей, которые доступны в Уральском регионе (табл. 1).

Таблица 3

Деструкция полимерных пленок

Исходный образец (февраль 2014 г.)	Производитель	Заявленный срок разложения	Конечный образец (март 2016 г.)
	биоупаковки для продуктов, 27×37 см: производитель – ООО «ПК УФА ПАК», Башкортостан	1,5–2 года	
	биоупаковки для мусора, 30×30 см: производитель – ООО «ПК УФА ПАК», Башкортостан	1,5–2 года	
	упаковки для мусора, особо прочные: произво- дитель – ООО «Грифон», Новосибирск	3 года	
	упаковки для продуктов: произведены в г. Серпухов	8–18 месяцев	
	упаковки для замораживания биоразлагаемые: произво- дитель – ООО «Грифон», Новосибирск	Не указан	
	биоупаковки с затяжками, 51×53 см: производитель – ООО «КПД», Украина, Днепропетровский район, пгт. Юбилейный	3 года	

Материалы и методы исследования

Все образцы были помещены в климатическую камеру (влажность 90 %, температура 40 °С) и в почву при комнатной температуре. Было выяснено влияние факторов окружающей среды – влияние света, температуры, влажности на деградацию полимеров с оксибиоразлагаемой добавкой.

С целью исследования изменения тепловых характеристик полимеров в процессе разложения был проведён синхронный термический анализ образца № 6 (как образца с существенным снижением прочностных свойств) в исходном состоянии и после пребывания в течение 8 месяцев в условиях повышенной влажности и температуры и в почве [5]. Результаты представлены в ранее опубликованных работах авторов [2].

О деградации полимерных плёнок судили по изменению прочностных характеристик, изменению молекулярной массы, смачиваемости, которые определялись по стандартным методикам (табл. 2).

Результаты исследования и их обсуждение

Испытания полимерных материалов из полиэтилена низкой плотности с оксибиоразлагаемой добавкой на растяжение и на стойкость к проколу проводились в период с февраля 2014 г. по март 2016 г. В работах [2, 3] представлены результаты: исходные механические характеристики (февраль 2014 г.); промежуточные результаты (апрель 2015 г.); итоговые результаты (март 2016 г.).

С течением времени под действием условий внешней среды (температуры, света, влажности) деструктивные изменения произошли во всех испытываемых образцах. К марту 2016 года полностью разрушились образцы 2, 4, 6. Прочностные характеристики остальных образцов уменьшились, кроме образца 5, срок разложения которого не указан (рис. 1, 2).

Деструкция образцов, находившихся в климатической камере, на свету и в присутствии влаги, идет быстрее, чем деструкция образцов, находившихся в почве. Образцы, помещенные в почву, без света и влаги, практически не разрушились. Итоговые результаты эксперимента представлены в табл. 3.

Заключение

Анализ полученных результатов позволил сделать вывод о том, что течением времени под действием условий внешней среды (температуры, света, влажности) деструктивные изменения произошли во

всех испытываемых образцах. За период проведения исследований (25 месяцев) полностью разрушились три образца из шести исследуемых, прочностные характеристики остальных образцов уменьшились, кроме образца, срок разложения которого не указан (образец № 5).

Необходимо отметить, что деструкция образцов, находившихся в климатической камере, на свету и в присутствии влаги, идет быстрее, чем деструкция образцов, находившихся в почве. Образцы, помещенные в почву, без света и влаги, практически не разрушились.

Таким образом, полимерные термоусадочные плёнки, содержащие добавку d_2w , находящиеся в естественных условиях на поверхности почвы, самопроизвольно разрушаются согласно рецептуре, в среднем в течение трех лет. При этом образуются углекислый газ, вода, гумус.

Список литературы

1. Бахаева А.Н., Ивановский С.К. Оксобиоразлагаемые полимеры как материал для создания современной упаковки // Молодой учёный. – 2015. – № 5 (85). – С. 122–124.
2. Ершова О.В., Бодьян Л.А., Пономарев А.П., Бахаева А.Н. Влияние химической деструкции на изменение физико-механических свойств упаковочных полимерных плёнок с добавкой d_2w // Современные проблемы науки и образования. – 2015. – № 1–1; URL: <http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=18362>.
3. Ершова О.В., Пономарев А.П., Бахаева А.Н. Влияние факторов окружающей среды на механические свойства полиэтилена низкого давления с оксо-биоразлагаемой добавкой d_2w // Молодой учёный. – 2014. – № 20. – С. 125–128.
4. Ершова О.В., Чупрова Л.В., Муллина Э.Р., Мишурина О.В. Исследование зависимости свойств древесно-полимерных композитов от химического состава матрицы // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – № 2.; URL: <http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=12363>.
5. Идентификация полимерных упаковочных материалов с помощью синхронного термического анализа / Е.В. Тарасюк, А.П. Пономарев, ГОУ ВПО «Магнитогорск. гос. техн. ун-т». – Магнитогорск, 2010. – 13 с.
6. Пластиковая упаковка не должна жить вечно: о добавках для самопроизвольного разрушения полимеров [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.article.unipack.ru>.
7. Физико-химические основы переработки полимеров / Н.Л. Медяник, В.В. Ананьев, О.И. Ершова, А.И. Суворова. – Магнитогорск, 2005. – 110 с.
8. Чупрова Л.В., Муллина Э.Р. Технологические особенности производства упаковки из вторичного полиэтиленотерфталата (ПЭТ) // Молодой учёный. – 2013. – № 5. – С. 123–125.
9. Чупрова Л.В., Муллина Э.Р., Мишурина О.В., Ершова О.В. Исследование возможности получения композиционных материалов на основе вторичных полимеров // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – № 4.; URL: <http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=14200>.

УДК 543.423.1

ОПТИКО-ЭМИССИОННАЯ СПЕКТРОМЕТРИЯ С ИНДУКТИВНО СВЯЗАННОЙ ПЛАЗМОЙ В АРХЕОЛОГИИ ДЛЯ АНАЛИЗА ДРЕВНИХ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ НА ОСНОВЕ МЕДИ**Колмыков Р.П., Созинов С.А.***Федеральный исследовательский центр угля и углехимии Сибирского отделения Российской академии наук, Кемерово, e-mail: kolmykoff.roman@yandex.ru*

В работе приведен литературный обзор современного состояния в исследовании химического состава изделий на основе меди, полученных в ходе археологических раскопок. В первой части работы обсуждается методический аспект, связанный с выбранным методом для элементного анализа исследуемых объектов оптико-эмиссионной спектроскопией с индуктивно связанной плазмой (ОЭС-ИСП). Во второй части работы приводятся примеры применения ОЭС-ИСП для определения элементного состава археологических находок в России и за рубежом. Причем география описанных исследований охватывает огромные пространства от французского Лувра до сибирского музея «Археология, этнография и экология Сибири». На основании данных элементного анализа можно определить принадлежность изделий к определенному рудному источнику, а также сделать выводы о технологии металлургического производства. Обзор является ярким примером междисциплинарного сотрудничества, когда для решения поставленных учеными-археологами задач привлекаются методы аналитической химии, физико-химические методы анализа, реализовать которые могут ученые-химики.

Ключевые слова: эмиссионная спектроскопия, индуктивно связанная плазма, ОЭС-ИСП, медь, бронза, археология

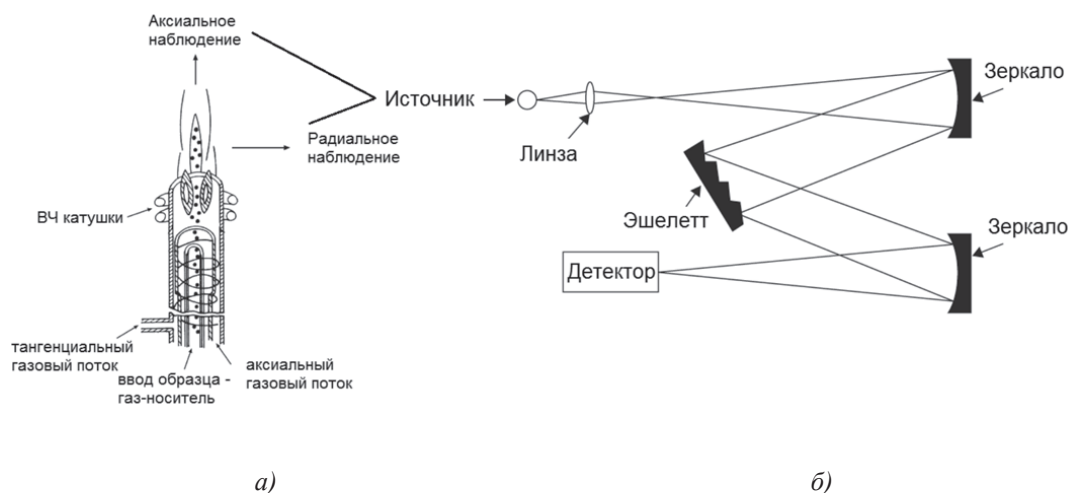
OPTICAL EMISSION SPECTROMETRY WITH INDUCTIVELY COUPLED PLASMA IN ARCHAEOLOGY FOR ANALYSIS OF ANCIENT METAL BASED ON COPPER**Kolmykov R.P., Sozinov S.A.***Federal State Budget Scientific Institution the Federal Research Center of Coal and Coal Chemistry of SB RAS, Kemerovo, e-mail: kolmykoff.roman@yandex.ru*

This paper is a literature review of the modern study of the chemical composition of copper-based products obtained by archaeological excavations. In the first part of the paper, the methodological aspect of optical emission spectrometry with inductively coupled plasma (OES-ICP, the chosen method for the elemental analysis of the investigation objects) is discussed. In the second part of the paper, the using examples are provided for ICP-OES determine of the elemental composition of archaeological finds in Russia and abroad. Moreover, the geography of the described investigations covers a huge area from the French Louvre Museum to the Siberian «Archaeology, Ethnography and Ecology of Siberia». Using the data of the elemental analysis the origin of finds can be determined to a specific source of the ore, as well as the conclusions about metallurgical production technology can be drawn. Overview is a prime example of interdisciplinary collaboration, when for solving the problems archaeologists use the methods of analytical chemistry, physical and chemical analysis techniques, which are realized by chemists.

Keywords: emission spectrometry, inductive coupled plasma, ICP-OES, copper, bronze, archaeology

Исторически сложилось, что одной из первейших задач аналитической химии в археологии было определение элементного состава металлических изделий для отнесения их к сырьевым источникам, соответственно, восстановления географии ремесла и торговли [13]. В таком случае на первый план выходит определение характерного состава рудного источника, а не искусственной лигатуры. Содержание таких характерных элементов может достигать нескольких процентов. Еще одной, не менее важной, целью археологии является установление технологического уровня исследуемого отрезка времени. В данном случае уже первостепенно определение искусственной лигатуры. Для эффективно-

го решения таких задач необходим метод прямого определения элементного состава, позволяющий проводить анализ в диапазоне концентраций от десятков процентов до следовых. Подавляющее большинство прикладных методов используют стандартное оборудование, которое хорошо описано в специальных изданиях, посвященных аналитической химии [8, 12, 16–18, 21, 31]. Авторы работы задались целью составления краткого и понятного для широкого круга читателей обзора применения одного из инструментальных методов аналитической химии, полностью удовлетворяющего обозначенным потребностям археологии, оптико-эмиссионной спектроскопии с индуктивно связанной плазмой (ОЭС-ИСП).



а) Схема кварцевой горелки, используемой в спектроскопии с индуктивно связанной плазмой [25];
б) Схема оптической части эмиссионного спектрометра с индуктивно связанной плазмой [16]

Методический аспект

ОЭС-ИСП – экспрессный и универсальный метод для широких диапазонов концентраций определяемых элементов. Для некоторых элементов пределы обнаружения метода доходят до 10^{-7} вес. %. Более того, такие малые концентрации примесных элементов возможно определить с концентрациями основных компонентов одновременно.

В настоящее время существует целый ряд таких спектрометров: PlasmaQuant PQ9000 (Аналитик Йена, Германия), iCAP 7000 series (Термо Сайентифик, США), ICPE-9000 (Шимадзу, Япония), Optima 7300 (Перкин Элмер, США), ICP 720 (Вариан Медикал Системс, Канада), Agilent 5100 (Аджилент, США) и др.

Источником излучения для получения оптических спектров в таких приборах служит высокотемпературная плазма, температура которой достигает $8000\text{--}10000^\circ\text{C}$. Очевидно, что при таких высоких температурах любой нормальный материал будет быстро плавиться и испаряться, но с изобретением горелки со специальной конструкцией эта проблема была решена.

Типичная плазменная горелка состоит из трех концентрических кварцевых трубок, с медными катушками, обмотанными вокруг верхней части горелки снаружи (рисунок а). Газ аргон, образующий плазму, входит в горелку через центральную трубу. Гораздо больший объем аргона подается между внешней и внутренней трубкой, а также снаружи корпуса горелки для

эффективного охлаждения рабочего объема эмиссионного блока спектрометра. Плазма в горелке поднимается от кварцевой трубки тороидальным потоком охлаждающего газа. Нагревание поддерживается высокочастотным переменным током, проходящим через медные катушки вокруг факела. Под этим воздействием заряженные частицы в плазме совершают круговые движения по линиям магнитной индукции. Температура трения, вызванного этим движением в газе, составляет несколько тысяч градусов, что обеспечивает достаточную ионизацию плазмы.

Исследуемый образец впрыскивается в горячую плазму в виде раствора, переносимого потоком аргона, как правило, при помощи перистальтического насоса. При высоких температурах факела все соединения, как правило, полностью диссоциируют и переходят в возбужденное состояние, так что они сильно излучают характерные линии, которые затем разлагаются специальными оптическими диспергаторами (например, эшелетт). Регистрация спектров в современных спектрометрах происходит при помощи специальных полупроводниковых детекторов (рисунок б).

Таким образом, реализуется возможность одновременного определения 20 и более элементов в одном образце при одновременном измерении.

В настоящее время, благодаря своей конструкции, современные ИСП-спектрометры позволяют наблюдать аналитические сигналы определяемых элементов в широких оптических диапазонах. Например, iCAP 6500

предоставляет возможность работы в диапазоне длин волн от 166 до 847 нм. Ультрафиолетовый диапазон 166–375 нм имеет очень важное значение для количественного определения таких важных элементов, как фосфор и сера.

Возможность аксиального наблюдения плазмы, реализуемая в большинстве современных исследовательских ИСП-спектрометров, позволяет существенно снизить пределы обнаружений определяемых элементов. Таким образом, для определяемых в ходе анализа сплавов на медной основе железа, кобальта, никеля, золота, олова, сурьмы, мышьяка, кремния, фосфора пределы обнаружения достигают одной миллиардной весовой доли в растворе; для хрома, марганца, кадмия, серебра, цинка и алюминия – одной десятой миллиардной доли соответственно.

Залогом успешного аналитического определения элементного анализа является правильная пробоподготовка (полное вскрытие пробы). Существует несколько методов кислотного растворения металлических сплавов, базирующихся на использовании раствора царской водки (смеси соляной и азотной кислот), соляной или азотной кислоты по отдельности. Взгляды на проведение кислотного растворения у исследователей различны. Очевидно что, при растворении в соляной кислоте или в царской водке существует риск неполного перехода серебра в раствор. Однако исследователи в работе [13] показали, что при отклонении от традиционного соотношения азотной и соляной кислот в царской водке от 1:3 до 3:5 соответственно можно получить стабильный аналитический сигнал, удовлетворительный для определения содержания серебра в растворе. Также для увеличения растворимости определяемых компонентов возможно добавление комплексообразователей в раствор пробы. В работах [6, 7] в качестве кислотного растворителя использовался раствор азотной кислоты, удовлетворяющий определению небольших концентраций серебра и золота на уровне сотых-тысячных весовых долей процента в исследуемом материале. Были получены удовлетворительные результаты.

Существенных матричных эффектов при работе с растворами проб в диапазоне концентрации меди от 20 до 200 мг/л не наблюдали ни в работе [13], ни в работах [6, 7].

Стабильность градуировочных характеристик определяет точность проведения количественного анализа. Для того чтобы уве-

личить краткосрочную точность, которая существенно зависит от самого исследователя образца, используют введение в раствор анализируемой пробы внутренний стандарт, как правило, это ионы скандия (индия), очень редко встречающихся элементов в земной коре. Долгосрочная прецизионность, влияние на которую оказывает инструментальный дрейф, проверяется при помощи стандартного раствора с известными концентрациями определяемых элементов. В обычной аналитической практике, если дрейф определяемого аналитического сигнала превышает 5%, анализ останавливается и выполняется новая калибровка. Однако при использовании современного оборудования такое событие в лаборатории настоящая редкость.

При приготовлении стандартных образцов для увеличения качества анализа учитывается приблизительное соотношение определяемых компонентов в исследуемых образцах. Таким образом, из государственных стандартных образцов (ГСО) и аттестованных мультиэлементных смесей (МЭС) готовятся растворы для калибровки спектрометра приблизительно схожие по составу с аналитическими пробами. В экспериментах используется особо чистая вода, прошедшая многоступенчатую систему очистки, и реактивы аналитической чистоты (например, марки «ОСЧ» для стран СНГ, A.C.S. для США).

Практический аспект – применение в археологии

Описанные преимущества метода сделали его применение в археологии очевидным, что подтверждает обзор мировой и отечественной периодической литературы. Например, в работе [19] изучался химический состав древних монет. В работе [20] проводится исследование медных и бронзовых изделий широкого диапазона времени от раннего бронзового века до средних бронзовых веков побережья Йемена и Эфиопии. Объекты исследования выполнены из чистой меди, мышьяковой и оловянной бронзы. Исследование проведено с использованием различных физико-химических методов, таких как сканирующая электронная микроскопия (СЭМ), энергодисперсионный анализ (ЭДС), ОЭС ИСП.

Работа [22] посвящена обзору по исследованию римских бронзовых артефактов в том числе и методом оптико-эмиссионной спектроскопии. В работах [13, 20, 24] также исследуются различные историче-

ские артефакты, изготовленные из сплавов на медной основе.

В работе [24] исследовался элементный состав (Cu, Pb, Sn, Fe, Ni, Ag, Sb, As, Cr, Co, Au, Mn, Zn, Mo, Bi, Cd, V) коллекции монет, изготовленных в провинциях Римской Империи. В результате проведенных исследований монеты были разделены на 2 группы по материалу, из которого они изготовлены: чистая оловянная бронза (87 вес. % меди, 10 вес. % олова, 0,2 вес. % свинца) и свинцово-оловянная бронза (78 вес. % меди, 10 вес. % олова, 11 вес. % свинца).

В работе [29] проводилось исследование химического состава оружейных изделий, принадлежащих иудейским легионам Римской Империи, который сравнивался с типичными составами бронзового оружия Европы первого века нашей эры. В исследовании определялись 14 компонентов, из которых состояли медные сплавы (сера, олово, мышьяк, цинк, сурьма, свинец, кадмий, кобальт, никель, золото, марганец, железо, серебро и медь). Висмут и фосфор не определялись. Результаты исследований позволили заключить, что состав исследованных оружейных изделий не отличался существенным образом от составов, характерных для европейской части Римской империи. Латунные изделия содержали большие количества цинка (до 25 вес. %) и совсем небольшие олова и свинца, что указывает на использование смитсонита (цинковый шпат, $ZnCO_3$) при производстве сплава. Еще одним доказательством этого являются следовые количества марганца и железа, также определенных в оружейных изделиях европейской зоны. Средний Восток не имеет месторождений смитсонита. На данной территории существуют месторождения сфалерита, который имеет уже другой примесный состав (кадмий, железо). Соответственно, это является доказательством того, что оружие иудейских отрядов Римской Империи было произведено в мастерских Европы, поэтому и составы изделий, датированных первым веком нашей эры, не отличаются. Оружие, изготовленное из бронз, по химическому составу содержит большое количество олова (до 11 вес. %).

В работе [32] проводится исследование бронзовых изделий от средних веков до нашего времени, представляющих художественную ценность. А в работе [23] описывается применение методов математической статистики в археологии для обработки результатов элементного анализа, полученных при помощи ОЭС-ИСП. Ко-

личественно определено содержание меди и сопутствующих элементов (As, Ag, Bi, Co, Fe, Mn, Ni, Pb, Sb, Sn, Zn) в бронзовых слитках бронзового века, найденных на территории Словении. Такие слитки использовались в качестве полупродукта для производства военных и бытовых изделий. В работе произвели многомерную оценку полученных данных методом принципиального компонентного анализа. Выяснили, что эти слитки представляют собой сплавы меди с железом и мышьяком, содержащие в меньшем количестве никель и сурьму. Далее, на базе результатов многомерного анализа, были выдвинуты предположения о технологических процессах, проводимых при получении этих слитков. А также было показано, что нет никаких принципиальных различий между составом таких слитков, найденных в разных точках Словении.

Содержание примесей в меди колебалось от 0,28% до более 19%. Назревал существенный вопрос: естественный ли это состав или же изделия намеренно очищены. Чтобы ответить на него, в работе сфокусировали внимание на содержании железа, которое является своеобразным маркером обработки медной руды [15].

На основании анализа медного сырья и древних методов его обработки было произведено моделирование элементного состава медных изделий. Было найдено, что низкое содержание железа (несколько десятых долей процента и ниже) в медных изделиях соответствует использованию для производства этих изделий оксидов меди [14, 26].

С другой стороны, содержание железа в сульфидных рудах меди, им богатых, может быть уменьшено до нескольких десятых процента многостадийным процессом очистки сырья.

Далее при помощи металлографического анализа [28] двух слитков (одного с высоким содержанием примесей, другого – с минимальным) было установлено, что они изготовлены из сульфидной руды. Таким образом, было установлено, что в древности существовал сложный многостадийный способ очистки меди.

В работе [27] был исследован химический состав слитков из одиннадцати захоронений в Словении и одного в Австрии начиная с позднего бронзового века с помощью метода ОЭС-ИСП. В 112 плосковыпуклых медных слитках обнаружены низкие концентрации (не более 2%) мышьяка (основная примесь), сурьмы, никеля. При исследовании образцов, принадлежащих

к другому временному интервалу (11–10 вв. до н.э.), общие количества As, Sb (основная примесь), Ni, Co колебались в интервале 0,5–70%. Исходя из определенных содержаний этих элементов был сделан вывод о том, что в 11–10 вв. до н.э. для выплавки меди использовались блеклорудные отложения, в то время как в более ранний период использовался халькопирит (CuFeS_2). Оба типа характерны для восточных месторождений альпийской руды.

В Сибирском федеральном округе России также ведутся исследования поселений древних жителей территории. Сотрудники Лаборатории археологии Института экологии человека и Центра коллективного пользования Федерального исследовательского центра угля и углехимии провели исследование древней металлообработки и металлургического производства [30]. Например, за период 2009–2014 гг. создан банк данных элементного состава сплавов на медной основе, состоящий более чем из 270 результатов анализа бронз (разными методами) [5].

Работа [11] посвящена исследованию бронзолитейной площадки на поселении ирменской культуры Медынино-1 в Кузнецкой котловине, работа [9] – исследованию поселения Исток, работа [2] – исследованию могильников Журавлево-1 и Ваганово-2, а работа [10] – исследованию бронзовых артефактов Северного Приангарья.

В работах [6, 7] представлена методика элементного анализа бронзовых изделий с широко варьируемым составом. Построение методики было основано на ряде опубликованных работ и нормативных документов, например [1, 3, 4].

В работе [30] представлены результаты анализа артефактов, найденных в курганных могильниках Алчедат I и Некрасово II. В результате исследований выделено несколько групп металлических изделий в зависимости от материала изготовления: «чистая» медь, мышьяковая бронза, оловянная бронза, оловянисто-мышьяковая бронза, оловянисто-свинцовая бронза, оловянисто-мышьяковисто-свинцовая бронза. Наибольший процент медных изделий фиксируется для металла Алчедата I (42%), наименьший – в Некрасово II (3%). Оловянистая бронза – основной тип сплава для материалов Некрасово II, но меньше всего предметов из оловянной бронзы в числе погребального инвентаря Алчедата I (25%). Группа оловянисто-мышьяковых бронз представлена в наибольшей степени в материалах Алчедата I (19%), оловянисто-свинцовистые

бронзы встречены в коллекциях Некрасово II, как и многокомпонентный сплав меди с оловом, мышьяком и свинцом.

Как отмечено в работе, некоторые данные противоречат имеющимся в историографии представлениям о тагарской металлургии, что позволяет наметить определенные проблемы исследования марийского металла, решение которых позволит приблизиться к более глубокому пониманию тагарской культуры и получить актуальные данные для сопоставления с металлом скифского времени сопредельных территорий.

Заключение

Данный обзор показывает, что работа в области исследования элементного состава медных археологических находок актуальна как минимум по двум причинам: исторической (определение рудного источника и технологии производства) и аналитико-методической. Последняя причина заключается в исследовании бронзовых артефактов, отличных по составу от традиционных современных сплавов на медной основе. Из обзора ясно, что в качестве легирующих добавок к меди добавлялись: сурьма, мышьяк, олово, свинец, цинк и даже золото и серебро. Такой широкий спектр лигатур требует тщательной проработки для определения содержания микропримесей в этих сплавах.

Работа выполнена при поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 15-06-02325А.

Список литературы

1. Бухбиндер Г.Л., Коротков В.А., Арак М.Н., Шихарева Н.П. Анализ катодной меди на спектрометрах серии iCAP 6000 // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. – 2011. – № 3. Т. 77. – С. 11–13.
2. Герман П.В., Савельева А.С. Новые данные о бронзах Северного Приангарья. III археологический конгресс. Екатеринбург; Ханты-Мансийск: ИздатНаукаСервис, 2010. – С. 81–82.
3. ГОСТ 31382–2009. Медь. Методы анализа. – М.: Стандартинформ, 2010. – 90 с.
4. Избаш О.А., Байрачная О.В., Кобелевская Т.В. Применение атомно-эмиссионной спектрометрии для анализа бронз и сплавов на основе алюминия // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. Специальный выпуск. – 2007. – Т. 73. – С. 95–100.
5. Ковтун И.В. Основные научные результаты лаборатории археологии ИЭЧ СО РАН (2004–2014 гг.). Материалы научной сессии ИЭЧ СО РАН 2014 года. – Кемерово: Изд-во ИЭЧ СО РАН, 2014. – Вып. 6. – С. 76–82.
6. Колмыков Р.П. Оптико-эмиссионный спектральный анализ бронзовых артефактов Кемеровской области // Вестник Кемеровского государственного университета. – 015. – 2(62). Т. 5. – С. 165–168.
7. Колмыков Р.П. Оптико-эмиссионная спектрометрия с индуктивно связанной плазмой в исследовании артефактов бронзовой эпохи Кемеровской области // Бутлеровские сообщения. – 2015. – Т. 42. № 6. – С. 158–161.

8. Отто М. Современные методы аналитической химии. – Москва: Техносфера, 2008. – 544 с.
9. Савельева А.С. Металл поселения Исток в Кузнецкой котловине: результаты рентгенофлуоресцентного анализа // Вестник Новосибирского государственного университета. Серия: История, филология. 2010. Т. 9. Вып. 5: Археология и этнография. С. 56–62.
10. Савельева А.С., Герман П.В. Металл ирменской культуры Кузнецкой котловины (по материалам могильников Журавлево-1 и Ваганово-2) // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – Кемерово, 2014. – Вып. 4. – С. 133–139.
11. Соколов П.Г., Савельева А.С., Фрибус А.В. Бронзолитейная площадка на поселении ирменской культуры Медынино-1 в Кузнецкой котловине (предварительное сообщение). Роль естественнонаучных методов в археологических исследованиях. – Барнаул: Изд-во Алт. ун-та, 2009. – С. 321–324.
12. Шмидт В. Оптическая спектроскопия для химиков и биологов. – Москва: Техносфера, 2007. – 368 с.
13. Bourgarit D., Mille B. The elemental analysis of ancient copper-based artefacts by inductively-coupled-plasma atomic-emission spectrometry: an optimized methodology reveals some secrets of the Vix crater. *Meas. Sci. Technol.* 2003. – vol. 14. – P. 1538.
14. Bourgarit D. Chalcolithic copper smelting. *Crucible*, 2007. – vol. 12. – p. 33.
15. Craddock P.T., Meeks N.D. Iron in ancient copper. *Archaeometry*, 1987. – vol. 29, no 2. – P. 187–204.
16. Dean J. R. Practical inductively coupled plasma spectroscopy. – John Wiley & Sons, 2005. – 184 p.
17. Ebdon L., Evans E. H. An introduction to analytical atomic spectrometry. – John Wiley & Sons, 1998. – 193 p.
18. Ewing G.W. Instrumental methods of chemical analysis. – McGraw-Hill, 1985. – 538 p.
19. Fierascu R.C., Dumitriu I., Ion M.L., Catangiu A., Ion R.M.: Surface and Analytical Techniques Study of Romanian Coins. *European Journal of Science and Theology*, 2009. – vol. 5 (1). – P. 17–28.
20. Giumlia-Mair A., Keall E. J., Shugar A.N., Stock S. Investigation of a Copper-based Hoard from the Megalithic Site of al-Midamman, Yemen. *Interdisciplinary Approach Journal of Archaeological Science*, 2002. – vol. 29. – P. 195.
21. Hill S.J. Inductively coupled plasma spectrometry and its applications. – John Wiley & Sons, 2008. – 427 p.
22. Ion R.M., Boros D., Ion M.L., Dumitriu I., Fierascu R.C., Radovici C., Florea G., Bercu C. Combined Spectral Analysis (EDXRF, ICP-AES, XRD, FTIR) for Characterization of Bronze Roman Mirror. *Metalurgia International*, 2008. – vol. 13 (5). – P. 61–65.
23. Klemenc S., Budič B., Zupan J. Statistical evaluation of data obtained by inductively coupled plasma atomic emission spectrometry (ICP-AES) for archaeological copper ingots. *Analytica Chimica Acta*, 1999. – vol. 389. – P. 141–150.
24. Lonnqvist K.K.A. A Second Investigation into the Chemical Composition of the Roman Provincial (Procuratorial) Coinage of Judaea, AD 6–66*. *Archaeometry*, 2003. – vol. 45. – P. 45.
25. Pollard A.M., Heron C. *Archaeological chemistry*. – Royal Society of Chemistry, 2008. – 438 p.
26. Merkel J.F. Summary of experimental results for Late Bronze Age copper smelting and refining. *Masca Journal Philadelphia, Pa*, 1983. – vol. 2, no 6. – P. 173–178.
27. Orel N.T., Drglin T. ICP-AES comparative study of some Late Bronze Age hoards: Evidence for low impurity bronzes in the Eastern Alps. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms*, 2005. – vol. 239, no 1, P. 44–50.
28. Paulin A., Smolej A. O tehnologiji pridobivanja bakra v evropi v bronasti dobi. 1. Del: Arheoloska odkritja in preiskava vzorcev bakra. *Rudarsko-metalurški zbornik*, 1993. – vol. 40, no. 1–2. – pp. 203–219.
29. Ponting M., Segal I. Inductively coupled plasma atomic emission spectroscopy analyses of Roman military copper-alloy artefacts from the excavations at Masada, Israel. *Archaeometry*, 1998. – vol. 40. – p. 109.
30. Saveleva A.S., German P.V., Kolmykov R.P., Bobrova L.Yu. Metal of the Tagar culture (copper based alloys from sites of the Mariinsk forest-steppe) *Ancient Metallurgy of the Sayan-Altai and East Asia*. Vol. 1. Abakan – Ehime: Ehime University Press, 2015. – P. 61–64.
31. Thompson M. *Handbook of inductively coupled plasma spectrometry*. – Springer Science & Business Media, 2012. – 288 p.
32. Young M.L., Schnepf S., Casadio F., Lins A., Meighan M., Lambert J.B., Dunand D.C. Matisse to Picasso: a compositional study of modern bronze sculptures. *Anal. Bioanal. Chem.* 2009. – vol. 395. – P. 171–184.

УДК 544.653

СТАБИЛИЗАЦИЯ ЭЛЕКТРОДНОГО ПОТЕНЦИАЛА ТВЕРДОКОНТАКТНЫХ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИХ СЕНСОРОВ НА ОСНОВЕ ЭЛЕКТРОНОПРОВОДЯЩИХ ПОЛИМЕРОВ

Маркузина Н.Н.*Военный институт (Железнодорожных войск и военных сообщений), Санкт-Петербург,
e-mail: nnn_vty@mail.ru*

Разработаны и исследованы барийселективные твердоконтактные электрохимические сенсоры с однослойными и двухслойными мембранами на основе электронопроводящих полимеров полианилина и поли(3-октилтиофена), а также их смеси. Изучены основные характеристики разработанных твердоконтактных электрохимических сенсоров: стабильность электродного потенциала, катион-анионная и катион-катионная селективности. Установлено, что электродные характеристики барийселективных твердоконтактных электрохимических сенсоров на основе электронопроводящих полимеров зависят как от состава мембраны сенсора, так и от типа электронопроводящего полимера. Показано, что лучшими электродными свойствами обладают сенсоры с двухслойными мембранами по сравнению с сенсорами с однослойными мембранами. Среди исследованных электронопроводящих полимеров наилучшим ион-электронным трансдьюсером является поли(3-октилтиофен). Барийселективные твердоконтактные электрохимические сенсоры с двухслойными мембранами на основе поли(3-октилтиофена) по своим характеристикам практически не уступают сенсорам с внутренним жидкостным заполнением.

Ключевые слова: твердоконтактные электрохимические сенсоры, электронопроводящие полимеры, поли(3-октилтиофен), полианилин, барийселективные твердоконтактные сенсоры, стабильность электродного потенциала, селективность

ELECTRODE POTENTIAL STABILIZATION OF SOLID-CONTACT ELECTROCHEMICAL SENSORS BASED ON CONDUCTING POLYMERS

Markuzina N.N.*Military institute (Railway forces and military communications), Saint-Petersburg,
e-mail: nnn_vty@mail.ru*

Solid-contact barium-selective electrochemical sensors with single layer and bilayer membranes based on conducting polymers poly (3-octylthiophene) and polyaniline and their mixtures were developed and investigated. Main characteristics of developed solid-contact electrochemical sensors: electrode potential stability, cation-anion and cation-cation selectivity have been studied. Found that electrode characteristics of solid-contact barium-selective electrochemical sensors based on conducting polymers depends on membrane composition and on polymer nature. Shown that sensors with bilayer membranes compared with single layer membranes have best electrode properties. Among the studied conducting polymers poly (3-octylthiophene) is the best ion-to-electron transducer. Solid-contact barium-selective electrochemical sensors with bilayer membranes based on poly (3-octylthiophene) were the same characteristics that sensors with the internal solution.

Keywords: solid-contact electrochemical sensors, electroconductive polymers, poly (3-oktylthiophene), polyaniline, solid-contact barium-selective sensors, electrode potential stability, selectivity

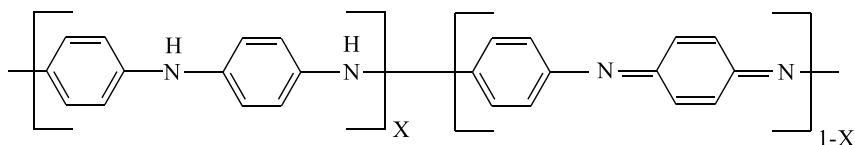
Одним из важных направлений развития электрохимических методов анализа является совершенствование конструкций электрохимических сенсоров, а также поиск новых материалов для них. Наиболее перспективными представляются сенсоры, в которых отсутствует внутренний жидкостной раствор, – твердоконтактные электрохимические сенсоры (ТЭС). Основное преимущество ТЭС – простота применения, транспортировки, хранения, что связано с отсутствием внутреннего раствора, в результате чего пропадает необходимость в его периодической замене, как это требуется для сенсоров классического типа. Благодаря своей конструкции твердоконтактные сенсоры можно использовать практически

в любом пространственном положении, что делает их незаменимыми в сложных условиях. Существенный недостаток твердоконтактных электрохимических сенсоров – нестабильность электродного потенциала во времени, в связи с чем возникает необходимость в проведении калибровки таких сенсоров перед каждым анализом.

В течение длительного времени для стабилизации электродного потенциала твердоконтактных электрохимических сенсоров использовались полимерные окислительно-восстановительные электроноинообменные смолы ЭО-7 и ЭИ-21, которые вводились во внутренний слой мембраны [1; 4]. Твердоконтактные ионоселективные сенсоры на основе таких смол обладали хоро-

шей селективностью к исследуемым ионам. Электродный потенциал данных сенсоров был достаточно стабилен, однако чувствителен к окислительно-восстановительным системам, находящимся в растворе, вследствие диффузии растворимых редокс-пар из внутреннего слоя мембраны во внешний, непосредственно контактирующий с раствором.

В последнее время для стабилизации потенциала твердоконтактных электрохимических сенсоров вместо окислительно-восстановительных смол применяют растворимые электропроводящие полимеры (ЭП) [5–9]. Такие полимеры вводят в состав слоя, промежуточного между мембраной и токоотводом. Электронная проводимость электропроводящих полимеров обусловлена подвижностью делокализованных π -электронов в сопряженной структуре полимера. Такие полимеры становятся ионо-электронными трансдьюсерами в результате процессов допирования, которые схематично изображают следующими реакциями:



Недопированный полианилин в форме emeraldine base (EB) плохо растворим в органических растворителях. Однако полианилин можно допировать различными кислотами. Результатом этого процесса является электропроводящая форма полианилина: emeraldine salt (ES), которая хорошо растворяется в ряде органических растворителей. В данной работе полианилин был допирован ди(2-этилгексил)гидрофосфорной кислотой (ДЭГГФ). В роли органического растворителя для электропроводящих полимеров использовался тетрагидрофуран (ТГФ).

Применение данных электропроводящих полимеров для стабилизации потенциала твердоконтактных электрохимических сенсоров было изучено на примере барий-селективных твердоконтактных сенсоров.

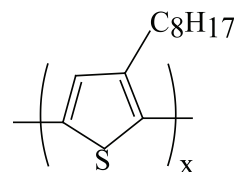
Материалы и методы исследования

Раствор поли(3-октилтиофена) в тетрагидрофуране получали непосредственно путем растворения

Электропроводящие полимеры применялись в работах [2; 5–10] в составе электрохимических сенсоров, селективных к различным ионам.

В данной работе для стабилизации электродного потенциала твердоконтактных электрохимических сенсоров в роли ионо-электронных трансдьюсеров были исследованы электропроводящие полимеры поли(3-октилтиофен) (POT) и полианилин (PANI), а также смеси этих полимеров.

Поли(3-октилтиофен) имеет следующую структуру:



Недопированный POT растворяется в большинстве органических растворителей. В недопированной форме поли(3-октилтиофен) является полупроводником р-типа и проявляет неселективный отклик к катионам некоторых металлов [7].

Состав полианилина:

0,015 г POT в 2 мл свежеперегнанного ТГФ. Раствор полианилина в тетрагидрофуране (ТГФ) получали по методике [5], которая заключается в следующем: 0,02 г полианилина в форме EB добавляли к раствору 0,05 моль/л ДЭГГФ в ТГФ (2 мл). В этой смеси PANI+ДЭГГФ молярное соотношение между ДЭГГФ и повторяющейся единицей полианилина было равно 0,5. Смесь оставляли на 3 суток, после чего нерастворимая фракция отделялась путем фильтрации, а растворимая фракция PANI+ДЭГГФ в ТГФ (полианилин в форме ES) использовалась при изготовлении твердоконтактных сенсоров.

Барийселективная мембранная композиция имела следующий состав: электродноактивное вещество – комплекс Ва-НПАВ-(pCITФБ)₂, где в качестве неионогенного поверхностно-активного вещества (НПАВ) использовался нонилфенол с 20 оксиэтильными фрагментами; пластификатором мембраны служил ортонитрофенилоктиловый эфир (o-НФОЭ), матрицей мембраны – поливинилхлорид (ПВХ). Соотношение ПВХ к o-НФОЭ было 1:3. Мембрану получали «экстракционным» способом по методике, предложенной в [3]: при синтезе мембраны в нее вносили соль тетрапарахлорфенилборат калия (0,05 моль/кг), а образование комплексной бариевой соли Ва-НПАВ-(pCITФБ)₂ происходило в результате проникивания ионов бария и молекул НПАВ из водного

раствора, контактирующего с мембраной. Мембрану выдерживали в растворе НПАВ+BaCl₂ в течение 5 суток, затем в растворе BaCl₂ в течение 4 суток. После чего ее использовали в качестве мембранной композиции в твердоконтактных сенсорах.

Электропроводящие полимеры (POT, PANI или POT + PANI) добавляли в количестве 1 % (мас.) по отношению к мембранной композиции для получения композиции переходного слоя. В смеси POT + PANI соотношение полимеров было 1:1.

Для каждого электропроводящего полимера и их смеси были изготовлены и исследованы три типа барийселективных твердоконтактных электрохимических сенсоров:

I тип ТЭС: мембрана ТЭС состояла из двух слоев, последовательно нанесенных на подложку из электропроводящего композита (ЭК) состава ПВХ:сажа:о-НФОЭ = 1:1:0,5. Первый слой представлял собой мембранную композицию, содержащую ЭП. Второй слой, контактирующий непосредственно с водным раствором, содержал только мембранную композицию.

II тип ТЭС: мембрана ТЭС также состояла из двух слоев, при этом внутренний слой содержал только ЭП, внешний слой – только мембранную композицию.

III тип ТЭС: мембрана ТЭС являлась однослойной и содержала мембранную композицию, в которую был введен 1 % ЭП.

Изготовленные таким образом барийселективные твердоконтактные сенсоры замачивали и хранили в растворе BaCl₂ концентрации 0,01 моль/л.

Электродные свойства барийселективных твердоконтактных сенсоров изучались путем измерения электродвижущей силы гальванических элементов с переносом, построенных по схемам (I)–(III). Параллельно для получения сравнительных результатов проводились измерения для Ba²⁺-селективных электродных сенсоров (ЭС) с внутренним жидкостным заполнением (IV).

трохимических сенсоров (ЭС) с внутренним жидкостным заполнением (IV).

Результаты исследования и их обсуждение

Важнейшими характеристиками твердоконтактных электрохимических сенсоров являются катион-анионная и катион-катионная селективности, стабильность электродного потенциала во времени. Эти характеристики были изучены в данной работе.

Прежде всего, в работе была исследована катион-анионная селективность твердоконтактных сенсоров в чистых растворах BaCl₂. На основе полученных результатов установлено, что для всех трех типов Ba²⁺-ТЭС диапазон Ba²⁺-функции в чистых растворах BaCl₂ составил 10⁻¹–10⁻⁵ моль/л, а угловой коэффициент: 28 мВ/рВа. Такие же результаты были получены и для соответствующих электродов с внутренним жидкостным заполнением. Следует отметить, что электродная функция для электродов I и II типов (с двухслойными мембранами) сохранялась в течение 40 суток (время наблюдения), а для электродов III типа (с однослойной мембраной) начинала ухудшаться уже через 12 суток после замачивания (сокращался диапазон выполнения электродной функции, уменьшался угловой коэффициент, увеличивалось время отклика).

Ag	<u>AgCl</u> , KCl _{нас}	раствор переменного состава: BaCl ₂ , MeCl _z	мембрана	Мембрана +ЭП	ЭК	Cu (I)
I тип ТЭС						
Ag	<u>AgCl</u> , KCl _{нас}	раствор переменного состава: BaCl ₂ , MeCl _z	мембрана	ЭП	ЭК	Cu (II)
II тип ТЭС						
Ag	<u>AgCl</u> , KCl _{нас}	раствор переменного состава: BaCl ₂ , MeCl _z	Мембрана+ЭП		ЭК	Cu (III)
III тип ТЭС						
Ag	<u>AgCl</u> , KCl _{нас}	раствор переменного состава: BaCl ₂ , MeCl _z	мембрана	BaCl ₂ (0,01m), <u>AgCl</u>		Ag (IV)
ЭС с жидкостным заполнением						

Селективность ($\lg_{Ba/Me}$) Ba^{2+} -ТЭС

ТЭС		$\lg_{Ba/Me}$ для следующих Me^{z+}				
тип	ЭП	Na^+	K^+	Mg^{2+}	Ca^{2+}	Si^{2+}
I тип ТЭС	POT	-0,80	-0,71	-3,14	-2,66	-1,88
	PANI	-0,76	-0,68	-3,12	-2,62	-1,86
	POT + PANI	-0,76	-0,67	-3,12	-2,60	-1,84
II тип ТЭС	POT	-0,78	-0,68	-3,12	-2,60	-1,85
	PANI	-0,72	-0,65	-3,10	-2,58	-1,82
	POT + PANI	-0,72	-0,63	-3,09	-2,56	-1,80
III тип ТЭС	POT	-0,60	-0,52	-3,06	-2,52	-1,76
	PANI	-0,56	-0,48	-3,02	-2,48	-1,72
	POT + PANI	-0,52	-0,46	-3,01	-2,46	-1,71
ЭС		-0,82	-0,74	-3,12	-2,64	-1,85

Кроме того, была изучена катион-катионная селективность всех трех типов твердоконтактных электрохимических сенсоров к барии в присутствии мешающих катионов-конкурентов. Исследование проводили методом бионных потенциалов в 0,1 моль/л растворах хлоридов металлов. Коэффициенты селективности ($\lg_{Ba/Me}$) твердоконтактных сенсоров (через 2 суток после замачивания в растворе $BaCl_2$), рассчитанные по уравнению Никольского, приведены в таблице; там же для сравнения приведены коэффициенты селективности барийселективных электрохимических сенсоров (ЭС) с внутренним жидкостным заполнением.

Из данных, представленных в таблице, видно, что катион-катионная селективность твердоконтактных электрохимических сенсоров к барии зависит как от состава мембраны сенсора, так и от природы электропроводящего полимера. Селективность сенсоров с двухслойными мембранами (I тип и II тип) выше, чем с однослойными (III тип). При этом сенсоры на основе поли(3-октилтиофена) обладают лучшей селективностью по сравнению с сенсорами на основе полианилина и их смеси. Таким образом, твердоконтактные сенсоры с двухслойными мембранами на основе POT по своей селективности не уступают сенсорам с внутренним жидкостным заполнением.

Кроме того, следует отметить, что с течением времени (40 суток) наблюдалось уменьшение селективности сенсоров к барии в присутствии мешающих катионов-конкурентов. Возможно, такое уменьшение селективности можно связать с изменением концентрации электродноактивного вещества $Ba-NPAB-(pCITFB)_2$ во внешнем слое мембраны, вследствие частичного вымывания его в раствор [3]. Наиболее заметное

уменьшение селективности наблюдалось в системах барий-натрий и барий-калий (барий-однозарядные катионы), особенно для сенсоров с однослойными мембранами.

В работе была исследована стабильность электродных потенциалов твердоконтактных барийселективных сенсоров в растворах $BaCl_2$ концентрации 0,01 моль/л. На основе полученных результатов было установлено, что стабильность потенциала зависит от двух факторов: от типа твердоконтактного электрохимического сенсора и от природы электропроводящего полимера. Так, сенсоры с однослойной мембраной (III тип) менее стабильны, а сенсоры с двухслойными мембранами (I и II тип) – более стабильны. Для ТЭС III типа дрейф потенциала продолжался в течение всего времени наблюдения (40 суток), независимо от природы полимера. Для ТЭС I и II типа на основе POT и PANI дрейф потенциала в течение первых 12 суток составил 6 мВ/сут, затем относительно стабилизировался (1 мВ/сут). Для смеси полимеров POT + PANI стабильность потенциала так и не была достигнута: потенциал в течение первых нескольких дней увеличивался, затем постоянно уменьшался (5 мВ/сут) в течение всего времени наблюдения. Таким образом, барийселективные твердоконтактные сенсоры с двухслойными мембранами на основе POT и PANI после стабилизации электродного потенциала можно использовать для непрерывных измерений в течение 10 часов без промежуточных калибровок.

Выводы

1. Электродные свойства (катион-анионная и катион-катионная селективности, стабильность электродного потенциала) разработанных барийселективных твердо-

контактных электрохимических сенсоров на основе электропроводящих полимеров зависят как от состава мембраны сенсора, так и от природы самого электропроводящего полимера.

2. Лучшими электродными свойствами обладали сенсоры с двухслойными мембранами по сравнению с сенсорами с однослойными мембранами.

3. Среди исследованных электропроводящих полимеров наилучшим ионизелектронным трансдьюсером является поли(3-октилтиофен) по сравнению с полианилином или смесью полимеров поли(3-октилтиофена) и полианилина. Барий-селективные твердоконтактные сенсоры с двухслойными мембранами на его основе обладали наилучшими электродными характеристиками.

Список литературы

1. Лейс Л.Х.-Й., Саенко Д.В., Алагова З.С., Стефанова О.К. Исследование нитратселективных электродов с внутренней окислительно-восстановительной системой // Вестник Ленинградского университета. – 1985. – № 25. – С. 99–102.
2. Маркузина Н.Н., Дмитриева И.В. Применение электропроводящего полимера полианилина для стабилизации потенциала твердоконтактных электродов // Известия СПбГЭТУ «ЛЭТИ». – 2009. – № 9. – С. 69–74.
3. Маркузина Н.Н., Стефанова О.К., Грибанова Е.В., Мокров С.Б. Особенности функционирования барий-селективных мембран на основе нейтральных комплексонов, определяемые поверхностной активностью комплексона // Журнал прикладной химии. – 1999. – Т. 72, № 1. – С. 79–83.
4. Стефанова О.К., Рождественская Н.В., Горшкова В.Ф. Твердоконтактные ионоселективные электроды на основе нейтральных комплексообразователей // Электрохимия. – 1983. – Т. 19, № 9. – С. 1225–1230.
5. Bobacka J., Lindfors T., McCarrick M., Ivaska A., Levenstam A. Single-piece all-solid-state ion-selective electrode // Anal. Chem. – 1995. – V. 67. – № 20. – P. 3819–3824.
6. Bobacka J., McCarrick M., Ivaska A., Levenstam A., Ivaska A. All-solid-state poly(vinylchloride) membrane ion-selective electrode with poly(3-octylthiophene) solid internal contact // Analyst. – 1994. – V. 119. – P. 1985–1991.
7. Cadogan A., Gao Z., Levenstam A., Ivaska A. All-solid-state sodium-selective electrode based on a calixarene ionophore in a poly (vinyl chloride) membrane with a polypyrrole solid contact // Anal. Chem. – 1992. – V. 64. – № 21. – P. 2496–2501.
8. Cattrall R.W., Tribuzio S., Freiser H. Potassium ion responsive coated wire electrode based on valinomycin // Anal. Chem. – 1974. – V. 46. – № 14. – P. 2223–2224.
9. Ivaska A. Analytical Applications of Conducting Polymers // Electroanalysis. – 1991. – V. 3. – P. 247–254.
10. Lindfors T., Sjöberg P., Bobacka J., Levenstam A., Ivaska A. Characterization of a single-piece all-solid-state lithium-selective electrode based on soluble conducting polyaniline // Analytica Chimica Acta. – 1999. – V. 385. – P. 163–173.

УДК 676.014:676.017

ХИМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПРОЦЕССА ГИДРОФОБИЗАЦИИ ВТОРИЧНЫХ ЦЕЛЛЮЛОЗНЫХ ВОЛОКОН ПРИ ПОЛУЧЕНИИ УПАКОВОЧНЫХ ВИДОВ БУМАГ И КАРТОНОВ

Муллина Э.Р., Ершова О.В.*ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова»,
Магнитогорск, e-mail: erm_73@mail.ru*

В работе представлены результаты исследования влияния проклеивающих компонентов различной природы, на влаговлажность и впитывающую способность композиционных целлюлозных материалов на основе вторичного сырья. Рассмотрено влияние состава по волокну и природы вводимого гидрофобизирующего компонента на прочностные и сорбционные свойства бумаги-основы. Представлен анализ сорбционной способности катионных и анионных проклеивающих материалов волокнами целлюлозы. Рассмотрено влияние природы, способа обработки и состояния поверхности волокна на эффективность проклейки целлюлозы-основы. Проанализирована зависимость между показателями проклейки и впитывающей способности целлюлозы-основы. Установлена взаимосвязь между показателями впитываемости и адгезионными свойствами целлюлозы-основы при различных способах ее обработки. Представлены результаты влияния прочностных и сорбционных свойств целлюлозы-основы на показатели прочности при расслаивании на примере образцов склеенного картона. Рассмотрено влияние прочностных, влаговлажных и адгезионных свойств исходного волокнистого сырья на качество готовой продукции. Дан анализ эффективности процессов проклейки картона-основы при различных способах его переработки. Предложены способы химической модификации целлюлозы-основы с целью улучшения эксплуатационных свойств бумажной упаковки.

Ключевые слова: бумага-основа, сорбционные свойства, проклейка, проклеивающие материалы, адгезия, качество, бумажная упаковка

CHEMICAL ASPECTS OF THE PROCESS OF THE SECONDARY HYDROPHOBIC CELLULOSE FIBERS WHEN RECEIVING PACKAGING TYPES PAPER AND CARDBOARD

Mullina E.R., Ershova O.V.*Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, e-mail: erm_73@mail.ru*

The article is concerned with the findings of the study of the influence of gluing compositions of different nature on the wet strength and absorbency of the base paper. The authors studied the influence of fiber composition and the nature of the introduced hydrophobe component on strength and sorption properties of the base paper. The analysis of sorption capacity of cationic and anionic gluing materials with cellulose fibers was carried out and described. The influence of the nature of fiber, its processing method and the fiber surface state on the gluing efficiency of the base paper was studied. The relation between the gluing process characteristics and the absorbency of the base paper was analyzed. The research group found the relationship between the absorbency and adhesive properties of the base paper when different processing methods are used such as agglutinating, lamination and others. The influence of strength and sorption properties of the base paper on the separation strength characteristics was described for corrugated, pasted, coated and laminated cardboard. The influence of strength, wet strength and adhesive properties of the initial fiber stock on the quality of the finished product was considered. The efficiency of gluing process of the base paper for different processing methods was analyzed. The authors offered some methods of chemical modification for the base paper to improve performance characteristics of the paper packaging material.

Keywords: base paper, sorption properties, glue process, gluing materials, adhesion, quality, paper wrapper

Адгезионные свойства бумаг и картонов определяются прежде всего показателями сорбции, которые в свою очередь напрямую зависят от впитывающей способности целлюлозной основы. Структура и свойства волокнистой основы определяются композиционным составом по волокну, а также количеством проклеивающих и наполняющих веществ, используемых в технологии изготовления целлюлозной композиции [1–7, 17].

Производство многих видов упаковочных бумаг и картонов предусматривает использование макулатуры в качестве основного сырья [8, 9, 12, 13]. Известно, что для эффективного применения макулатурной

массы в широком ассортименте для производства целлюлозно-бумажных изделий ее необходимо подвергать глубокому облагораживанию с высокой степенью восстановления бумагообразующих свойств, что требует значительных капиталовложений. Дело в том, что при использовании в бумажном производстве низкокачественных волокнистых полуфабрикатов вообще и вторичного сырья в частности возникает ряд проблем, требующих серьезных логистических проработок, материалы, получаемые из такого сырья, не имеют достаточно уровня прочности, жесткости и чистоты поверхности [5, 10–12].

На протяжении многих лет для модификации сорбционных свойств поверхности упаковочной бумаги (или картона) использовались нативные крахмалы. Их основное преимущество – низкая стоимость, а главный недостаток – значительный расход на тонну продукции и замедление процесса обезвоживания [1, 13, 16, 20]. В настоящее время нативный крахмал в качестве связующего и проклеивающего компонента применяется крайне редко из-за присущих ему недостатков, отмеченных выше. Его повсеместно заменили модифицированными крахмалами различного вида [1, 6, 11].

Исследованиями доказано, что на основе крахмала можно создать полиэлектролитные флокулянты, если ввести в макромолекулы амилозы и амилопектина ионизируемые группы [1, 5, 11, 17]. Одновременно было установлено, что обработка крахмала окислителями (различной природы и активности) [2, 11, 14, 15], ферментами, прививка карбоксиметильных, карбонильных и оксипропильных групп могут существенно улучшить функциональные свойства нативного крахмала при склеивании, использовании для поверхностной проклейки и в качестве связующего в меловальных пастах [20].

В последнее время широкое применение в производстве бумаги и картона находят катионномодифицированные формы крахмала. Установлено, что они имеют прочную адсорбцию к волокну и хорошо удерживаются в массе, благодаря чему покрывают большую поверхность волокон и дают хорошее внутреннее сцепление при низком расходе. В дополнение, катионные крахмалы являются эффективным средством удержания мелочи, наполнителей и вредной смолы. Если удержание катионных крахмалов в бумажном полотне достигает 95 %, то они ведут себя как полимерные флокулянты, что обычно характерно для низкомолекулярных катионных полимеров. При этом мягкая флокуляция позволяет получать в бумажной массе вместо огромных флокул небольшие микрофлокулы, что важно с точки зрения показателя неоднородности просвета бумаги [1, 2, 9, 11, 17, 18].

Известно, что волокна целлюлозы заряжены отрицательно. Так, многие авторитетные ученые, в числе которых В.И. Юрьев [18] и Т. Линдстрем [19], считали, что первопричиной возникновения отрицательного заряда на поверхности целлюлозных фибрилл, диспергированных в воде, являются ионизация карбоксильных групп и вообще диссоциация всех электролитических активных групп на поверхности целлюлозы. При этом само содержание карбоксильных групп (в которые гипотетически могли окислиться так много гидроксильных групп) ничтожно мало для создания столь сильного заряда [4], а скорее всего, заряд поверхности целлюлозы вызван ориентацией диполей воды [16].

Установлено, что взаимодействие катионного крахмала с отрицательно заряженными целлюлозными волокнами протекает по механизму мозаичного сцепления: полимерные цепи положительно заряженного крахмала оседают подобно элементам мозаики на волокнах и частицах наполнителя, тем самым перезаряжая лишь отдельные области. Взаимодействие участков с противоположным зарядом приводит к мозаичному сцеплению частиц с образованием макрофлокул, относительно устойчивых к воздействию сил сдвига [18, 19].

Проведенный литературный анализ показал, что физико-химические аспекты процессов гидрофобизации целлюлозных волокон катионными формами крахмала освещены недостаточно подробно. При этом отмечено, что эффективность применения и использования катионного крахмала целесообразно разрабатывать индивидуально для каждого предприятия исходя из особенностей используемого сырья и технологического оборудования.

Проведенный литературный анализ показал, что физико-химические аспекты процессов гидрофобизации целлюлозных волокон катионными формами крахмала освещены недостаточно подробно. При этом отмечено, что эффективность применения и использования катионного крахмала целесообразно разрабатывать индивидуально для каждого предприятия исходя из особенностей используемого сырья и технологического оборудования.

Материалы и методы исследования

Объектом исследования являлись образцы композиционных целлюлозных материалов с различным содержанием гидрофобизирующих добавок и волокон вторичной целлюлозы.

Экспериментальные исследования проводились по следующим методикам: определение композиции исследуемых образцов бумаги и картона по ГОСТ 7500-85; определение зольности по ГОСТ 7629-934; определение прочности на разрыв и удлинения при растяжении по ГОСТУ 13525.1-79; определение сопротивления расслаиванию картона проводилось по ГОСТ 13648.6-86; определение влажности по ГОСТ 13525.19-91; определение поверхностной впитываемости воды при одностороннем смачивании по ГОСТ 12605-97; определение капиллярной впитываемости по ГОСТУ 12602-67; определение степени проклейки по ГОСТ 13648.6-86; определение влагонепрочностных свойств гофрированного картона по ГОСТ 13.525.19-91 (Бумага и картон).

Влагонепрочность – это отношение прочности гофрированного картона во влажном состоянии к прочности в сухом состоянии, выраженном в процентах.

В нашем случае прочность определялась при помощи прибора сопротивления продавливанию (ПП-1). Методика проведения эксперимента указана в ГОСТ 13525.8-86.

Метод заключается в определении давления, необходимого для разрушения зажатого по кольцу образца бумаги, по ГОСТ 13525.8-86 «Полуфабрикаты волокнистые, бумага и картон. Метод определения сопротивления продавливанию». Сопротивление бумаги продавливанию определяют на приборе ПР-1. Принцип действия прибора заключается в нагружении гидростатическим давлением испытуемого образца, представляющего собой круглую мембрану, защемленную по периметру. Прибор состоит из станины, на которой укреплен цилиндр с камерой, заполненный глицерином. Внутри камеры перемещается плунжер с резиновой манжетой, верхнее отверстие камеры закрывается резиновой диафрагмой, прижимаемой к краям камеры вставным кольцом и гайкой.

При испытании образец целлюлозного материала кладут на диафрагму и зажимают с помощью прижимного стакана посредством рычага с эксцентриком. При перемещении плунжера, осуществляемого вращением маховика, в камере создается давление, для контроля которого служит манометр. Из листов картона вырезают образцы размером 70х70 мм. Установив контрольную стрелку манометра на нулевое положение шкалы, вставляют образец бумаги в зазор между прижимным стаканом и вставным кольцом и зажимают его, поворачивая рычаг по часовой стрелке до отказа. Затем равномерно начинают вращать маховик по часовой стрелке со скоростью 50–60 об/мин. После разрушения образца вращением маховика в обратную сторону снимают давление в камере.

Повышенная атмосферная влажность составляла 98% и была смоделирована с помощью насыщенного раствора соли (K_2SO_4) при концентрации 11 г/100 г воды.

При проведении экспериментальных исследований влагопрочность достигалась путем химической модификации впитывающей способности целлюлозных волокон. Для изменения сорбционных свойств волокнистой основы в бумажную массу в мокрой части КДМ в процессе изготовления картона вводили катионномодифицированные формы крахмала.

При реализации экспериментов применялись стандартные и общепринятые методы оценки свойств нативных и модифицированных крахмалов: электрофоретический, микроструктурный, вискозиметрический; для определения качества получаемых образцов продукции использовали физико-механические, химические и сорбционные методы анализа. Процессы адгезии рассматривались на примере различных способов обработки образцов картона. Обработку экспериментальных данных проводили на основе методов математической статистики с применением программного обеспечения Statistika 6.0 и Microsoft Excel.

Результаты исследования и их обсуждение

Основной задачей экспериментальных исследований являлось создание различных видов целлюлозных композиционных материалов, преимущественно из волокон вторичной целлюлозы (до 60%), с заданным балансом гидрофильно-гидрофобных свойств поверхности целлюлозной основы. В качестве исходного сырья использовалась

макулатурная масса картонов и гофрокартонов. В качестве катионного модификатора нативного крахмала использовали соединения четвертичных ароматических аминов.

На основании полученных результатов было установлено, что эффективность процесса адгезии при различных способах получения композиционных материалов напрямую зависит от структуры бумаги-основы и ее впитывающей способности. При этом отмечено, что композиционная устойчивость материала определяется химическим составом и природой наносимых полимеров.

Значения ζ -потенциала коллоидных частиц модифицированного крахмала определяли методом электрофореза. По результатам исследований было установлено, что при введении катионита массовой долей до 12% происходит полная нейтрализация отрицательного поверхностного заряда частиц нативного крахмала (достигается изоэлектрическая точка состояния). При дальнейшем введении катионита наблюдается медленная перезарядка частиц крахмала и при содержании катионита более 18% практически не фиксируется увеличение величины ζ -потенциала коллоидных частиц. В дальнейших исследованиях использовали катионный крахмал с содержанием катионита 18%.

Серьезным недостатком применения катионного крахмала является ограничение его количества. Введение избыточного количества катионного крахмала приведет к суммарному катионированию частиц все коллоидной системы заряду. Этого не следует допускать, поскольку перезарядка приведет к резкому снижению производительности мокрой части бумагоделательной машины, ухудшению общего удержания крахмала на целлюлозных волокнах.

«Катионная потребность» целлюлозной массы зависит от вида и структуры волокнистого сырья, а также от pH раствора и фонового состава электролитов, так как катионный крахмал выполняет двойную роль, служит полиэлектролитом для снижения отрицательного заряда поверхности волокна и одновременно полимером-фиксатором анионных загрязнений [6, 10].

В работе экспериментальным путем была определена «катионная потребность» исследуемой целлюлозной массы – а именно макулатуры различных марок картона и гофрокартона. Согласно полученным результатам эффективное содержание катионного крахмала, обеспечивающее необходимые сорбционные свойства бумаге-основе,

используемой для производства упаковочных видов картона (склеенного, гофрированного и др.) определяется соотношением 8 кг/т. При этом степень удержания крахмала на волокне составила более 95 %.

В процессе проведения исследований было отмечено, что при повышении содержания волокон макулатурной массы в композиции полученных образцов целлюлозных материалов значительно снижаются показатели влагонепроницаемости готовой продукции. Данный факт может объясняться снижением эффективности действия сил межволоконного сцепления вследствие разубоживания волокнистой массы разрушенными волокнами макулатуры.

Производство многих видов упаковочных бумаг и картонов, например картона для плоских слоев, бумаги для гофрирования и обёрточной бумаги предусматривает использование макулатуры в качестве основного сырья. Этот ассортимент требует наименьших затрат на тонну продукции. Чтобы применять макулатурную массу в широком ассортименте целлюлозно-бумажных изделий, ее необходимо подвергать глубокому облагораживанию с высокой степенью восстановления бумагообразующих свойств, что требует капиталовложений несколько иного порядка. Дело в том, что при использовании в бумажном производстве низкокачественных волокнистых полуфабрикатов вообще и вторичного сырья в частности возникает ряд проблем, требующих серьезных логистических проработок, материалы, получаемые из такого сырья, не имеют достаточного уровня прочности, жесткости и чистоты поверхности [8, 9, 12, 13].

При ведении катионно-модифицированных форм крахмала в композицию целлюлозных материалов наблюдается тенденция к увеличению показателей влагонепроницаемости получаемых образцов картона. Такая зависимость может объясняться тем, что они имеют прочную адсорбцию к волокну и хорошо удерживаются в массе, благодаря чему покрывают большую поверхность волокон и дают хорошее внутреннее сцепление при низком расходе. В дополнение, катионные крахмалы являются эффективным средством удержания мелочи, наполнителей и вредной смолы. Если удержание катионных крахмалов в бумажном полотне достигает 95 %, то они ведут себя как полимерные флокулянты, что обычно характерно для низкомолекулярных катионных полимеров. Мягкая флокуляция позволяет

получать в бумажной массе вместо огромных флоккул небольшие микрофлокулы, что важно с точки зрения показателя неоднородности просвета бумаги [1, 2, 11].

Таким образом, технология гидрофобизации целлюлозной основы (в массе) катионномодифицированными крахмалами эффективна для получения упаковочных видов бумаг и картонов. Данная технология дает возможность производить упаковку из вторичного сырья с требуемыми сорбционными и барьерными характеристиками. Кроме того, вариативность полученных результатов доказывает возможность целенаправленно производить основу в соответствии с требованиями конкретного заказчика.

Выводы

– эффективность процессов адгезии при различных способах получения целлюлозных упаковочных материалов (с содержанием макулатурной массы до 60 %) напрямую зависит от структуры бумаги-основы и ее сорбционных свойств;

– оптимальная адгезия возможна при незначительном проникновении адгезива в поверхность бумаги, и этим показателем можно управлять;

– для улучшения процессов адгезии целлюлозных материалов целесообразно варьировать сорбционными свойствами их поверхности путем катионирования волокнистой основы;

– в качестве катионного модификатора суспензии нативного крахмала эффективно использовать соединения класса четвертичных ароматических аминов;

– «катионная потребность» волокон целлюлозной массы, полученной преимущественно из макулатуры различных марок картона и гофрокартона (до 60 %), составляет 8 кг/т;

– использование катионно-модифицированных крахмалов в качестве гидрофобизирующих добавок позволяет получить влагонепроницаемые образцы картонов.

Список литературы

1. Андреева С.Л., Кожевников С.Ю., Дулькин Д.А., Дубовый В.К. Теоретические основы технологии повышения прочности картона из макулатуры полимерами // Химия растительного сырья. – 2011. – № 1. – С. 179–181.
2. Аким Э.Л. Обработка бумаги (основы химии и технологии обработки бумаги и картона). – М., 1979.
3. Александр В.А. Влияние электрокинетического потенциала волокнистой массы на процессы производства бумаги: обзор. – М., 1975. – 48 с.
4. Аксельрод Г.З., Смолин А. С., Иванов М. А., Фомина М.Л., Ходырева Н. В. О природе электрокинетического потенциала целлюлозы // Сб. трудов ВНИИБа. – 1973. – Вып. 65. – С. 58–64.

5. Вайсман Л.М. Структура бумаги и методы ее контроля / Л.М. Вайсман. – М.: Лесная промышленность, 1973. – 152 с.
6. Ермаков С.Г., Хакимов Р.Х. Технология бумаги. – Пермь: Пермский гос. тех. университет, 2002.
7. Иванов С.Н. Технология бумаги / С.Н. Иванов. – М.: Лесная промышленность, 1970. – 700 с.
8. Кусмауль К.В. Тара с повышенными потребительскими свойствами / К.В. Кусмауль. – М.: ЦНИИТЭИМС, 1966. – 18 с.
9. Кирван, Марк Дж. Упаковка на основе бумаги и картона / Марк Дж. Кирван – пер. с англ. / СПб.: Профессия, 2008. – 488 с.
10. Мозырева Е.А., Санников С.П. Проклейка бумажной массы: методические указания. – Екатеринбург: УГЛТА, 1996. – 22 с.
11. Муллина Э.Р., Мишурина О.А., Чупрова Л.В., Ершова О.В. Влияние химической природы проклеивающих компонентов на гидрофильные и гидрофобные свойства целлюлозных материалов // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – № 6.; URL: <http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=16572>.
12. Мишурина О.А., Тагаева К.А. Исследование влияния композиционного состава по волокну на влагонепроницаемые свойства исходного сырья при производстве картонных втулок // Актуальные проблемы современной науки, техники и образования. – 2013. – Т. 1, № 71. – С. 286–289.
13. Мишурина О.А., Чупрова Л.В., Муллина Э.Р., Ершова О.В. Исследование влияния качества исходного сырья на прочностные свойства картонных втулок // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – № 1.; URL: <http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=12226>.
14. Мишурина О.А., Чупрова Л.В., Муллина Э.Р. Деманганация сточных вод растворами хлорной извести. // Альманах современной науки и образования. – 2013. – № 9 (76). – С. 115–118.
15. Мишурина О.А., Чупрова Л.В., Муллина Э.Р. Химические превращения кислородсодержащих ионов хлора растворов при разных значениях диапазона pH. // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2014. – № 2–2. – С. 43–46.
16. Пенкин А.А. Применение карбонатных наполнителей, модифицированных катионным крахмалом, в технологии бумаги для печати // Труды БГТУ. № 4. Химия, технология органических веществ и биотехнология. – 2009. – Т. 1, № 4. – С. 290–293.
17. Фляте Д.М. Технология бумаги: учеб. для вузов. – М.: Лесная промышленность, 1988. – 440 с.
18. Юрьев В.И. О поверхностном (термодинамическом) потенциале целлюлозных волокон // Межвуз. сб. науч. трудов. – Л., 1980. – № 6. – С. 50–53.
19. Lindström T., Eklund D. Paper chemistry, an introduction, Grankulla, Finland. – 1991. – P. 306.
20. Mishurina O.A., Mullina E.R., Chuprova L.V., Ershova O.V., Chernyshova E.P., Permyakov M.B., Krishan A.L. Chemical aspects of hydrophobization technology for secondary cellulose fibers at the obtaining of packaging papers and cardboards // International Journal of Applied Engineering Research. – 2015. – Т. 10, № 24. – P. 44812–44814.

УДК 547.96: 577.112.5/.2.01/.22

**МЕТОД ИССЛЕДОВАНИЯ ИЕРАРХИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ
В ПРИРОДНЫХ АМИНОКИСЛОТНЫХ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЯХ****¹Некрасов А.Н., ¹Зинченко А.А., ¹Карлинский Д.М., ²Козырев С.В.**¹ФГБУН «Институт биоорганической химии им. академиков М.М. Шемякина
и Ю.А. Овчинникова Российской академии наук», Москва;²ФГБУН «Математический институт им. В.А. Стеклова Российской академии наук»,
Москва, e-mail: alexei_nekrasov@mail.ru

Совокупность экспериментальных данных о пространственной структуре белковых молекул показывает, что белки имеют иерархическую структурную организацию. Тем не менее до настоящего момента не существовало метода, позволяющего выявлять иерархическую организацию в первичных структурах белков. Настоящее исследование позволяет восполнить этот пробел. Анализ значений позиционной информационной энтропии, полученных при анализе природных полипептидных последовательностей из базы NRDB, позволил обосновать новую парадигму структурной организации белков, в соответствии с которой элементарной единицей структурной организации является группа из пяти рядом расположенных остатков. В соответствии с этой парадигмой белковая последовательность рассматривается как совокупность коротких, перекрывающихся фрагментов («информационных единиц»). На основании данного представления, был разработан метод (метод Анализа Информационной Структуры – АНИС [4]), позволяющий выявлять иерархическую организацию информации в первичных структурах белков. Методом «бутстреп» была продемонстрирована устойчивость результатов, полученных с помощью метода АНИС.

Ключевые слова: анализ аминокислотной последовательности, информационная энтропия, теория информации, иерархия

**A METHOD FOR DISCOVERY OF HIERARCHY ELEMENTS
IN NATURAL PROTEIN SEQUENCES****¹Nekrasov A.N., ¹Zinchenko A.A., ¹Karlinskiy D.M., ²Kozyrev S.V.**¹Shemyakin-Ovchinnikov Institute of Bioorganic Chemistry of the Russian Academy of Sciences, Moscow;²Steklov Institute of Mathematics of the Russian Academy of Sciences, Moscow,
e-mail: alexei_nekrasov@mail.ru

The experimental data on the spatial structure of the protein molecules shows that proteins have a hierarchical structural organization. However, until now there was no method to identify a hierarchical organization of the primary structures of proteins. This study allows filling this gap. An analysis of the positional information entropy values obtained during an analysis of the natural polypeptide sequence database NRDB allowed to justify a new paradigm of structural organization of proteins, according to which the basic unit of structural organization is a group of five adjacent residues. According to this paradigm, a protein sequence is considered as a set of short, overlapping fragments («information units»). Based on this presentation, we developed a method (the method of ANalysis of Information Structure – «ANIS» [4]) that allows one to identify the hierarchical organization of the information in protein primary structures. The «bootstrap» method was used to demonstrate stability of the results obtained using the of ANIS method.

Keywords: protein sequence analysis, information entropy, information theory, hierarchy

Совокупность экспериментальных данных указывает на то, что белковые молекулы должны быть организованы определенным образом, позволяющим проявлять им весьма специфические структурные и функциональные свойства. Более полувека назад Анфинсен предположил, что структурные и функциональные свойства белков определяются их аминокислотной последовательностью: «информация... о нативных вторичных и третичных структурах белков, содержится в их аминокислотной последовательности» [1]. В соответствии с этим утверждением аминокислотная последовательность должна полностью определять пространственную организацию белка.

Однако в настоящее время методы анализа белковых последовательностей позволяют выявлять только трансмембранные участки, кластеры гидрофобных остатков (предположительно – те, которые участвуют в формировании гидрофобных ядер белковых глобул), а также более или менее надежно идентифицировать элементы вторичной структуры белков. Целый ряд других особенностей организации трехмерной структуры белков при анализе их первичных структур выявить не удастся. В ряде работ предпринимались попытки оценить степень упорядоченности аминокислотных остатков в первичных структурах белков, которые привели к очень низким ее значе-

ниям [8, 9]. Более того, авторы работы [5] пришли к выводу, что «аминокислотные последовательности белков представляют собой слабо отредактированные случайные гетерополимеры». Эти результаты противоречат наблюдаемым свойствам белков, таким как способность к самоорганизации, селективное связывание с регуляторами и субстратами (в случае ферментов), высокая эффективность каталитических реакций и т.д. Задача требует своего решения. Очевидно, что большинство характерных свойств белков связаны с физико-химическими свойствами аминокислотных остатков, и, следовательно, необходимо найти такую статистическую модель, которая могла бы позволить описать физические и химические свойства аминокислотных остатков с помощью их статистических параметров, которые можно получить из полипептидных цепей. В работе [6] было показано, что физико-химические свойства аминокислотных остатков можно адекватно описывать, если рассматривать не только отдельные аминокислотные остатки, но и их непосредственное окружение в первичной структуре. Для того чтобы определить размер окрестности, которую необходимо учитывать, была исследована позиционная информационная энтропия в наборах негомологичных белковых последовательностей.

Базы данных

В качестве объектов исследований использовались последовательности из баз данных NRDB [3] трех различных релизов: NRDB 30, NRDB 60 и NRDB 90.

- Исходная база данных NRDB 30 содержит 192,518 белковых последовательностей.
- Исходная база данных NRDB 60 содержит 252,926 белковых последовательностей.
- Исходная база данных NRDB 90 содержит 534,936 белковых последовательностей.

Теоретическое обоснование метода

Чтобы получить искомую оценку области, адекватную особенностям природных полипептидных цепей (размер «информационной единицы») для аминокислотных последовательностей из различных релизов базы данных NRDB, были рассчитаны вероятности (P^k) появления различных пар аминокислотных остатков с фиксированным числом позиций (k) между ними (рис. 1). В каждой такой паре остатков один остаток (в положении n) будем называть «корневым», а второй остаток в паре (в положении $n + k$) – «переменным». В процессе расчета «корневой» остаток последовательно смещается от позиции 1 в аминокислотной последовательности белка до остатка номер $L - k$, где L представляет собой общее количество остатков в белке.

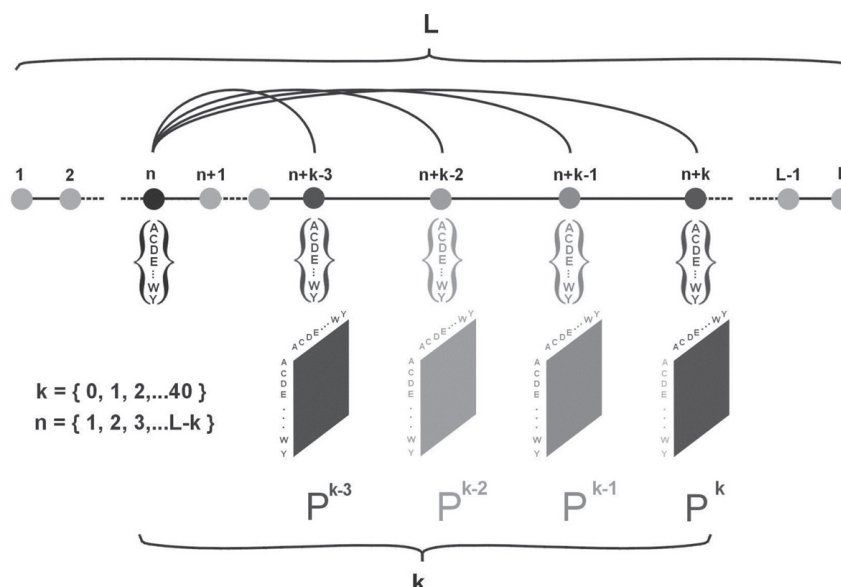


Рис. 1. Схема анализа базы данных, описывающей белковые последовательности, выполненного для получения матриц частот встречаемости пар аминокислотных остатков. Положение «корневого» остатка в паре изменяется от 1 до $L - k$ (где L представляет собой общее количество остатков в белке). «Переменный» остаток рассматривается в позициях от $n + 1$ до $n + k$ при положении «корневого» остатка в позиции n последовательности белка

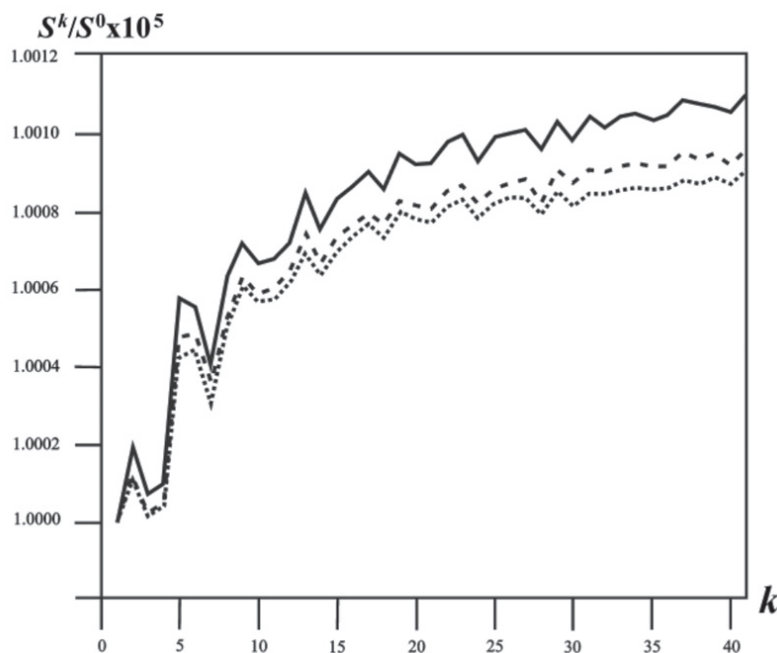


Рис. 2. Зависимость нормированной информационной энтропии S^k/S^1 от расстояния между аминокислотными остатками (k) в паре. Точечная линия обозначает зависимость, полученную для NRDB релиза 90, штриховая – для релиза 60 и сплошная – для релиза 30

«Переменный» остаток рассматривается в позициях от $n + 1$ до $n + k$ при положении «корневого» остатка в позиции n последовательности белка. При расчете вероятностных матриц P^k были использованы все аминокислотные последовательности белков, входящие в рассматриваемый релиз базы NRDB. В результате были сформированы 50 матриц размером 20×20 ($k = 1 \dots 50$). Размер матриц определяется числом канонических аминокислотных остатков, встречающихся в белковых последовательностях. Полученные матрицы P^k характеризуют только расстояние между аминокислотными остатками в паре и не зависят от каких-либо других параметров исследуемых белковых последовательностей.

Для того, чтобы охарактеризовать расстояние k между остатками в паре, была рассчитана информационная энтропия Шеннона S^k для матриц P^k по формуле [7]

$$S^k = - \sum_{i=1}^{20} \sum_{j=1}^{20} P_{ij}^k \log_2 P_{ij}^k. \quad (1)$$

В результате были получены 50 значений информационной энтропии, по одному значению для каждой матрицы. Матрицы P^k и значения информационной энтропии S^k были получены для всех трех рассмотрен-

ных релизов базы данных NRDB. Исходя из предположения, что аминокислотные остатки, находящиеся в соседних положениях ($k = 1$), наиболее скоррелированы между собой в паре по типу, и, следовательно, матрица P^1 имеет минимальное значение энтропии S^1 , все остальные значения S^k были пронормированы на эту величину. График нормированных значений информационной энтропии S^k/S^1 для различных релизов NRDB приведен на рис. 2. Видно, что полученные кривые имеют S-образную форму и сходны для различных релизов NRDB. Для трех представленных зависимостей наблюдается почти полное совпадение локальных максимумов и минимумов. Это позволяет предположить, что полученные данные представляют собой специфические характеристики природных полипептидных цепей как класса молекул и не зависят от размера и состава анализируемых наборов данных.

Очевидно, что при росте k величина S^k/S^1 увеличивается и наблюдается падение амплитуды колебаний. При $k > 30$ функция S^k/S^1 почти достигает плато.

Наиболее интересной особенностью полученной зависимости является то, что на расстоянии между аминокислотными остатками $k = 5$ начинается устойчивый рост значений нормированной информационной

энтропии S^k/S^1 . Минимальные значения информационной энтропии наблюдаются при значениях k от 1 до 4. Основываясь на этих данных, мы предположили, что пентапептидные фрагменты ($k=4$) можно рассматривать как единицы структурной организации белка. Далее такие структурные единицы белков мы будем называть «информационными единицами» («information units», IU).

Метод анализа информации о структуре белка

Основываясь на предложенном приближении, белковую последовательность можно рассматривать не как последовательность аминокислотных остатков, а как систему последовательно расположенных и перекрывающихся (со сдвигом на одну позицию) информационных единиц. Для использования предложенного приближения при анализе белковых последовательностей был разработан специальный алгоритм.

Пусть первичная структура белка есть последовательность аминокислот A_i , $i=1, \dots, L$, где аминокислоты могут быть 20 типов.

В соответствии с предложенной парадигмой структурной организацией белков, каждой последовательности аминокислот, имеющей длину $M=5$, сопоставим величину, определенную следующим образом. Возьмем базу данных NRDB, состоящую из первичных структур белков. Последовательности $S=S_1 \dots S_M$ из M аминокислот сопоставим частоту $f(S)$ встречаемости в качестве всевозможных подпоследовательностей стоящих рядом аминокислот во всех белках из рассмотренной базы данных.

Выберем теперь набор последовательностей S' длины M , отличающихся от S заменой одной аминокислоты (таких последовательностей существует 20^M штук). Последовательности S' сопоставим соответствующую частоту $f(S')$. Проведем суммирование по всем возможным последовательностям S' , получаемым заменой одной аминокислоты и отвечающим S . В результате получим функцию

$$F(S) = \sum_{S'} f(S'). \quad (2)$$

Теперь для данного рассматриваемого белка $P=\{A_i\}$ длины L мы будем рассматривать всевозможные подпоследовательности $S \subset P$ длины M стоящих рядом аминокислот, таких подпоследовательностей в белке длины L будет $L-M+1=L-4$ штук. Введем нумерацию этих последовательностей $S=S_i$ длины 5 по их центрам i ,

таким образом, $i=3, \dots, L-2$, и рассмотрим функцию

$$F(i) = F(S_i), \quad (3)$$

то есть суммарную частоту встречаемости в базе данных NRDB всевозможных подпоследовательностей S' длины 5, отвечающих подпоследовательности S с центром в аминокислоте с номером i в данном белке.

Ранее для белка из L аминокислот была построена функция $F(i)$, $i=3, \dots, L-2$ частоты встречаемости в базе данных подпоследовательности длины 5. Сопоставим этой функции гистограмму, то есть функцию $F(x)$ на отрезке $(2, L-2]$, принимающую для $x \in (i-1, i]$ значение $F(x) = F(i)$.

Построим теперь по гистограмме $F(x)$ функцию нелинейного сглаживания $G(a, x)$ по следующему правилу.

Рассмотрим сглаживающую функцию $\phi(x)$ – непрерывную функцию с носителем на отрезке $[-1/2, 1/2]$, $\phi(-1/2) = \phi(1/2) = 0$, $\phi(0) = 1$, ϕ принимает положительные значения в интервале $(-1/2, 1/2)$, монотонно растёт на $[-1/2, 0]$, монотонно убывает на $[0, 1/2]$, график функции симметричен относительно отображения относительно прямой $x=0$. Мы также считаем, что функция ϕ гладкая, причём производная не обращается в нуль на отрезках $(-1/2, 0)$ и $(0, 1/2)$.

В качестве сглаживающей функции можно выбрать соответствующим образом сдвинутую и перерастянутую гауссовскую функцию e^{-x^2} , график которой обрезан на половине высоты.

Будем также рассматривать сдвиги и растяжения сглаживающей функции

$$\phi^{(a,b)}(x) = \phi\left(\frac{x-b}{a}\right), \quad (4)$$

где $a \geq 1$. Функция $\phi^{(a,b)}$ имеет носитель в отрезке $[-1/2a + b, 1/2a + b]$.

Определим теперь функцию нелинейного сглаживания $G(x, a)$ для функции F по следующей формуле

$$G(b, a) = \sup_c, \quad c: c\phi^{(ab)}(x) \leq F(x), \quad \forall x. \quad (5)$$

Таким образом, $G(b, a)$ есть максимальная высота $\sup$ сглаживающей функции шириной a с центром носителя в точке b , которую можно вписать в гистограмму F . Параметр a назовём масштабом сглаживания.

Носитель функции $G(x, a)$ имеет следующий вид. Функция $G(x, a)$ может быть отлична от нуля при $a \in [1, L-4]$, $x \in [2 + a/2, L-2 - a/2]$. Таким образом, функция нелинейного сглаживания име-

ет носитель, являющийся подмножеством треугольника на плоскости с координатами (x, a) с вершинами $(L/2, L-4)$, $(2+1/2, 1)$, $(L-2-1/2, 1)$.

Совокупность полученных значений сглаживающей функции $G(x, a)$ назовем информационной структурой исследуемого белка.

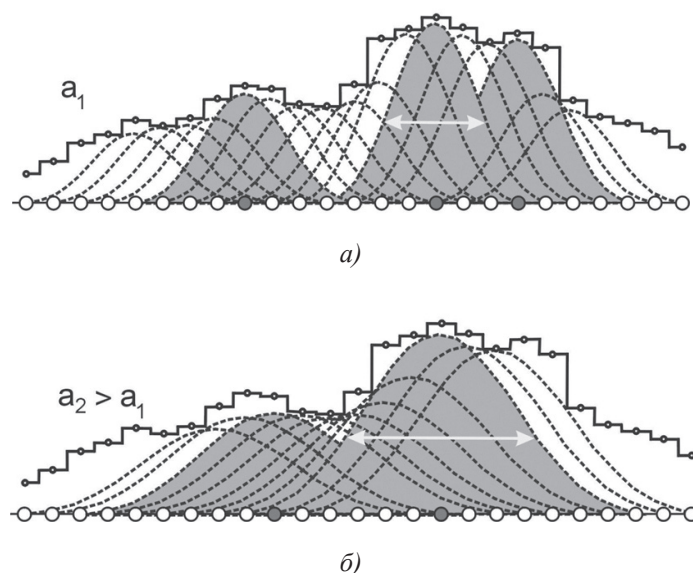


Рис. 3. Нелинейное сглаживание «популяции» функции эквивалентных: IU. а) с масштабом сглаживания a_1 ; б) с масштабом сглаживания $a_2 > a_1$. Масштабы сглаживания a_1 и a_2 показаны горизонтальными стрелками. Пунктирные и сплошные линии показывают все возможные функции сглаживания для рассматриваемого фрагмента белковой последовательности. Локальные максимумы сглаживающих функций $G(i, a)$ выделены серым фоном, а заполненные кружки показывают центральные аминокислотные остатки для таких сглаживающих функций

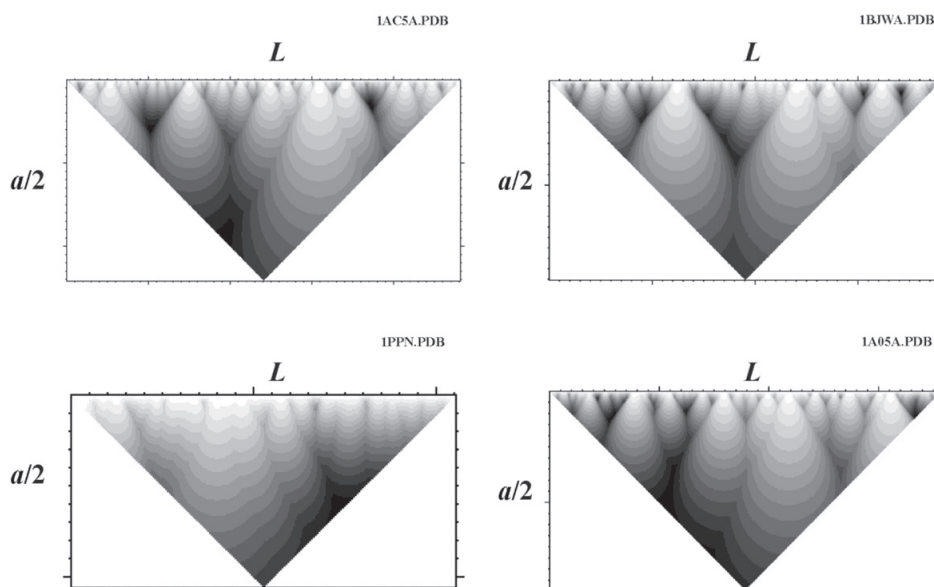


Рис. 4. Примеры расчетов информационных структур для различных белков. 1AC5A.PDB – KEX1(DELTA)P (цепь A) из *Saccharomyces Cerevisiae*, 1BJWA – аспаратаминоминотрансфераза (цепь A) из *Thermus Thermophilus*, 1PPN – моноклиный папаин из *Carica Papaya*, 1A05A – 3-изопропилмалат дегидрогеназа (цепь A) из *Thiobacillus Ferrooxidans*, a – масштаб сглаживания, L – число остатков в белковой последовательности

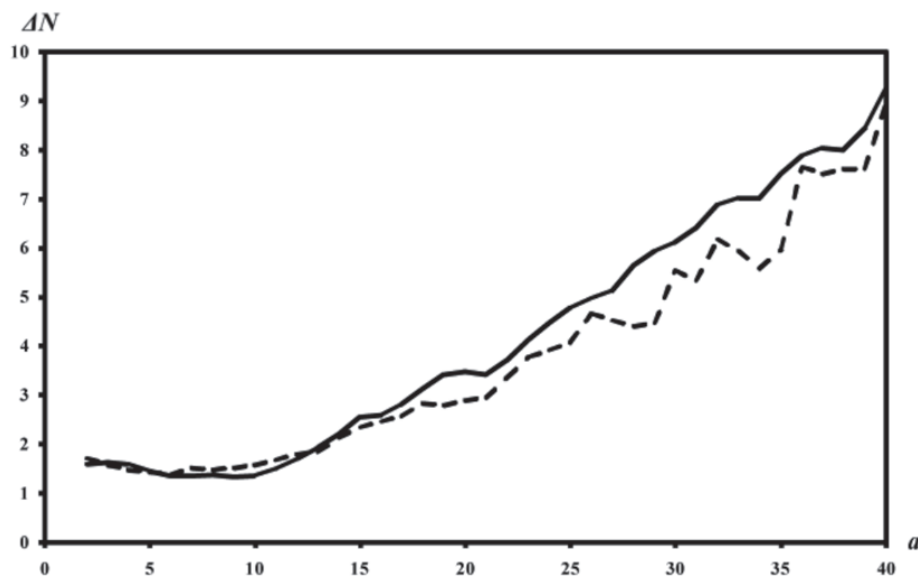


Рис. 5. График соотношения между ΔN и a . ΔN – среднее отклонение сглаживающей функции $G(i, a)$, выраженное в количестве позиций, для локальных максимумов (сплошная линия) и локальных минимумов (пунктирная линия), a – масштаб сглаживания, полученный для 100 случайно выбранных белковых последовательностей

Точность результатов, полученных методом АНИС

Мы использовали метод «бутстреп» [2, 10], чтобы создать 100 тестовых наборов белковых последовательностей на основе ранее описанной базы данных NRDB релиз 90.

Эти тестовые наборы были использованы для проверки устойчивости результатов, получаемых АНИС методом [4]. На основе этих тестовых наборов была получена статистика встречаемости для IU. Эта статистика была использована для расчета информационных структур 100 случайно выбранных белковых последовательностей длиной более 300 аминокислотных остатков. На рис. 5 представлен график среднего отклонения в положениях локальных максимумов и локальных минимумов сглаживающей функции $G(x, a)$ при различных значениях масштаба сглаживания a .

На рис. 5 показано, что для масштаба сглаживания a , находящегося в интервале значений от 2 до 12, среднее отклонение в позициях локальных максимумов и минимумов – примерно ± 2 позиции, и среднее отклонение растет по мере увеличения масштаба сглаживания. Максимальное среднее отклонение при $a = 40$ для обоих максимумов и минимумов – почти ± 9 . Ошибка идентификации элементов информационной структуры изменяется от 1 до 3 пози-

ций для значений масштаба сглаживания от 2 до 22, т.е. для фрагментов белковой последовательности длиной от 5 до 45 аминокислотных остатков.

Выводы

Анализ данных позиционной информационной энтропии позволил обосновать новую парадигму структурной организации белков, в которой элементарной структурной единицей является группа из пяти рядом стоящих аминокислотных остатков. Использование этой парадигмы позволило разработать новый метод анализа аминокислотных последовательностей белков, позволяющий выявлять иерархическую организацию в их первичной структуре.

Авторы благодарят коллектив Лаборатории химии протеолитических ферментов ИБХ РАН за полезное обсуждение работы и помощь в организации рабочего процесса.

Эта работа была поддержана Российской Академией Наук [грант по программе фундаментальных исследований в стратегических направлениях развития науки Президиума РАН «Фундаментальные проблемы математического моделирования» (код программы: П.4П), проект «Математическая модель пространственной орга-

низации природных полипептидных цепей на основе информационного контента первичной структуры»].

Список литературы

1. Anfinsen C.B., Haber E., Sela M., White F.H.Jr. The kinetics of formation of native ribonuclease during oxidation of the reduced polypeptide chain // *Proc Natl Acad. Sci. USA.* – 1961. – Vol. 47, № 9. – P. 1309–1314.
2. Efron B., Tibshirani R.J. *An Introduction to the Bootstrap.* NY: Chapman & Hall, 1993. – 456 P.
3. Holm L., Sander C. Removing near-neighbour redundancy from large protein sequence collections // *Bioinformatics.* – 1998. – Vol. 14, № 5. – P. 423–429.
4. Nekrasov A.N. Analysis of the information structure of protein sequences: a new method for analyzing the domain organization of proteins // *J. Biomol. Struct. Dyn.* – 2004. – Vol. 21, № 5. – P. 615–624.
5. Ptitsyn O.B., Volkenstein M.V. Protein structures and neutral theory of evolution // *J. Biomol. Struct. Dyn.* – 1986. – Vol. 4, № 1. – P. 137–156.
6. Rogov S.I., Nekrasov A.N. A numerical measure of amino acid residues similarity based on the analysis of their surroundings in natural protein sequences // *Protein Eng.* – 2001. – Vol. 14, № 7. – P. 459–463.
7. Shannon C.E. A Mathematical Theory of Communication // *The Bell System Technical Journal.* – 1948. – Vol. 27. – P. 379–423, P. 623–656.
8. Szoniec G., Ogorzalek M.J. Entropy of never born protein sequences // *SpringerPlus.* – 2013. – Vol. 2, № 1. – P. 200.
9. Weiss O., Jiménez-Montaño M.A., Herzel H. Information content of protein sequences // *J. Theor. Biol.* – 2000. – Vol. 206, № 3. – P. 379–386.
10. Wu C.F.J. Jackknife, bootstrap and other resampling methods in regression analysis // *Annals of Statistics.* – 1986. – Vol. 14, № 4. – P. 1261–1295.

УДК 54.063

ОЦЕНКА РАЗМЕРА И ФОРМЫ ЧАСТИЦ ФАРМАЦЕВТИЧЕСКИХ СУБСТАНЦИЙ МИКРОСКОПИЧЕСКИМ МЕТОДОМ

Новик Е.С., Доренская А.В., Борисова Н.А., Гунар О.В.

ФГБУ «Научный центр экспертизы средств медицинского применения»

Министерства здравоохранения Российской Федерации, Москва, e-mail: Novik@expmed.ru

С использованием метода микроскопии были изучены формы частиц фармацевтических субстанций 26 наименований, предложен модифицированный подход к классификации частиц по форме с включением дополнительной группы частиц – «призмы». Описана методика приготовления микропрепаратов, фотографирования частиц и обработки изображений с помощью программы ВидеоТест-Размер 7.0. Приведены сравнительные характеристики форм частиц субстанций в соответствии с требованиями ГФ XIII издания и американской фармакопеи. В группах субстанций с различной формой частиц определен фракционный состав порошков. Отмечается важность определения размеров не только доминирующей фракции, но и всех значимых фракций порошков изучаемых субстанций. Выявлена необходимость изучения и классификации форм и размеров частиц фармацевтических субстанций, показана целесообразность включения этих требований в нормативную документацию производителя.

Ключевые слова: фармацевтические субстанции, размер частиц, форма частиц, метод микроскопии, классификация частиц

ASSESSMENT OF PARTICLE SIZE AND SHAPE OF FARMACEUTICAL SUBSTANCES WITH MICROSCOPIC TECHNIQUE

Novik E.S., Dorenskaya A.V., Borisova N.A., Gunar O.V.

Federal State Budgetary Institution «Scientific Centre for Expert Evaluation of Medicinal Products» of the Ministry of Health of the Russian Federation, Moscow, e-mail: Novik@expmed.ru

Particle shapes of 26 names of pharmaceutical substances have been studied with the microscopic technique. Modified approach to particle classification by shape which uses additional particle group «prisms» has been proposed. Methods for prepare micropreparates, to make its photoes, digital picture processing with VideoTest-Size 7.0 programme has been described. Comparative characteristics of particle size and shape of substances in accordance with the demands of current pharmacopoeias have been performed. Importance particle size of different fraction detection has been established. The need to study and classify particle size and shape of pharmaceutical substances has been revealed. Practicability of inclusion of these requirements in manufacturer's regulatory documents has been shown.

Keywords: pharmaceutical substances, particle size, particle shape, microscopic technique, particle classification

Необходимость изучения физико-химических и технологических характеристик фармацевтических субстанций и вспомогательных веществ, а также оценки их физического состояния, в частности размеров частиц и их морфологии (формы и вида поверхности), сегодня не вызывает сомнений [1, 7, 8]. Форма и размер частиц определяют большинство технологических характеристик порошков, таких как насыпная масса, сыпучесть, угол откоса, прессируемость, электризуемость, что, в свою очередь, сказывается на качестве готовой лекарственной формы (ЛФ) [4]. Форма частиц может оказывать влияние на процесс обработки и на свойства конечного продукта, например на текучесть или абразивность [7].

Дисперсность лекарственных веществ (ЛВ) имеет непосредственное отношение к их терапевтическому эффекту: с уменьшением размера частиц увеличивается поверхностная энергия измельчаемого ЛВ, которое

лучше растворяется, быстрее и полнее участвует в химических реакциях. От размера частиц зависит скорость и полнота всасывания ЛВ, его концентрация в биожидкостях при любых способах назначения в виде различных ЛФ. Так, например, противовирусный препарат Ацикловир в форме мази проявляет свое терапевтическое действие лишь при размере его частиц в готовой форме не более 50 мкм [6].

В работе Е.К. Гузева и др. [3] показано, что при сходном составе пяти серий крема Клотримазол в каждой из них обнаружены кристаллы разных размеров и форм, при этом изученные серии были изготовлены из субстанций разных производителей. Измерение размеров кристаллов показало, что препараты отличаются по долевого распределению частиц разных размеров.

Применение метода оптической микроскопии для выявления различий форм и размеров кристаллов лекарственных субстанций в препаратах от разных производителей

позволяет при необходимости либо выявить фальсификат, либо подтвердить авторство истинного производителя.

Показатель «Размер частиц» характеризует качество препарата, а также подтверждает правильность проведения технологического процесса. Например, при выборе оптимального состава и технологии производства таблеток пара-аминосалициловой кислоты (ПАСК) было установлено, что свойства субстанций разных серий одной и той же фирмы отличаются, в частности, по форме и размеру частиц, контроль которых не предусмотрен нормативной документацией (НД) фирм-изготовителей. Именно поэтому изучение таких характеристик субстанций является одной из важных стадий исследований при разработке ЛФ препарата, так как от результата этих исследований зависит выбор технологии и основных параметров процесса получения таблеток [5].

Наибольшее влияние на технологические свойства порошков оказывает доминирующая фракция, однако в работах, проведенных на химико-фармацевтическом комбинате «Акрихин» авторы показали, что характеристика всех значимых фракций порошка необходима не только для стабилизации технологических параметров производства таблеток, но и повышения качества таблеток [4].

В настоящее время действующая Государственная фармакопея XIII издания (ГФ XIII изд.), НД фирм-производителей фармацевтических субстанций в основном не предусматривает требования к размеру частиц. Это приводит к тому, что субстанции, удовлетворяющие требованиям к качеству по имеющимся в НД показателям, оказываются порой непригодными для получения качественной ЛФ [4].

Показатель «Размер частиц» включен в крайне ограниченное число НД, а именно на субстанции папаверина гидрохлорид (страна-производитель – Италия), эналаприла малеат (Индия), сальбутамол (Россия), кальция полистиролсульфонат (Япония), валсартан (Венгрия). При этом требования к размеру частиц и рекомендуемые методы не стандартизованы.

Целью представленной работы является изучение формы и размеров частиц фармацевтических субстанций с помощью метода микроскопии.

Материалы и методы исследования

Объектами исследования явились отечественные и зарубежные фармацевтические субстанции 26 наименований, используемые для производства различных ЛФ.

Методика приготовления микропрепарата. На предметное стекло наносили небольшое количество порошка субстанции (примерно 0,01 г), добавляли каплю иммерсионного масла, равномерно распределяли смесь стеклянной палочкой, накрывали покровным стеклом, аккуратно придавливали, избегая сильного нажима. Препарат закрепляли на предметном столике микроскопа, частицы изучали при увеличениях $\times 100$ или $\times 200$, в зависимости от размера частиц каждой субстанции. Если размер частиц находился в широком диапазоне, измерение и фотографирование проводили последовательно при двух увеличениях, что давало возможность охарактеризовать форму частиц и определить средний линейный размер всех фракций. Увеличение подбирали так, чтобы измеряемые изображения частиц имели размер не менее 1 мкм.

Оборудование. Определение формы и размера частиц исследуемых субстанций проводили при помощи оптического микроскопа Olympus BX41 (Япония) (диапазон увеличений $\times 100 - \times 400$) с дополнительным источником освещения – Olympus KL 1500. Для документирования и обработки изображений использовали программу «ВидеоТест – Размер 7.0» (г. Санкт-Петербург), предварительно фотографируя три поля зрения с помощью цифровой фотокамеры DP-20.

Результаты исследования и их обсуждение

Форма частиц фармацевтических субстанций

Рассмотрение большого количества образцов субстанций показало, что все многообразие форм их кристаллов в плоскостной проекции может быть сведено к нескольким геометрическим фигурам. При этом необходимо отметить, что некоторые порошки могут содержать кристаллы разных форм и/или их фрагменты. Существование в практике большого количества методов для оценки формы частиц, которые часто дают несопоставимые результаты, вызывает трудности в понимании важности и необходимости проведения такого рода исследований. На данном этапе более приемлемым методом оценки формы частиц фармацевтических порошков можно считать метод, описанный в ГФ XIII изд., ОФС.1.2.1.0009.15 «Оптическая микроскопия» [2], требования которой гармонизированы с подобной статьей USP38-NF33 [9]. В ГФ XIII изд. приведена форма 6 групп частиц кристаллических порошков (рисунок).

Ряд авторов [4] предлагают внести некоторую корректировку в описание формы частиц групп 3, 4 и 5, а именно: термины «колоннообразные», «чешуйчатые», «пластинчатые» дополнить соответственно терминами «палочковидные», «пластинчатые» и «пластинчатые – объемные». Вместо 6-й группы (планкообразные) предлагается ввести новую группу – призматические и пирамидальные частицы, так как такая форма

частиц достаточно широко представлена на рынке фармацевтических субстанций и вспомогательных веществ.

На рисунке представлены частицы следующей формы:

1 – равносторонние: частицы с одинаковой длиной, шириной и толщиной, включая кубические и сферические частицы;

2 – игольчатые: тонкие, похожие на иглу частицы, или сходные с ней по соотношению длины и толщины;

3 – колоннообразные: длинные тонкие частицы с шириной и толщиной больше, чем игольчатые;

4 – чешуйчатые: тонкие, плоские с одинаковой шириной и длиной;

5 – пластинчатые: плоские, одинаковые по длине и ширине, но с большей толщиной, чем чешуйчатые;

6 – планкообразные: крупные, тонкие, пластинчатые частицы.

Частицы могут быть иной, неопределенной формы.

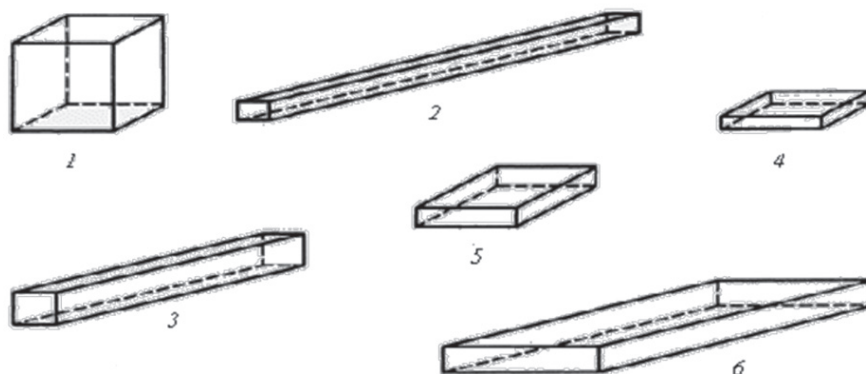
В фармакопее США те же группы частиц описываются следующими терминами: 1 – изодиаметрическая – частица примерно равной длины, ширины и толщины, включаются как кубические, так и сферические частицы; 2 – игольчатая – узкая иглообразная частица примерно равной ширины и толщины; 3 – колоннообразная – длинная, тонкая частица с шириной и толщиной большей, чем у игольчатой частицы; 4 – хлопьевидная – тонкая плоская частица примерно равной длины и ширины; 5 – пластинчатая – плоские частицы примерно равной длины и ширины с большей толщиной, чем у хлопьевидных; 6 – лейста – длинная тонкая лезвиеподобная частица.

Нами была изучена форма частиц 26 наименований фармацевтических субстанций.

Среди них было выявлено 7 основных форм, 6 из которых нам удалось разделить на группы согласно ГФ XIII изд. В изученных субстанциях преобладали частицы колоннообразной (включая палочкообразную) и пластинчатой формы – по 32%. Далее в порядке убывания: сферические – 16%, чешуйчатые – 12% и по 4% – игольчатых и планкообразных. В название группы № 3 (колоннообразная форма) нами было внесено уточнение («колоннообразная, включая палочкообразную»), так как форму частиц ряда субстанций (например, кетотифен, белсеразида гидрохлорид) можно более точно описать термином «палочки», чем «колонны». По этой причине мы предлагаем группу «колоннообразные» дополнить термином «палочкообразные». Частицы ряда субстанций имели другую форму, например призматическую (рисперидон, пирацетам), в связи с чем мы выделили их в отдельную дополнительную группу (№ 7).

В табл. 1 представлена классификация частиц по форме основной фракции, в правом столбце присутствуют фотографии частиц некоторых субстанций из каждой группы.

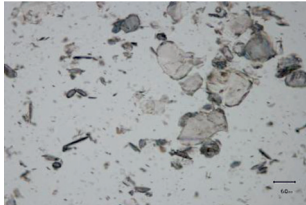
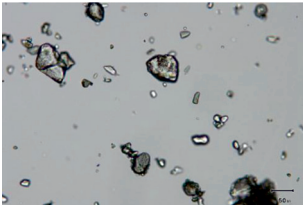
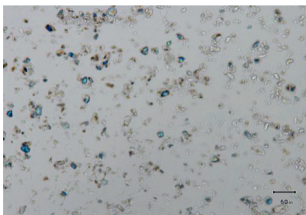
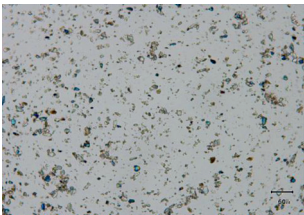
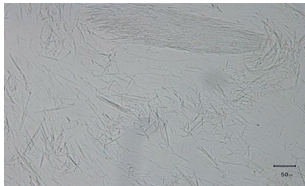
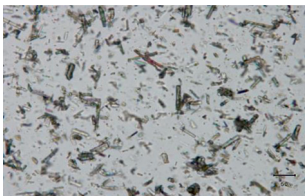
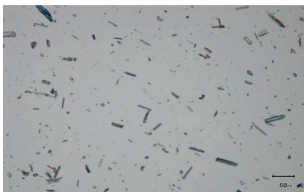
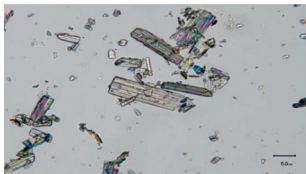
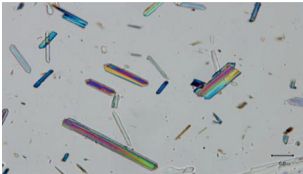
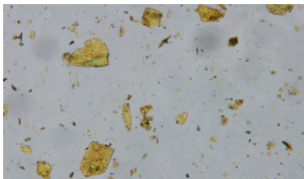
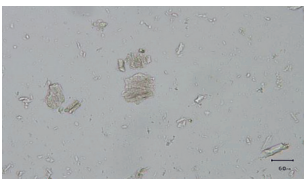
Согласно полученным данным, некоторые субстанции состояли в основном из частиц одной формы (порошок магния аспарагината – сферической, мемантина гидрохлорида – игольчатой, биспролола – пластинчатой, флуоксетина – колоннообразной и т.д.). В других субстанциях отмечали наличие двух или нескольких видов частиц различной формы: так, в порошке субстанции валсартан были обнаружены частицы чешуйчатой и палочкообразной формы, составлявшие 57% и 43% от общего числа частиц соответственно. В субстанции янтарной кислоты в основном наблюдались кристаллы планкообразной формы в присутствии палочек.



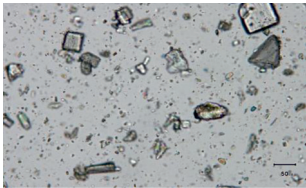
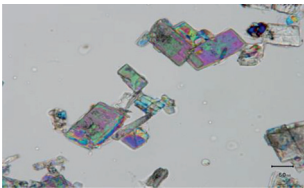
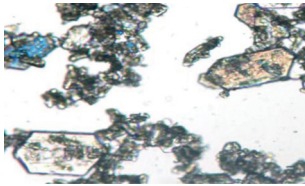
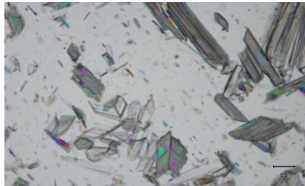
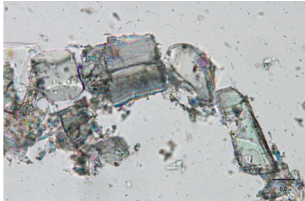
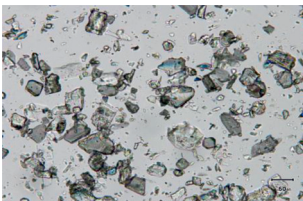
Форма частиц согласно ГФ XIII изд.

Таблица 1

Классификация фармацевтических субстанций по форме частиц основной фракции

Форма частиц	Название субстанций	
1	2	
№ 1 сферическая: борная кислота, винпоцетин, диазолин, магния аспарагинат		
	Борная кислота	Винпоцетин
		
	Магния аспарагинат	Диазолин
№ 2 игольчатая: мемантина гидрохлорид		
	Мемантина гидрохлорид	
№ 3 колоннообразная (включая палочкообразную): бенсеразида гидрохлорид, галодиф, ипратропия бромид, карведилол, кетотифен, лоратадин, фенибут, флуоксетина гидрохлорид		
	Кетотифен	Белсеразида гидрохлорид
		
	Карведилол	Флуоксетина гидрохлорид
№ 4 чешуйчатая: валсартан, клопидогрел, фурацилин		
	Фурацилин	Валсартан

Окончание табл. 1

1	2
№ 5 пластинчатая: альфа-липоевая кислота, аскорбиновая кислота, бисопролола фумарат, инсулин, парацетамол, торасемид, фамцикловир	 Аскорбиновая кислота  Бисопролола фумарат  Торасемид
№ 6 планкообразная: янтарная кислота	 Кислота янтарная
№ 7 призматическая: пирацетам, рисперидон	 Пирацетам  Рisperидон

Таким образом, при всем многообразии форм частиц фармацевтических субстанций нам удалось охарактеризовать их в соответствии с требованиями ГФ XIII изд. Дополнительно мы предлагаем ввести группу частиц призматической формы, так как она достаточно часто встречается.

Наличие на фармацевтическом рынке большого количества субстанций, состоящих из разнообразных кристаллических форм, свидетельствует о необходимости их изучения с целью обоснованного выбора субстанций надлежащего качества для производства готовых ЛФ. На данном этапе необходимо рекомендовать производителям постепенно включать эти требования в НД на субстанции.

Размер частиц фармацевтических субстанций

Вторая часть исследований касалась изучения размера частиц субстанций, которые были поделены на 7 групп (табл. 2).

Из данных, приведенных в таблице, видно, что фракция с самыми малыми размерами (менее 10 мкм) определяется в порошках с частицами только сферической формы. Судя по форме частиц, можно предположить, что такие порошки (например, диазолин, магния аспарагинат) будут обладать оптимальными технологическими характеристиками, что подтверждается данными литературных источников [7].

Размер большинства частиц изученных субстанций с игольчатой, колонно-

бразной (палочкообразной) и чешуйчатой формой (группы 2, 3 и 4 соответственно) колебался в диапазоне от 10 до 100 мкм, причем большее количество частиц приходилось на группу с размерами от 10 до 50 мкм. Частицы более 100 мкм в этих группах обнаружены только в порошках флуоксетина и карведилола (22 и 15 % от общего числа частиц, соответственно). Размеры частиц субстанций пластинчатой формы (группа 5) колебались в более широких диапазонах по сравнению с предыдущими группами: размеры частиц 50 % субстанций находились в основном в пределах от 10 до 50 мкм, однако в субстанциях биспролола и альфа-липоевой кислоты встречались частицы размером более 100 мкм (81 и 26 % соответственно). Группа 6 (планкообразная форма частиц) пред-

ставлена в наших исследованиях только одной субстанцией – янтарной кислотой. Все частицы планкообразной формы были крупными – более 100 мкм: размер самой мелкой из этих частиц составлял 114 мкм, самой крупной – 443 мкм.

Следует отметить, что в порошке янтарной кислоты также встречаются частицы палочкообразной формы, большая часть которых имеет размеры от 10 до 50 мкм. В группе субстанций с частицами призматической формы (группа 7) встречались частицы размером от 10 до 100 мкм (при этом в рисперидоне 71 % составляли частицы от 10 до 50 мкм), тогда как частицы субстанции пирacetам в основном представляли собой крупные кристаллы призматической формы размером более 100 мкм (86 % частиц).

Таблица 2

Соотношение частиц различных размеров в изученных фармацевтических субстанциях

Наименование субстанции	Размер частиц, мкм			
	менее 10	10–50	50–100	более 100
группа 1 – частицы сферической формы				
Диазолин	97%	3%	–	–
Магния аспарагинат	16%	84%	–	–
Борная кислота	50%	28%	16%	6%
Винпоцетин	5%	66%	17%	2%
группа 2 – частицы игольчатой формы				
Мемантина гидрохлорид	–	94%	6%	–
группа 3 – частицы колоннообразной и палочкообразной формы				
Кетотифен	2%	76%	20%	2%
Фенибут	–	99%	1%	–
Флуоксетина гидрохлорид	–	41%	37%	22%
Карведилол	–	81%	4%	15%
Бенсеразид гидрохлорид	75%	19%	6%	–
Лоратадин	–	–	87%	13%
группа 4 – частицы чешуйчатой формы				
Инсулин	–	62%	38%	–
Клопидогрел	–	85%	15%	–
Валсартан	–	–	50%	50%
группа 5 – частицы пластинчатой формы				
Торасемид	–	90%	10%	–
Фамцикловир	–	100%	–	–
Биспролол	–	–	19%	81%
Альфа-липоевая кислота	–	21%	53%	26%
Аскорбиновая кислота	–	70%	25%	5%
группа 6 – частицы планкообразной формы				
Янтарная кислота	–	–	–	100%
дополнительная группа 7 – частицы призматической формы				
Рисперидон	–	71%	29%	–
Пирacetам	–	–	14%	86%

Заключение

Изучение размеров и формы частиц имеет важное значение для характеристики технологических свойств субстанций при разработке состава различных готовых лекарственных форм, обеспечивая необходимую биодоступность и, соответственно, эффективность, стабильность при хранении и безопасность лекарственного препарата.

Метод микроскопии с программным обеспечением является доступным и достаточно точным для определения линейных размеров и форм частиц, в связи с чем его можно рекомендовать для оценки качества фармацевтических субстанций.

Наличие на фармацевтическом рынке большого количества субстанций, состоящих из разнообразных кристаллических форм, свидетельствует о необходимости изучения последних с целью обоснованного выбора субстанций надлежащего качества для производства готовых ЛФ. Целесообразно включать требования, характеризующие размер и форму частиц субстанций, в НД.

Список литературы

1. Высокоэффективные технологии измерения формы и размера частиц при разработке и обеспечении качества твердых лекарственных форм. Фармацевтическая отрасль – 2013. – № 3(38). – С. 96–100.
2. Государственная фармакопея Российской Федерации. 13-е изд. Т. 1. ОФС.1.2.1.0009.15 «Оптическая микроскопия». Available from: <http://femb.ru/feml>.
3. Гузев Е.К., Гузев К.С., Раменская Г.В. Изучение показателей «Размер частиц» и «Дисперсность эмульсий» в препаратах-дженериках клотримазола. Фармация. – 2014. – № 5. – С. 28–34.
4. Емшанова С.В., Абрамович Р.А., Потанина О.Г. Влияние формы и размера частиц субстанций на качество готовых лекарственных средств. Научно-производственный журнал. – 2014. – № 7. – С. 45–63.
5. Емшанова С.В., Рябова Л.К., Зуев А.П., Тюляев И.И., Садчикова Н.П. Разработка таблетированной формы противотуберкулезного препарата. Вестник ВГУ. Серия: Химия. Биология. Фармация. – 2005. – № 2. – С. 173–8.
6. Емшанова С.В., Садчикова Н.П., Зуев А.П. О контроле размера и формы частиц лекарственных веществ. Химико-фармацевтический журнал. – 2007. – № 41(1). – С. 41–49.
7. Accuracy of particle analysis impacts manufacturing process and final product. Available from: <http://www.pharmaceuticalonline.com>.
8. Particle shape – an important parameter in pharmaceutical manufacturing. Malvern Instruments Ltd. Category: Pharmaceutical Manufacturing.
9. United States Pharmacopeia. 38th ed. 2016. Available from: <http://www.uspnf.com>.

УДК 543.544

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ВЫСОКОЭФФЕКТИВНОЙ ЖИДКОСТНОЙ ХРОМАТОГРАФИИ ДЛЯ АНАЛИЗА ЭФИРОВ 4-ГИДРОКСИБЕНЗОЙНОЙ КИСЛОТЫ

Осипов А.С., Попова О.А., Сулейманов Р.Р., Нездольева М.В.

ФГБУ «Научный центр экспертизы средств медицинского применения»

Министерства здравоохранения Российской Федерации, Москва, e-mail: Osipov@expmed.ru

Исследована возможность применения хроматографических колонок с фенильными и нитрильными сорбентами для разделения эфиров 4-гидроксibenзойной кислоты (парабенов) при определении антими-
кробных консервантов в лекарственных препаратах. В качестве подвижных фаз применяли смеси ацето-
нитрила или метанола и воды. При замене воды на буферный раствор KH_2PO_4 эффективность хроматогра-
фических колонок увеличивается в 1,3 раза. На фенильных и нитрильных колонках n-гептилпарабен имеет
значительно меньшее время удерживания, чем на колонках C18. Хроматография парабенов может быть
удобным инструментом для изучения свойств хроматографических колонок с фенильными и нитрильными
сорбентами. Разрешение между пиками парабенов в условиях жидкостной хроматографии гидрофильных
взаимодействий существенно меньше, чем в условиях обращенно-фазовой хроматографии. В отличие от
аминогрупп, нитрильные группы практически не обладают сродством к фенольным гидроксильным груп-
пам парабенов в условиях жидкостной хроматографии гидрофильных взаимодействий.

Ключевые слова: высокоэффективная жидкостная хроматография, жидкостная хроматография гидрофильных
взаимодействий, эфиры 4-гидроксibenзойной кислоты (парабены), сорбенты, Фармакопея
США, Европейская фармакопея

APPLICATION OF HIGH PERFORMANCE LIQUID CHROMATOGRAPHY FOR ANALYSIS 4-HYDROXYBENZOIC ACID ESTERS

Osipov A.S., Popova O.A., Suleymanov R.R., Nezdoleva M.V.

Federal State Budgetary Institution «Scientific Centre for Expert Evaluation of Medicinal Products»
of the Ministry of Health of the Russian Federation, Moscow, e-mail: Osipov@expmed.ru

The possibility of the use of chromatographic columns with phenyl and nitrile sorbents for separation of
4-hydroxy-benzoic acid esters (parabens) was investigated. As the mobile phase used a mixture of acetonitrile or
methanol and water. The use instead water of the buffer solution KH_2PO_4 increases the efficiency of the columns
is 1.3 times. On the phenyl and nitrile columns n-heptilpaben has a significantly lower retention time than C18
columns. Chromatography of parabens can be a useful tool for studying the properties of chromatographic columns
with phenyl and nitrile sorbents. Resolution between the peaks of parabens in a hydrophilic interaction liquid
chromatography significantly less than in conditions of reversed-phase chromatography. In contrast to the amino
groups, nitrile groups have practically no affinity to the phenolic hydroxyl groups of parabens in a hydrophilic
interaction liquid chromatography.

Keywords: high performance liquid chromatography, hydrophilic interaction liquid chromatography (HILIC),
4-hydroxybenzoic esters (parabens), sorbents, United States Pharmacopeia, European Pharmacopeia

Эфиры пара гидроксibenзойной кисло-
ты (название соединений по Европейской
фармакопее), или парабены (название со-
единений по Фармакопее США), применяют
главным образом при изготовлении суспен-
зий и микстур, а также в парфюмерной про-
мышленности в качестве антимикробных
консервантов. В этой статье для краткости
изложения материала использовали наи-
менование Фармакопеи США. Кроме того,
парабены могут вводиться в состав твердых
желатиновых капсул для предотвращения
разрушения желатина микроорганизмами.
Наиболее часто применяют метилпарабен
(нипагин) и пропилпарабен (нипазол), их
обычно используют совместно в соотноше-
нии по массе 4:1. Кроме того, бутилпарабен
применяют в качестве пластификатора при

изготовлении лекарственных форм. Условия
хроматографирования парабенов полно-
стью гармонизированы в соответствующих
фармакопейных статьях Европейской фар-
макопеи и Фармакопеи США. Следует, од-
нако, отметить, что наряду с нейтральными
(фенольными) формами парабенов в Фар-
макопее США описаны натриевые (раство-
римые) формы парабенов [6, 7]. В моногра-
фиях зарубежных фармакопей приведена
методика хроматографирования парабенов
на колонках C18 150×4,6 мм (5 мкм) при
длине волны 272 нм. В качестве подвиж-
ной фазы применяют смесь 6,8 г/л KH_2PO_4
в воде – метанол (35:65). Скорость потока –
1,3 мл/мин. Данные условия хроматогра-
фирования применяют при анализе метил-,
этил- и пропилпарабенов. При анализе бу-

тилпарабена соотношение компонентов подвижной фазы – 50:50. Изменение состава подвижной фазы вызвано необходимостью определения примеси в консерванте – изобутилпарабена [5]. *Н*-гептилпарабен не описан в фармакопейных статьях, его применяют в качестве внутреннего стандарта при количественном определении такролимуса в мазях и некоторых других препаратов. В данном случае применение внутреннего стандарта компенсирует эффект

неполной экстракции препаратов из гидрофобной мазевой основы. В этом исследовании, *н*-гептилпарабен использовали только как гидрофобное соединение при изучении свойств хроматографических колонок с фенильными и нитрильными сорбентами.

Цель работы – исследование возможности применения хроматографических колонок с нитрильными и фенильными сорбентами для определения антимикробных консервантов в лекарственных препаратах.

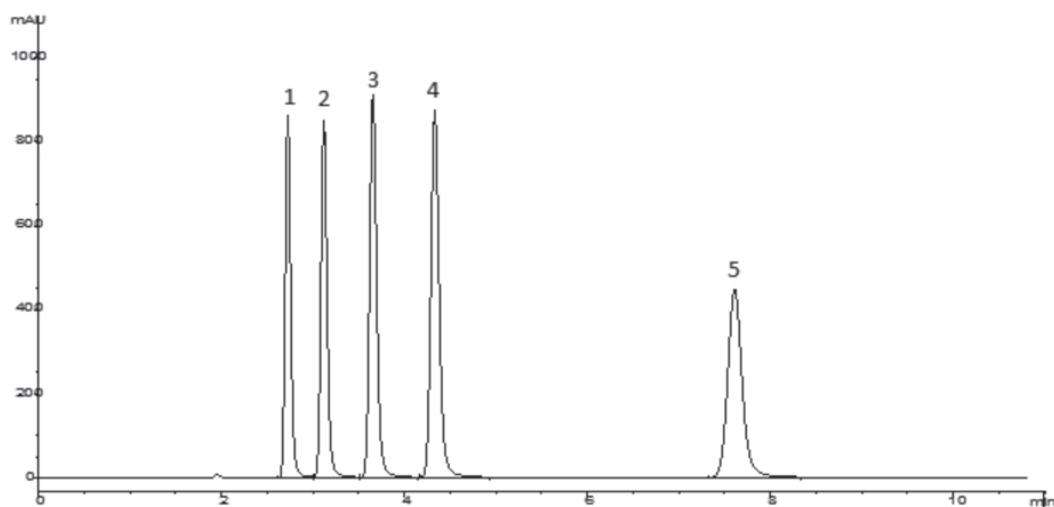


Рис. 1. Хроматограмма модельной смеси стандартных образцов парабенов. Условия анализа: колонка Spherisorb Phenyl 150×4,6 мм (5 мкм); подвижная фаза – ацетонитрил – 50 мМ KH_2PO_4 (рН 4,6) (40:60); скорость потока – 1,0 мл/мин; детектирование 260 нм. 1 – метилпарабен, 2 – этилпарабен, 3 – пропилпарабен, 4 – бутилпарабен, 5 – *н*-гептилпарабен

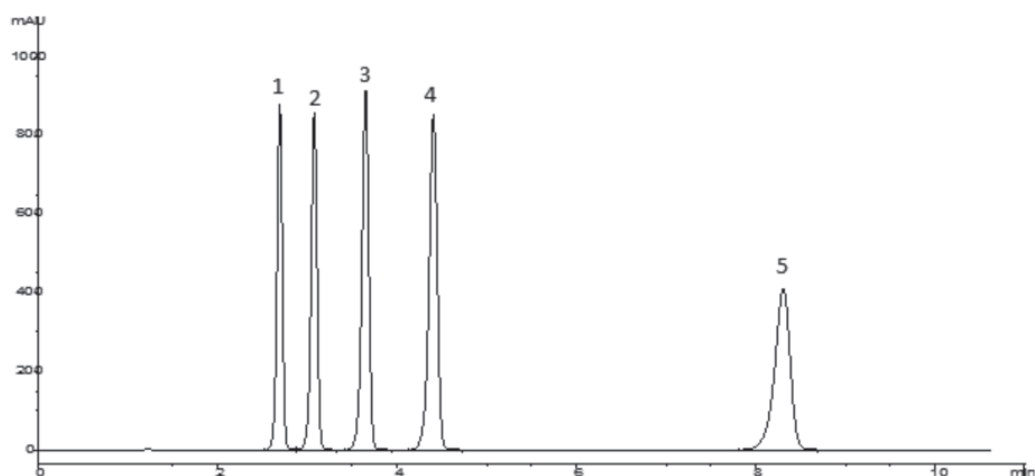


Рис. 2. Хроматограмма модельной смеси стандартных образцов парабенов. Условия анализа: колонка Zorbax XDB CN 150×4,6 мм (5 мкм); подвижная фаза – ацетонитрил – вода (40:60); скорость потока – 1,0 мл/мин; детектирование 260 нм. 1 – метилпарабен, 2 – этилпарабен, 3 – пропилпарабен, 4 – бутилпарабен, 5 – *н*-гептилпарабен

Времена удерживания и разрешение между пиками метил-, этил-, пропил- и бутилпарабена при различных условиях хроматографирования*

Колонка. Состав подвижной фазы	Разрешение между пиками метил- и этил- парабена	Разрешение между пиками пропил- и бу- тилпарабена	Время удер- живания метил-пара- бена, мин	Время удерживания пропил-пара- бена, мин	Время удерживания н-гептил- парабена, мин
Zorbax XDB C18 150×4,6 мм (5 мкм) Ацетонитрил – 50 мМ KH ₂ PO ₄ (4:6)	9,78	16,08	2,94	6,07	69,58
Zorbax XDB C18 150×4,6 мм (5 мкм) метанол – 50 мМ KH ₂ PO ₄ (55:45)	9,29	16,15	3,14	8,17	57,33
Zorbax XDB C18 150×4,6 мм (5 мкм) Ацетонитрил – вода (4:6)	6,51	13,30	2,65	6,105	61,57
Zorbax SB Phenyl 150×4,6 мм (3,5 мкм) Ацетонитрил – вода (4:6)	6,87	10,76	3,17	5,29	22,1
Spherisorb Phenyl 150×4,6 мм (5 мкм) Ацетонитрил – вода (4:6)	3,01	3,89	2,67	4,24	7,51
Spherisorb Phenyl 150×4,6 мм (5 мкм) Ацетонитрил – 50 мМ KH ₂ PO ₄ (4:6)	3,51	4,60	2,73	6,35	7,60
Spherisorb Phenyl 150×4,6 мм (5 мкм) метанол – 50 мМ KH ₂ PO ₄ (4:6)	5,79	6,88	3,31	6,24	40,88
Zorbax XDB CN 150×4,6 мм (5 мкм) Ацетонитрил – вода (4:6)	3,43	5,09	2,72	3,65	8,30
Диасфер Фенил 150×4,6 мм (5 мкм) Ацетонитрил – 50 мМ KH ₂ PO ₄ (4:6)	5,64	8,26	3,58	5,86	22,06
Zorbax NH ₂ 150×4,6 мм (5 мкм) Ацетонитрил – 2 мМ KH ₂ PO ₄ (95:5)	1,04	–	5,31	4,94	4,48
Zorbax NH ₂ 150×4,6 мм (5 мкм) Ацетонитрил – 2 мМ KH ₂ PO ₄ (98:2)	1,07	–	10,3	9,60	8,70

Пр и м е ч а н и е . *средняя величина пяти определений для каждого условия хроматографирования.

Материалы и методы исследования

Работа проводилась с использованием хрома-тографа Agilent, серия 1100 с диодно-матричным детектором («Agilent Technologies», США). Раз-деление парабенов осуществляли на следующих колонках: Zorbax XDB C18 150×4,6 мм (5 мкм), Zorbax SB Phenyl 150×4,6 мм (3,5 мкм), Zorbax XDB CN 150×4,6 мм (5 мкм), Zorbax NH₂ 150×4,6 мм

(5 мкм) («Agilent Technologies», США), Spherisorb Phenyl 150×4,6 мм (5 мкм) («Waters», США) и Диа-сфер Фенил 150×4,6 мм (5 мкм) («БиоХимМак», Россия). В работе использовали стандартные об-разцы метил-, этил-, пропилпарабенов Европейской фармакопеи, стандартный образец бутилпарабена Фармакопеи США. Стандартный образец 4-гидрок-сibenзойной кислоты *n*-гептиловый эфир (*n*-гептил-парабен) («Dr. Ehrenstorfer GmbH», Германия).

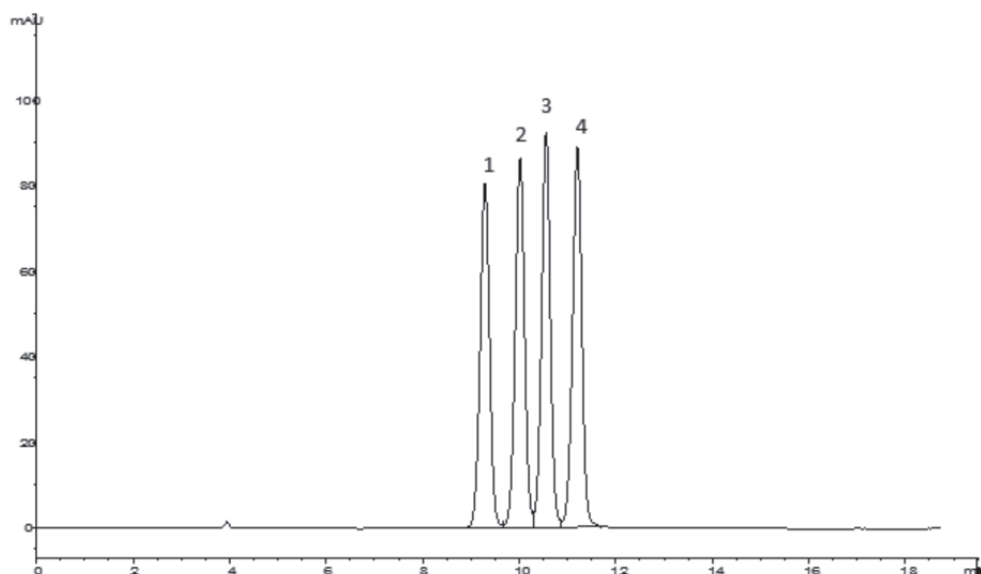


Рис. 3. Хроматограмма модельной смеси стандартных образцов парабен. Условия анализа: колонка Zorbax NH_2 , 150×4,6 мм (5 мкм); подвижная фаза – ацетонитрил – 2мМ KH_2PO_4 (98:2); скорость потока – 1,0 мл/мин; детектирование 260 нм: 1 – *n*-гептилпарабен, 2 – бутилпарабен, 3 – этилпарабен, 4 – метилпарабен

Результаты исследования и их обсуждение

Некоторые результаты хроматографирования парабен приведены в табл. 1. Следует отметить, что отклик детектора при 260 нм в 1,64 раза больше, чем при детектировании парабен при 272 нм, учитывая невысокое содержание парабен в лекарственных препаратах и желатиновых капсулах, детектирование при 260 нм более предпочтительно. Эффективность колонок при применении подвижных фаз (метанол – 50 мМ KH_2PO_4 или ацетонитрил – 50 мМ KH_2PO_4) в среднем в 1,3 раз больше, чем при применении аналогичных по содержанию органики подвижных фаз без буферного компонента. Не было выявлено особых преимуществ в использовании в качестве органических компонентов подвижных фаз ацетонитрила либо метанола. Необходимо отметить только заметное увеличение времени удерживания бутилпарабена, и особенно *n*-гептилпарабена, при использовании подвижных фаз, содержащих метанол на хроматографических колонках с фенильными сорбентами. Хотя разрешение между пиками низших гомологов парабен при этом возрастает, не наблюдается заметного увеличения их времен удерживания. Время удерживания *n*-гептилпарабена

на колонках с фенильными и нитрильными сорбентами значительно меньше, чем на колонке Zorbax XDB C18 (табл. 1, рис. 1, 2). Данный факт объясняется тем, что при сорбции парабен на этих сорбентах ключевую роль имеют π - π взаимодействия между бензольными кольцами анализируемых соединений и функциональными группами сорбентов. В отличие от этого, на сорбентах C18 главным образом имеют место гидрофобные взаимодействия между поверхностью сорбента и анализируемыми соединениями, поэтому время удерживания сильно зависит от длины алифатических цепей анализируемых соединений. Аналогичный эффект повышения селективности фенильных и нитрильных сорбентов к ароматическим группировкам и к системам сопряженных двойных связей наблюдался при анализе антиоксидантов бутилгидроксианизола и бутилгидрокситолуола [1, 4], а также сорбиновой кислоты [3]. По причине присутствия фенольных гидроксильных групп в молекулах анализируемых соединений, также можно ожидать схожести поведения парабен и антиоксидантов на колонках с аминсорбентами в условиях жидкостной хроматографии гидрофильных взаимодействий [2]. На рис. 3 приведена хроматограмма разделения модель-

ной смеси парабонов в данных условиях хроматографирования, при этом меняется очерёдность элюирования анализируемых соединений по сравнению с обращённо-фазовой хроматографией. Следует отметить, что разрешение между пиками парабонов в условиях жидкостной хроматографии гидрофильных взаимодействий существенно меньше, чем в условиях обращённо-фазовой хроматографии (таблица). Так, при использовании в качестве подвижных фаз смесей ацетонитрила и воды, время удерживания метилпарабена на колонке Zorbax XDB CN 150×4,6 мм (5 мкм) возросло только с 1,64 мин до 1,73 мин при увеличении содержания ацетонитрила в подвижной фазе с 90 % до 99,9 %.

Заключение

Хроматографические колонки с фенильными и нитрильными сорбентами могут быть использованы для определения парабонов в лекарственных препаратах. Исследования по хроматографии в гомологическом ряду парабонов также могут быть полезным инструментом для изучения физико-химических свойств фенильных и нитрильных сорбентов.

Разрешение между пиками парабонов в условиях жидкостной хроматографии гидрофильных взаимодействий существенно меньше, чем в условиях обращённо-фазовой хроматографии.

Список литературы

1. Ноздрин К.В., Великородный А.А., Осипов А.С., Родионова Г.М. Оптимизация условий хроматографирования бутилгидроксанизола и бутилгидрокситолуола при совместном присутствии. Фармация. – 2007; (5): 7–10.
2. Осипов А.С., Нечаева Е.Б., Миронова М.М., Ковалева Е.Л. Применение жидкостной хроматографии гидрофильных взаимодействий для разделения изомеров бутилгидроксанизола. Химико-фармацевтический журнал. – 2015; 49(3): 50–2.
3. Осипов А.С., Нечаева Е.Б. Применение капроновой и циклогексанкарбоновой кислот для анализа бензойной и сорбиновой кислот. Химико-фармацевтический журнал. – 2013. 47(2): 51–3.
4. Осипов А.С., Орлов Е.Н. Применение колонок с оптически-активными сорбентами для разделения позиционных изомеров. Химико-фармацевтический журнал. – 2012. – № 46(5). – С. 28–31.
5. British Pharmacopoeia 2012. Monograph: Butyl Hydroxybenzoate. <https://www.pharmacopoeia.com>.
6. European Pharmacopoeia ed. 8.0. Monograph: Methyl parahydroxybenzoate. http://www.edqm.eu/medias/fichiers/index_english.pdf.
7. United States Pharmacopoeia 39 ed. Monograph: Methylparaben Sodium. http://www.usp.org/sites/default/files/usp_pdf/EN/products/usp2008p2supplement3.pdf.

УДК 543.421/.424: 577.29

СРАВНЕНИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИХ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИК-СПЕКТРОВ КОМПЛЕКСОВ АТОМА ЦИНКА С МОЛЕКУЛАМИ АЛАНИНА

Пешкова Т.В., Сальникова Е.В., Пешков С.А.

ФГБОУ ВО «Оренбургский государственный университет», Оренбург, e-mail: radislavy@mail.ru

На основе DFT и *ab initio* расчетов определены геометрическая структура и устойчивость комплексов иона цинка, расположенного между двумя аминокислотами аланина, с участием и без участия двух молекул воды. Построены профили трехмерного сечения поверхности потенциальной энергии (ППЭ) реакции образования гидроксида цинка в комплексах цинка с двумя молекулами аланина в присутствии молекул воды $Zn^{2+} + 2Ala + 2H_2O \leftrightarrow Zn(OH)_2 + \text{продукты}$. Ограниченным методом Хартри – Фока ROHF с энергетической поправкой второго порядка Мёллера – Плессе MP2 рассчитаны теоретические ИК-спектры комплексов цинка с молекулами аланина в отсутствии и присутствии молекул воды. Проведено сравнение теоретических ИК-спектров поглощения аланина и металлокомплексов цинка с молекулами аланина с экспериментальными ИК-спектрами среды супернатанта без металла и среды супернатанта после инкубации с бактериями, аккумулировавшими Zn. Выявлена закономерность проявления отдельных комбинированных частот в сложных ИК-спектрах комплексов аланина.

Ключевые слова: аланин, комплексы цинка с аминокислотами, ИК-спектры, сечение ППЭ

THEORETICAL AND EXPERIMENTAL IR-SPECTRA OF ZINC COMPLEXES WITH MOLECULES ALANINE

Peshkova T.V., Salnikova E.V., Peshkov S.A.

Orenburg State University, Orenburg, e-mail: radislavy@mail.ru

Based on DFT and *ab initio* calculations of have defined geometric structure and stability of the zinc complexes, located between the two amino acids alanine, with and without the participation of two water molecules. We constructed a three-dimensional sectional profiles of the potential energy surface (PES) formation reaction of zinc hydroxide in zinc complexes with two molecules of alanine in the presence of water molecules $Zn^{2+} + 2Ala + 2H_2O \leftrightarrow Zn(OH)_2 + \text{products}$. Restricted Hartree-Fock method ROHF with energy-adjusted second-order of Möller-Plesset MP2 calculated theoretical IR-spectra of zinc complexes with molecules of alanine in the absence and presence of water molecules. Have compared of theoretical IR-spectra of alanine and zinc complexes with molecules alanine and experimental IR-spectra of metal-free supernatant and supernatant after incubation with Zn accumulating bacteria.

Keywords: alanine, zinc complexes with amino acids, IR-spectra, PES section

Биоаккумуляция металлов бактериями может осуществляться, в частности, вследствие образования комплексов аминокислот и белков с атомами металлов, которые могут поглощаться бактериями по известным специальным механизмам транспорта [1, 3].

Большинство теоретических работ по исследованию процессов связывания металлов с аминокислотами и белками основаны на квантово-химических расчетах комплексов аминокислот с металлами [4, 6–8]. Это связано с тем, что белки являются громоздкими системами, расчеты комплексов белков затруднительны и требуют больших ресурсов ЭВМ. В свою очередь, аминокислоты, являясь структурными единицами белков, содержат в составе порядка двадцати атомов, что делает их удобными для квантово-химического моделирования. Однако представляет интерес исследование процессов образования комплексов металлов с аминокислотами в присутствии молекул воды, поскольку процессы аккумуляции металлов бактериями протекают в растворе.

В связи с этим целью работы является определение структуры и устойчивости комплексов атома цинка с двумя аминокислотами аланина при участии и без участия молекул воды; сравнение теоретических ИК-спектров поглощения аминокислот и металлокомплексов цинка с молекулами аланина с экспериментальными ИК-спектрами среды супернатанта без металлов и среды супернатанта после инкубации с бактериями аккумулировавшими Zn.

В работе квантово-химическими методами проведено моделирование структуры комплексов цинка с двумя молекулами аланина без участия воды и в их присутствии; исследована реакция $Zn + 2Ala + 2H_2O \rightarrow Zn(OH)_2 + \text{фрагменты}$. Рассчитаны и проанализированы ИК-спектры поглощения металлокомплексов цинка с аланином и экспериментальные ИК-спектры сред супернатанта.

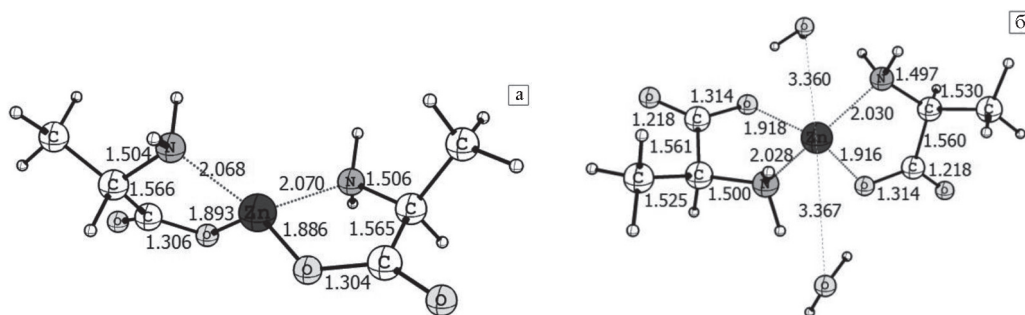


Рис. 1. Структура оптимизированных комплексов аланина с цинком:
 а – оптимизированное равновесное состояние комплекса $^1[\text{Ala-Zn-Ala}]^0$ в отсутствии молекул воды,
 б – оптимизированное равновесное состояние комплекса $^1[\text{Ala-Zn-Ala}]^0$ с двумя молекулами воды

Материалы и методы исследования

Оптимизация геометрических параметров равновесных состояний комплексов осуществлялась в рамках метода теории функционала плотности (DFT), с обменно-корреляционным функционалом B3LYP [10], на функциях неограниченного метода Хартри – Фока с базисом 6-31G(1p,1d) с учетом теории возмущений Меллера – Плессе (MP2) [8]. Оптимизация проводилась только для связей атомов кислорода и азота с атомом цинка и связей, ближайших к атомам кислорода и азота, остальные естественные переменные замораживались. Расчет и анализ профилей сечений поверхности потенциальной энергии (ППЭ) произведен по методу DFT с использованием B3LYP/6-31G(p,d) базиса. Расчет колебательных спектров отдельной молекулы аланина и комплексов двух молекул аланина с цинком проведен с помощью метода DFT с учетом энергетической поправки MP2. Все рассчитанные частоты ИК-спектров, полученные при использовании функционала B3LYP/6-31G(p,d), были умножены на множитель 0.9627 (scaling factor), а при использовании метода MP2/6-31G(p,d) – на 0.9377. Scaling factor выбран на основании данных статьи [6]. Все расчеты проведены в пакете программ FireFly 8.1. Экспериментальное определение ИК-спектров произведено с помощью ИК Фурье-спектрометра ФТ-10 (Россия). Получение спектров происходило в атмосфере воздуха.

Результаты исследования и их обсуждение

Рассчитанная структура комплексов $^1[\text{Ala-Zn-Ala}]^0$ без молекул воды и в присутствии молекул воды приведена на рис. 1.

Согласно расчетам, атомы азота и кислорода координируются вокруг металла в виде тетраэдра, при этом расположение атомов азота и кислорода с противоположных сторон от атома цинка (L-аланин) менее выгодно по энергии. Разница между D-аланином, где с противоположных сторон от атома цинка находятся два атома азота или два атома кислорода, и L-аланином

составляет 0,002 а.е.м. (0,054 эВ). В живых системах в большинстве случаев присутствует L-аланин, поэтому при проведении расчетов выбрана L-конфигурация.

Рассчитанные длины связей и углов в молекуле аланина хорошо согласуются с экспериментальными данными и результатами расчетов работ [2, 9, 11]. Компьютерное моделирование структуры комплекса $^1[\text{Ala-Zn-Ala}]^0$ без молекул воды (рис. 1 а) приводит к результатам, согласующимся с результатами работ, где теоретически рассматриваются комплексы Val-Zn-Val, Gly-Zn-Gly, Ser-Zn-Ser [5, 13].

Определение устойчивости исследуемых комплексов проводилось на основе анализа рассчитанных трехмерных профилей сечений ППЭ (рис. 2) и вычисления энергии диссоциации (D_0) связи Ala-Zn с участием двух молекул воды и без участия молекул воды. Можно заметить, что связи Zn-O и Zn-N в обоих комплексах весьма прочные, но вода стабилизирует комплекс и повышает его устойчивость. Энергия связи Zn-O в комплексе $^1[\text{Ala-Zn-Ala} + 2\text{H}_2\text{O}]^0$ составляет 3,15 эВ при расстоянии $R(\text{Zn-O}) = 1,92 \text{ \AA}$. Энергия связи Zn-N в комплексе $^1[\text{Ala-Zn-Ala} + 2\text{H}_2\text{O}]^0$ составляет 3,41 эВ при расстоянии $R(\text{Zn-N}) = 2,03 \text{ \AA}$ (рис. 3).

Известно, что аминокислоты в составе свободных белков и белков внутренних частей мембраны бактерий могут находиться на относительно большом ($\sim 5\text{-}6 \text{ \AA}$) и малом ($\sim 3\text{-}4 \text{ \AA}$) расстояниях [12]. Квантово-химический расчет показывает, что если металл расположен между двумя аминокислотами на относительно большом расстоянии, то в присутствии двух молекул воды происходит безбарьерная реакция, в которой образуется $\text{Zn}(\text{OH})_2$ + фрагменты (рис. 3).

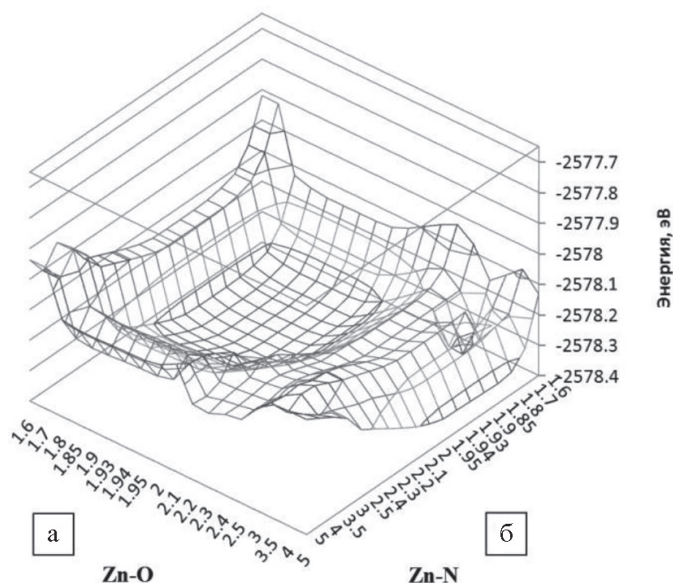


Рис. 2. Трехмерные профили сечений ППЭ вдоль связей Zn-Ala реакции взаимодействия $Zn + 2Ala + 2H_2O$: а – координата реакции Zn-O, б – координата реакции Zn-N

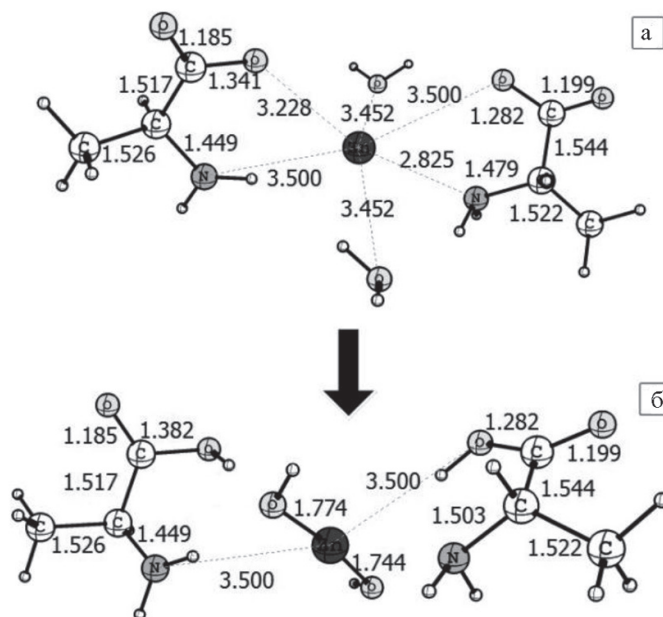


Рис. 3. Образование гидроксида цинка из метастабильного состояния с двумя молекулами воды, в котором цинк расположен на больших расстояниях от аминокислот: а – в начале реакции, б – в конце реакции

Если же расстояние между молекулами аланина и атомом цинка относительно мало, то образуется комплекс, в котором обе молекулы воды входят в состав системы (рис. 1 б). По-видимому, такая структура комплекса и стереохимические затруднения не позволяют протекать реакции с образованием $Zn(OH)_2$. Присутствие в среде

супернатанта молекул гидроксида цинка может быть установлено и при исследовании ИК-спектров супернатанта после инкубирования бактерий с цинком на протяжении 36 часов по смещению и появлению новых комбинированных частот в области 600 и 800 см^{-1} с основным вкладом $\nu(OH)$, $\nu(ZnO)$, $\nu(ZnOH)$, отсутствовавших в среде

супернатанта без металла и в среде супернатанта на нулевой момент времени инкубации. Рассчитанные колебательные частоты $\nu(\text{O-H})$, $\nu(\text{Zn-O})$, $\delta(\text{ZnOH})$ в изолированной молекуле гидроксида цинка и в комплексе $^1[\text{Ala-Zn-Ala-2H}_2\text{O}]^0$ в присутствии молекул воды приведены в таблице.

Анализ теоретических ИК-спектров поглощения молекулы $[\text{Zn}(\text{OH})_2]$ показывает, что частоты $\nu(\text{OH})$, практически совпадают с частотами $\nu(\text{OH})$, в комплексе $^1[\text{Zn} + 2\text{Ala} + 2\text{H}_2\text{O}]^0$ ($\Delta\nu \approx 10 \text{ см}^{-1}$), частоты $\nu(\text{Zn-O})$ несколько сдвинуты в красную область, в то время как частоты деформационного колебания $\delta(\text{ZnOH})$ в комплексе $^1[\text{Ala-Zn}(\text{OH})_2\text{-Ala}]^0$ сдвинуты как в красную, так и в синюю область по сравнению с аналогичными колебаниями в $^1[\text{Zn}(\text{OH})_2]^0$. При этом в комплексе $^1[\text{Ala-H-Zn}(\text{OH})_2\text{-Ala-H}]^0$ появляются дополнительные пики, соответствующие комбинированным колебаниям, где основной вклад от $\delta(\text{ZnOH})$ смешивается с валентными и деформационными колебаниями скелета молекулы аланина.

Сравнение ИК-спектров поглощения в комплексе $^1[\text{Ala-Zn-Ala} + 2\text{H}_2\text{O}]^0$ с экспериментальным спектром ИК супернатанта после 36 часов культивирования бактерий *B. licheniformis* штамма ВКПМ В 7038 в жидкой среде в присутствии солей цинка, показывает (рис. 4), что пики на частотах 400–600 см^{-1} и в области 800 см^{-1} могут быть идентифицированы как частоты $\nu(\text{ZnO})$, $\delta(\text{ZnOH})$, характерные для гидроксида цинка $\text{Zn}(\text{OH})_2$.

В теоретическом расчете ИК-спектра комплекса $^1[\text{Ala-Zn-Ala}]^0$ имеются слабые комбинированные частоты с наибольшим вкладом от колебаний Zn-N , Zn-O в области 400–600 см^{-1} в сочетании с крутильными колебаниями NH_2 , CH_3 , CH_2 . В области 600–700 см^{-1} наблюдается частота $\nu(\text{NH}_2) = 636 \text{ см}^{-1}$ крутильного колебания функциональной группы NH_2 , связанной

с ионом цинка. Можно полагать, что в экспериментальных ИК-спектрах супернатанта после культивирования бактерий солями цинка полоса поглощения с волновым числом $\nu(\text{NH}_2) = 657\text{--}669 \text{ см}^{-1}$ можно также отнести к крутильному колебанию функциональной группы NH_2 . Необходимо отметить, что в теоретическом расчете ИК-спектра безметалльного бимолекулярного комплекса $^1[\text{Ala-Ala}]^0$ пик крутильного колебания функциональной группы NH_2 находится в области 200–300 см^{-1} .

Выводы

В результате моделирования комплексов цинка с двумя молекулами аланина в присутствии молекул воды может реализоваться как безбарьерное образование системы $[\text{Zn}(\text{OH})_2 + 2\text{Ala}]$, так и образование единого синглетного комплекса $^1[\text{Ala}^-\text{Zn-Ala}^+ + 2\text{H}_2\text{O}]^0$, где атом Zn расположен на близком расстоянии от аминокислот и вследствие стерических затруднений не может образоваться гидроксид цинка.

Сравнение ИК-спектров поглощения среды супернатанта до и после инкубации с бактериями, аккумулировавшими Zn , и теоретических ИК-спектров гидроксида цинка, комплекса $^1[\text{Ala}^-\text{Zn-Ala}^+ + 2\text{H}_2\text{O}]^0$ указывает на появление дополнительных пиков в полосе 600–800 см^{-1} в ИК-спектре среды супернатанта, связанных, предположительно, с колебаниями $\nu(\text{ZnO})$, $\delta(\text{ZnOH})$ в $\text{Zn}(\text{OH})_2$. Наряду с этими колебаниями нужно отметить сложные колебания, отнесенные к колебаниям углеродного скелета комплекса $^1[\text{Ala-Zn-Ala}]^0$ и имеющие вклады от $\nu(\text{OH})$, $\nu(\text{ZnO})$, $\delta(\text{ZnOH})$, что подтверждает экспериментально установленную возможность образования в среде супернатанта гидроксида цинка $\text{Zn}(\text{OH})_2$ в процессе аккумуляции ими Zn бактериями *B. licheniformis* штамма ВКПМ В 7038.

Частоты валентных $\nu(\text{O-H})$, $\nu(\text{ZnO})$ и деформационных $\delta(\text{ZnOH})$ колебаний, см^{-1} , в ИК-спектрах поглощения в изолированной молекуле гидроксида цинка и в гидроксиде цинка, образованном в ходе реакции $\text{Zn}^{2+} + 2\text{Ala}^- + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Zn}(\text{OH})_2 + 2\text{Ala}$ (частоты умножены на множитель 0.9627-scaling factor), расчет DFT/B3LYP/6-31(p,d)

Система	Теоретический расчет	
	Нейтральная (протонированная) форма аланина (рис. 3 б) $^1[\text{Ala-Zn}(\text{OH})_2\text{-Ala}]^0$	$^1[\text{Zn}(\text{OH})_2]^0$
$\nu(\text{O-H})$	3753.90, 3707.00	3747.33, 3704.60
$\nu(\text{Zn-O})$	608,45(сим.) 785.76 (антисим.)	661,9 (сим.) 831,92 (антисим.)
$\delta(\text{ZnOH})$	847.77, 683.38, 717.22, 758.39, 792.58, 805.7, 828.08	780,94 767,82

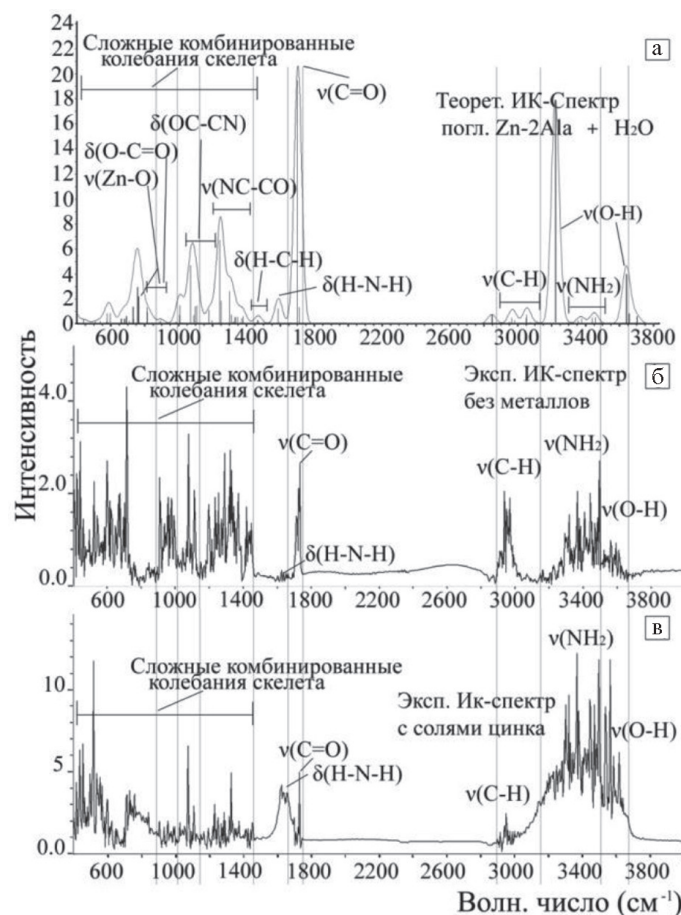


Рис. 4. Теоретический и экспериментальные ИК-спектры комплексов и различных сред супернатанта: а – теоретический спектр комплекса $[Zn^{2+}-Ala]_2$, б – спектр супернатанта после 36 ч культивирования с бактериями без металлов, в – спектр супернатанта после 36 ч культивирования с бактериями с цинком

Статья выполнена при поддержке гранта Оренбургской области в сфере научной и научно-технической деятельности № 17.

Список литературы

1. Винокуров Л.М., Алахов Ю.Б. Катехольный сидерофор, продуцируемый терморезистентным штаммом *Bacillus licheniformis* VK21 // Биоорганическая химия. – 2003. – № 29. – С. 597–604.
2. Destro R., Marsh R.E., Bianchi R. A low-temperature (23 K) study of L-alanine // J. Phys. Chem. – 1988. – № 92. – P. 966–973.
3. Foulkes E.C. Transport of toxic heavy metals across cell membranes // Proceedings of the Society for Experimental Biology and Medicine. – 2000. – № 223. – P. 234–240.
4. Mandal S., Das G., Askari H. Experimental and quantum chemical modeling studies of the interactions of L-Phenylalanine with divalent transition metal cations // J. Chem. Inf. Model. – 2014. – № 54. – P. 2524–2535.
5. Mandal S., Das G., Askari H. A combined experimental and quantum mechanical investigation on some selected metal complexes of L-serine with first row transition metal cations // J. Mol. Struct. – 2015. – № 1081. – P. 281–292.
6. Merrick J.P., Moran D., Radom L. An evaluation of harmonic vibrational frequency scale factors // J. Phys. Chem. A. – 2007. – № 111. – P. 11683–11700.
7. Remko M., Fitz D., Broer R., Rode B.M. Effect of metal Ions (Ni^{2+} , Cu^{2+} and Zn^{2+}) and water coordination on the structure of L-phenylalanine, L-tyrosine, L-tryptophan and their zwitterionic forms // J. Mol. Model. – 2011. – № 17. – P. 3117–3128.
8. Umadevi P., Senthilkumar L. Influence of metal ions (Zn^{2+} , Cu^{2+} , Ca^{2+} , Mg^{2+} and Na^{+}) on the water coordinated neutral and zwitterionic L-histidine dimer // RSC Adv. – 2014. – № 90. – P. 49040–49052.
9. Simpson H.J., Marsh R.E. The crystal structure of L-alanine // Acta Cryst. – 1966. – № 20. – P. 550–555.
10. Smit H., Van der Goot H., Nauta W.T., Timmerman H., de Bolster M.W., Stouthamer A.H., Vis R.D. Mechanism of action of the copper (I) complex of 2, 9-dimethyl-1, 10-phenanthroline on *Mycoplasma gallisepticum* // Antimicrob. Agents. Chemother. – 1982. – № 21. – P. 881–886.
11. Stepanian S.G., Reva I. D., Radchenko E.D., Adamowicz L. Conformational behavior of α -alanine. Matrix-isolation infrared and theoretical DFT and ab initio study // J. Phys. Chem. A. – 1998. – № 102. – P. 4623–4629.
12. Venkatachalam C.M. Stereochemical criteria for polypeptides and proteins // V. Conformation of a system of three linked peptide units // Biopolymers. – 1968. – № 6. – P. 1425–1436.
13. Yang G., Zhu R., Zhou L., Liu C. Interactions of $Zn(II)$ with single and multiple amino acids. Insights from density functional and ab initio calculations // J. Mass Spectrom. – 2012. – № 47. – P. 1372–1383.

УДК 574.34/.42

ВЛИЯНИЕ ИНГИБИТОРОВ КОРРОЗИИ НА РЕОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ВОДНО-ОРГАНИЧЕСКИХ РАСТВОРОВ ПОЛИАКРИЛОВЫХ ЗАГУСТИТЕЛЕЙ

^{1,2}Савинова М.В., ¹Панина Е.А., ²Квашенников А.И., ²Рябова Т.А., ¹Логутов В.И.¹Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского,
Нижний Новгород, e-mail: mash91@mail.ru;²Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева,
Нижний Новгород

В настоящее время для борьбы с наземным обледенением воздушных судов используются противообледенительные жидкости (ПОЖ), одним из обязательных компонентов которых являются ингибиторы коррозии. В состав некоторых ПОЖ (II–IV типа) входят также полиакриловые загустители, улучшающие эксплуатационные характеристики жидкости. В данной работе методом радикальной осадительной сополимеризации синтезирован слабосшитый полимерный загуститель на основе акриловой кислоты. Изучено влияние добавок различных ингибиторов коррозии на реологические характеристики растворов полученного загустителя в гомогенных смесях пропиленгликоль-вода и глицерин-вода, представляющих собой модели ПОЖ II–IV типов. Выявлено, что использование неорганической соли в качестве ингибитора коррозии приводит к резкому снижению вязкости исследованных систем, что свидетельствует о ее непригодности для применения в составах ПОЖ II–IV типов, содержащих полиакриловые загустители.

Ключевые слова: противообледенительная жидкость, полиакриловый загуститель, пропиленгликоль, глицерин, ингибиторы коррозии

INFLUENCE OF CORROSION INHIBITORS ON RHEOLOGICAL CHARACTERISTICS OF WATER/ORGANIC SOLUTIONS OF POLYACRYLIC THICKENERS

^{1,2}Savinova M.V., ¹Panina E.A., ²Kvashennikov A.I., ²Ryabova T.A., ¹Logutov V.I.¹Lobachevsky State University of Nizhni Novgorod, Nizhni Novgorod, e-mail: mash91@mail.ru;²Nizhny Novgorod State Technical University n.a. R.E. Alexeev, Nizhni Novgorod

Anti-icing fluids (AIF) have wide application in the aviation industry for aircraft de-icing and prevention of ice build-up. The primary forms of AIF consist of glycols or glycerol as the freezing point depressant, water, and different additives such as thickeners (AIF of II–IV types), corrosion inhibitors, surfactants etc. In this study lightly cross-linked polymer thickener on the basis of acrylic acid has been synthesized with the use of radical precipitation copolymerization. The influence of addition of corrosion inhibitors of different types on rheological characteristics of water/propylene glycol and water/glycerol solutions of synthesized thickener was studied. It was found that the additive of inorganic salts leads to an abrupt decrease in viscosity of the systems studied, indicating its unsuitability for use in the compositions of the AIF types II–IV containing polyacrylic thickeners.

Keywords: anti-icing fluid, polyacrylic thickeners, propylene glycol, glycerol, corrosion inhibitors

При эксплуатации воздушных судов в зимних условиях неизбежно образование на их поверхностях снежно-ледяных отложений, которые ухудшают аэродинамические характеристики судна, приводя к серьезным проблемам. В настоящее время для удаления таких отложений и предотвращения повторного наземного обледенения поверхности самолетов применяют противообледенительные жидкости (ПОЖ), которые представляют собой смеси гликолей или глицерина, воды и различных добавок, улучшающих эксплуатационные свойства жидкости.

ПОЖ I типа используются для кратковременной защиты воздушных судов от обледенения. ПОЖ II–IV типов обладают более длительным защитным эффектом,

поскольку содержат в своем составе полимерные загустители, которые придают жидкости псевдопластичный характер течения, т.е. способность снижать вязкость при увеличении сдвиговой нагрузки. Это свойство необходимо для быстрого удаления ПОЖ при взлете самолетов.

Чаще всего в качестве загустителей для ПОЖ применяются слабосшитые сополимеры (мет)акриловой кислоты и ее алкиловых эфиров [1, 2, 5, 6]. Поскольку ПОЖ наносят на металлические поверхности воздушного судна (фюзеляж), то другим их обязательным компонентом являются ингибиторы коррозии. Наиболее часто в составах ПОЖ в качестве ингибиторов коррозии применяют фосфаты щелочных металлов [2, 4], а также бензотриазол или его аналоги [1, 3].

Считается, что добавка ингибиторов коррозии существенно не влияет на физические особенности водно-гликолевых растворов, поскольку процент их содержания в системах обычно невелик (0,1–1,0% мас.). Однако введение ингибиторов коррозии в систему, содержащую полиакриловые загустители, может оказать влияние на реологические характеристики полученных растворов.

Целью исследования было изучение влияния добавок ингибиторов коррозии разного строения на реологические свойства растворов синтезированного слабосшитого сополимера АК в системах пропиленгликоль (ПГ) – вода и глицерин – вода, представляющих собой модели ПОЖ II–IV типов.

Материалы и методы исследования

В работе использовались акриловая кислота (АК) производства «СИБУР-Нефтехим» (ТУ 2431-044-52470175-2012), лаурилметакрилат (ЛМА), диметакрилат триэтиленгликоля (ТГМ-3) производства ФГУП НИИ Полимеров им. В.А. Каргина (ТУ 2226-426-00208947-2005), бензотриазол (БТА) и толилтриазол (ТТА) фирмы «Aldrich», гидрофосфат натрия (ГФН) фирмы ООО «Неохим» (ГОСТ 4172-76), синтанол АЛМ-2 (ТУ 2483-005-71150986-2012) производства ООО «НОРКЕМ». АК перед применением перегоняли при пониженном давлении в присутствии ингибитора полимеризации. Остальные вещества использовали без предварительной очистки.

Образец сополимера АК с ЛМА получали методом осадительной полимеризации в среде этилацетата при суммарной концентрации мономеров 13% мас. в присутствии инициатора 2,2'-азобис-(2,4-диметилвалеронитрила) и сшивающего агента ТГМ-3 при температуре 70 °С и времени синтеза 2 ч. Выпавший в осадок полимер отфильтровывали и сушили при пониженном давлении и температуре 50–60 °С до постоянной массы.

Для проведения реологических экспериментов навески полимеров растворяли при температуре 70–80 °С и интенсивном перемешивании в смеси ПГ-вода (массовое соотношение ПГ/вода составляло 1:1) или глицерин-вода (массовое соотношение глицерин/вода составляло 3:2). Полученные растворы нейтрализовали концентрированным водным раствором едкого натра до значений pH 7–8. Динамическую вязкость растворов измеряли на приборе Brookfield DV2T, снабженном адаптером малой пробы и шпинделем № 31 по классификации Brookfield, при разной скорости сдвига и температурах +20, 0 и –20 °С. Индекс степени уменьшения вязкости (СУВ) определяли как отношение динамической вязкости раствора при скоростях сдвига 0,1 с⁻¹ и 0,5 с⁻¹.

Результаты исследования и их обсуждение

На рис. 1 и в таблице представлены данные по зависимости динамической вязкости (η) от скорости сдвига ($\dot{\gamma}$) для растворов ПГ-вода и глицерин-вода, содержащих слабосшитый сополимер АК (при доле звеньев

ЛМА 1,5 мольн.%) – поли(АК-со-ЛМА), а также 0,5% мас. ПАВ – синтанол АЛМ-2. При этом в качестве ингибиторов коррозии в ПОЖ вводились гидрофосфат натрия, бензотриазол и толилтриазол. Из представленных данных видно, что для указанных растворов характерен псевдопластичный характер течения – как в отсутствии, так и в присутствии ингибиторов коррозии. Это проявляется в резком снижении динамической вязкости под действием деформационной нагрузки.

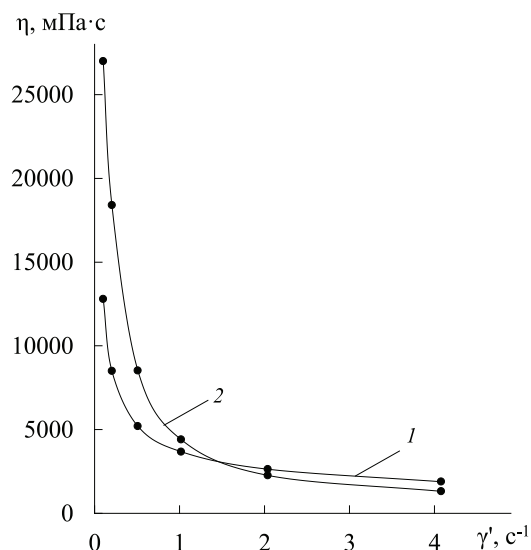


Рис. 1. Зависимость динамической вязкости (η) от скорости сдвига ($\dot{\gamma}$) при 20 °С. Концентрация загустителя (% мас.), концентрация АЛМ-2 (% мас.), растворитель: 1 – 0,45; 0,5; ПГ-вода; 2 – 0,25; 0,5; глицерин-вода

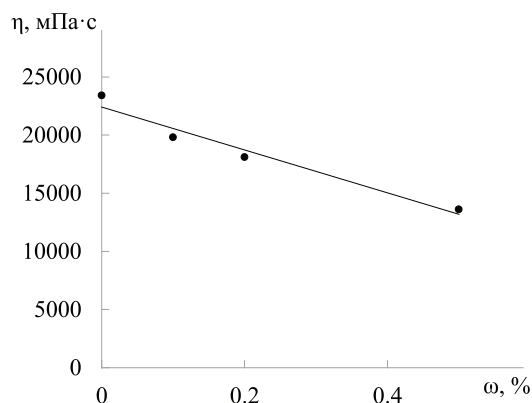


Рис. 2. Зависимость динамической вязкости (η) водного раствора пропиленгликоля, содержащего 0,45% мас. загустителя и 0,5% мас. АЛМ-2, от массовой доли ТТА (ω) при $\dot{\gamma} = 0,1$ с⁻¹ и температуре –20 °С

Характеристики растворов полиакрилового загустителя в смесях ПГ-вода и глицерин-вода, содержащих 0,5 % мас. АЛМ-2

№ п/п	Система	Концентрация загустителя, % мас.	Ингибитор коррозии (% масс.)	Динамическая вязкость*, мПа·с	Индекс СУВ
1	ПГ-вода	0,45	–	12800	2,5
2			ГФН (0,2)	2000	1,9
3			ТТА (0,2)	6900	2,2
4			БТА (0,2)	9500	2,4
5	Глицерин-вода	0,25	–	27000	3,2
6			ГФН (0,2)	900	1,5
7			ТТА (0,2)	2200	1,8
8			БТА (0,2)	6300	1,9

Примечание. * Условия определения: скорость сдвига $0,1 \text{ c}^{-1}$, pH 7,7-8,0; 20°C .

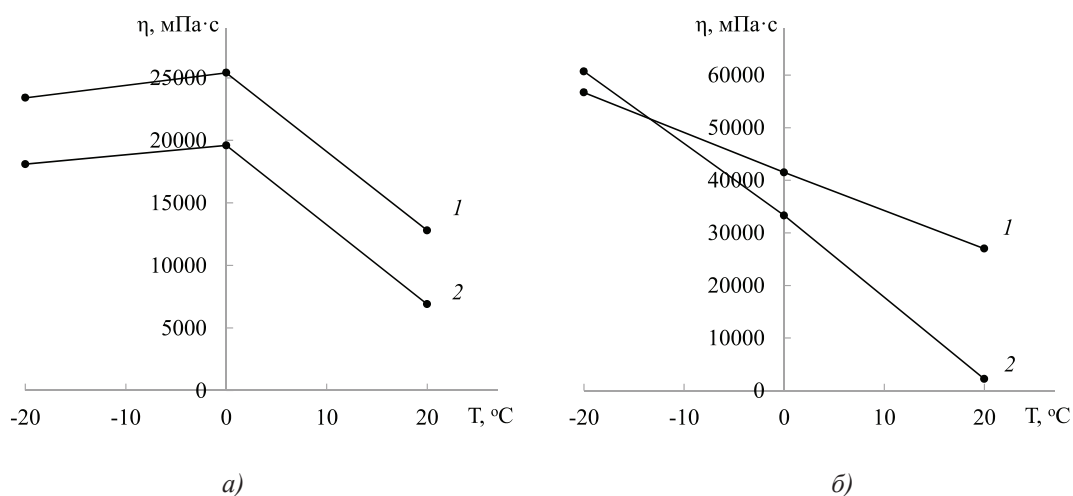


Рис. 3. Зависимость динамической вязкости (η) от температуры (T) при $\gamma' = 0,1 \text{ c}^{-1}$ для систем ПГ-вода, содержащих 0,45 % мас. поли(АК-со-ЛМА) (а), и глицерин-вода, содержащих 0,25 % мас. поли(АК-со-ЛМА) (б). 1 – без ТТА, 2 – 0,2 % мас. ТТА

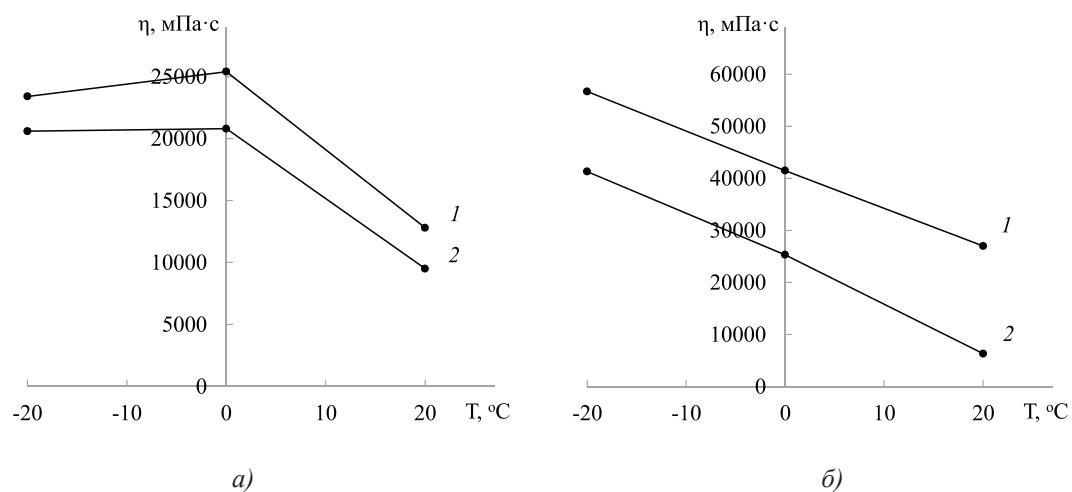


Рис. 4. Зависимость динамической вязкости (η) от температуры (T) при $\gamma' = 0,1 \text{ c}^{-1}$ для систем ПГ-вода, содержащих 0,45 % мас. поли(АК-со-ЛМА) (а), и глицерин-вода, содержащих 0,25 % мас. поли(АК-со-ЛМА) (б). 1 – без БТА, 2 – 0,2 % мас. БТА

Выяснилось, однако, что введение 0,2 % мас. гидрофосфата натрия в модельные растворы ПОЖ на основе ПГ и глицерина приводит к резкому снижению вязкости исследуемых систем, а дальнейшее увеличение доли ингибитора коррозии сопровождается выделением из растворов полимерного загустителя. Наблюдаемое явление можно объяснить «эффектом высаливания», когда в результате добавления в водно-органические растворы более сильного электролита происходит вытеснение из растворов более слабых электролитов, к которым относится полиакриловая кислота, а также сополимеры АК. Полученные данные свидетельствуют о непригодности указанного ингибитора коррозии для применения в составах ПОЖ II–IV типов.

В меньшей степени вязкость снижалась в присутствии толилтриазола и бензотриазола, поэтому в дальнейших экспериментах исследовалось влияние этих ингибиторов коррозии на реологию водно-органических растворов синтезированного загустителя.

При введении толилтриазола в диапазоне концентраций 0,1–0,5 % мас. вязкость загущенных водных растворов ПГ и глицерина уменьшается (рис. 2). Водные растворы ПГ пропорционально снижают вязкость при увеличении содержания толилтриазола (рис. 3, а). Так, увеличение доли ингибитора коррозии с 0,1 до 0,5 % мас. приводит к уменьшению динамической вязкости с 9000 до 4200 мПа·с при 20 °С, с 21600 до 13500 мПа·с при 0 °С и с 19800 до 15100 мПа·с при –20 °С. Наблюдаемое равномерное снижение вязкости во всем температурном диапазоне приводит к сохранению реологического профиля системы, который соответствует требованиям, предъявляемым к ПОЖ II–IV типов. Для таких жидкостей необходимо, чтобы вязкость при охлаждении до 0 °С резко повышалась для обеспечения длительного защитного действия жидкости, а при дальнейшем понижении температуры изменялась незначительно. Анализ зависимостей изменения вязкости загущенного водного раствора глицерина (рис. 3, б) при изменении температуры показал, что при добавлении ТТА при температурах 0 и 20 °С наблюдается уменьшение вязкости системы, в то время как при –20 °С вязкость увеличивается. Таким образом, реологический профиль загущенного водного раствора глицерина при добавлении ТТА изменяется, что усложняет разработку ПОЖ II–IV типов на его основе.

Кроме того, из таблицы видно, что добавка толилтриазола снижает степень псевдопластичности исследуемых растворов, причем в системе глицерин-вода наблюдается значительное уменьшение индекса СУВ. Так, при введении в данный раствор 0,2 % мас. ТТА индекс СУВ снижается с 3,2 до 1,8, в то время как для раствора на основе ПГ-вода, содержащего такое же количество ТТА – с 2,5 до 2,2.

На рис. 4 изображены зависимости вязкости от температуры для водных растворов ПГ (рис. 4, а) и глицерина (рис. 4, б) с добавлением 0,2 % мас. бензотриазола.

Добавление бензотриазола к смесям ПГ-вода, как и введение толилтриазола, приводит к равномерному снижению значений вязкости во всем температурном диапазоне, при этом реологический профиль не изменяется (рис. 4, а). Эта тенденция прослеживается и при добавлении бензотриазола к загущенным водным растворам глицерина. Для полученного водно-глицеринового раствора, в отличие от аналогичной смеси с толилтриазолом, характерно более резкое уменьшение вязкости в исследованном интервале температур с сохранением реологического профиля.

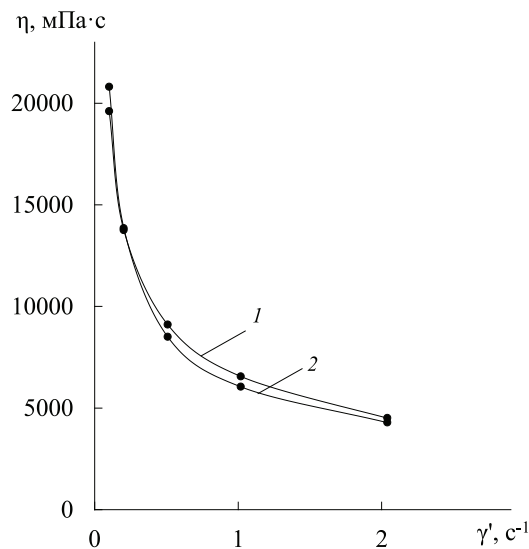


Рис. 5. Зависимость динамической вязкости от скорости сдвига для водных растворов ПГ, содержащих 0,45 % мас. поли(АК-со-ЛМА) и 0,5 % мас. АЛМ-2, с разными ингибиторами коррозии при температуре 0 °С. 1 – 0,2 % мас. ТТА, 2 – 0,2 % мас. БТА

Следует отметить, что добавление к исследуемым растворам бензотриазола приводит к уменьшению индекса СУВ в той

же степени, что и добавка толилтриазола (рис. 5). Так, для загущенного водного раствора глицерина в присутствии 0,2 % мас. БТА индекс СУВ при температуре 20 °С снижается с 3,2 до 1,9, а при добавлении такого же количества ТТА – с 3,2 до 1,8.

Выводы

Показано, что введение различных ингибиторов коррозии оказывает неодинаковое влияние на реологические свойства водно-органических систем, содержащих слабощитую гидрофобно-модифицированную полиакриловую кислоту и неионогенное ПАВ. Установлено, что использование гидрофосфата натрия в качестве ингибитора коррозии в загущенных водных растворах ПГ и глицерина приводит к резкому снижению их вязкости с последующим выделением полимера при увеличении концентрации соли. Введение бензотриазола и толилтриазола в меньшей мере влияет на вязкость загущенных растворов, причем в системе на основе глицерина наблюдается значительное снижение степени псевдопластичности растворов.

В результате проведенных экспериментов было установлено, что добавка триазолов не приводит к качественному из-

менению температурных реологических профилей растворов на основе ПГ, что позволяет использовать данные ингибиторы для разработки рецептур ПОЖ II–IV типов.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ (договор № 02.G25.31.0119) в Нижегородском государственном университете им. Н.И. Лобачевского.

Список литературы

1. Пат. 2137797 Российская Федерация, МПК C09K3/18. Средство для устранения обледенения для самолетов / Клаус Пельманн; заявитель и патентообладатель Хехст АГ. – № 95105884/04; заявл. 12.04.1995; опубл. 20.09.99.
2. Пат. 2230091 Российская Федерация, МПК C09K3/18. Противообледенительная псевдопластичная жидкость / Симоненкова Р.В., Сачко С.Е., Ландышев В.В., Канищев С.П., Казачанский В.В., Белоглазов Б.А.; заявитель и патентообладатель ЗАО «АЭРОСС». – № 20030101703; заявл. 21.01.2003; опубл. 10.06.2004.
3. Patent № US 5718834 «Polymer-thickened deicing composition and anti-icing composition for aircraft» // Klaus Pollmann, Josef Kapfinger, appl. 16.10.1996, publ. 17.02.1998.
4. Patent № US 7875203 B2 «Deicing agent and/or anti-icing agent» // Matthias Seiler, Stefan Bernhardt, appl. 06.07.2007, publ. 25.01.2011.
5. Patent № US 8562854 B2 «Compositions for deicing/anti-icing» // Satya P. Chauhan, Melissa S. Roshon, William D. Samuels, appl. 17.02.2011, publ. 22.10.2013.
6. Poly(acrylic acid)–poly(vinyl pyrrolidone)-thickened water/glycol de-icing fluids / Wang Y., Hudson N.E., Pethrick R.A., Schaschke C.J. // Cold Reg. Sci. Technol. – 2014. – V. 101. – P. 24–30.

УДК 543.453:577.3

ИЗУЧЕНИЕ ЦИТОТОКСИЧНОСТИ ПРОИЗВОДНЫХ АМИНОИНДОЛА И ПИРРОЛОХИНОЛИНОВ IN VITRO

¹Степаненко И.С., ³Ямашкин С.А., ²Акулина И.В., ³Коткин А.И., ¹Костина Ю.А.

¹ФГБОУ ВО «Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева»,

Саранск, e-mail: ymahkina@mail.ru;

²ФГБОУ ВО «Чувашский государственный университет им. И.Н. Ульянова», Чебоксары;

³ФГБОУ ВО «Мордовский государственный педагогический институт им. М.Е. Евсевьева»,

Саранск, e-mail: 19aleksey90@mail.ru

Каждое новое химическое соединение, если в перспективе предполагается его использование в качестве лекарственного препарата, должно быть безопасным для макроорганизма. Целью данного исследования явилось изучение цитотоксичности in vitro производных аминоиндола и пирролохинолинов, проявляющих противомикробную и противогрибковую активность. В работе была использована линия опухолевых клеток HeLa (ATCC ® CCL-2TM), полученная из коллекции банка глубокозамороженных клеточных культур ГУ НИИ вирусологии им. Д.И. Иванова РАМН. В ходе исследования отмечалась тенденция увеличивать количество метаболически активных клеток, что может свидетельствовать о митогенном эффекте изучаемых соединений. Результаты исследования соединений на культуре клеток HeLa представляют интерес для дальнейшего изучения с целью разработки новых противомикробных препаратов, не обладающих цитотоксическим эффектом.

Ключевые слова: цитотоксичность, культура клеток, производные аминоиндола и пирролохинолинов, противомикробные соединения

STUDY OF CYTOTOXICITY OF DERIVATIVES AMINOINDOLE AND PYRROLOQUINOLINE IN VITRO

¹Stepanenko I.S., ³Yamashkin S.A., ²Akulina I.V., ³Kotkin A.I., ¹Kostina Yu.A.

¹Mordovian State University named after N.P. Ogarev, Saransk;

²Chuvash State University named after I.N. Ulyanov, Cheboksary;

³Mordovian M.E. Yevseviev State Pedagogical Institute, Saransk, e-mail: 19aleksey90@mail.ru

Each new chemical compound, if it is assumed in the long term use as a medicament, to be safe for the microorganism. The aim of this study was to examine the in vitro cytotoxicity of the derivatives aminoindoles and pyrroloquinoline exhibiting antimicrobial and antifungal activity. In work was used the tumor cells of HeLa (ATCC ® CCL-2TM), derived from the bank's collection of deep-frozen cell culture of the Research Institute of Virology. D.I. Ivanovskogo RAMS. In the study, tended to increase the number of metabolically active cells, which may indicate a mitogenic effect of the compounds under study. The results of the study compounds on the HeLa cell culture are of interest for further study with the aim of developing new antimicrobials that do not possess cytotoxic effect.

Keywords: cytotoxicity, cell culture, derivatives aminoindole and pyrroloquinoline, antimicrobial compounds

Производные аминоиндола и пирролохинолины как биологически активные вещества представляют большой интерес для исследования. Среди физиологически активных соединений как природного, так и синтетического происхождения азотистые гетероциклические системы занимают ведущее место. Наиболее интересными и перспективными являются производные хинолина и индола, а следовательно, пирролохинолина, в молекуле которого сочетаются указанные фармакофорные фрагменты. Самый молодой витамин, классифицированный как витамин группы В, по химической структуре представляет собой трициклический о-хинон-2,7,9-трикарбокси-1Н-пирроло[2,3-f]хинолин-4,5-дион, он обнаружен в живых системах как кофермент окислительно-восстановительных ферментов – PQQ (метоксатин). Он широко распространен в продук-

тах растительного происхождения: в плодах цитрусовых, киви, папайе, петрушке, перце, зеленом чае, а также в небольших количествах содержится в мясе, яичных желтках, женском молоке. Пирролохинолиновые аналоги PQQ представляют собой соединения, которые могут служить заменой природного вещества и могут быть использованы как антиоксиданты или как окислительно-восстановительные коферменты в ферментных системах [10]. Установлено, что биологическая активность PQQ зависит от характера заместителя в пирролохинолиновом кольце. Так, трициклический о-хинон-2,7,9-трикарбокси-1Н-пирроло[2,3-f]хинолин-4,5-дион в живых организмах является коферментом в окислительно-восстановительных системах, в то время как изученные трифторметилпроизводные PQQ обладают противомикробной и противогрибковой активностью.

Нами проведена большая работа по исследованию антимикробной и противогрибковой активности данных соединений [3, 4, 5, 6]. Целью дальнейшего исследования стало изучение биологической безопасности данных соединений, так как в перспективе мы предполагаем их использование в составе лекарственных средств.

Цель исследования: изучить цитотоксичность производных аминокислот и пирролохинолинов с лабораторными шифрами **4Д** (1,2,3,9-тетраметил-6-трифторметил-1,9-дигидро-8Н-пирроло[3,2-*h*]хинолин-8-он), **НД** (6-гидрокси-2,3-диметил-6-трифторметил-1,6,7,9-тетрагидро-8Н-пирроло[3,2-*h*]хинолин-8-он), **39Д** (1,5-диметил-2-фенил-8-трифторметил-1,5-дигидро-6Н-пирроло[3,2-*g*]хинолин-6-он), **66'** (4,4,4-трифтор-*N*-(6-метокси-2,3-диметил-1Н-индол-5-ил)-3-оксобутанамид), **64Д** (4,4,4-трифтор-3-оксо-*N*-(2,3,6-триметил-1Н-индол-5-ил)бутанамид), **66Д** (4,4,4-трифтор-*N*-(6-метокси-1,2,3-триметил-1Н-индол-5-ил)-3-оксобутанамид), **43Д** (4,4,4-трифтор-*N*-(6-метил-2-фенил-1Н-индол-5-ил)-3-оксобутанамид) *in vitro* на линии опухолевых клеток HeLa (ATCC® CCL-2™).

Материалы и методы исследования

В работе была использована линия опухолевых клеток HeLa (ATCC® CCL-2™), полученная из коллекции банка глубоководных клеточных культур ГУ НИИ вирусологии им. Д.И. Ивановского РАН.

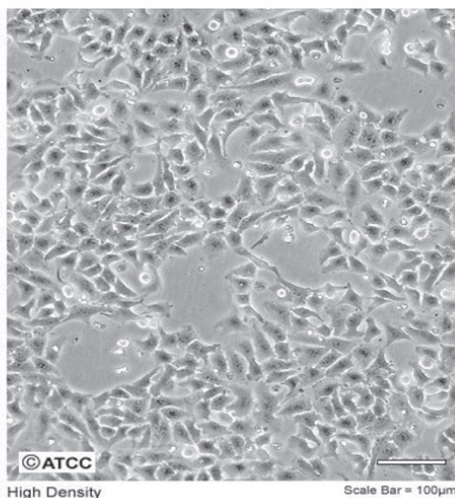
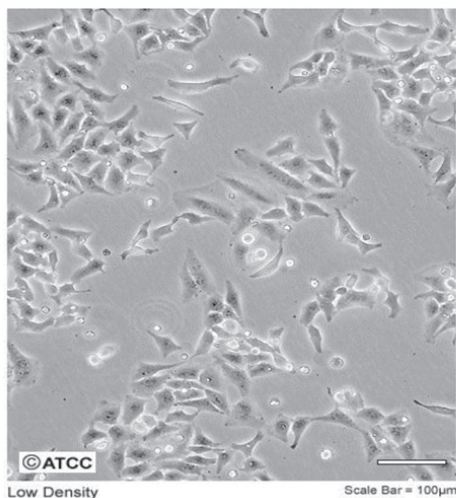
HeLa представляет собой эпителиальные клетки аденокарциномы шейки матки человека, прилипающие к подложке (рис. 1).

Опухолевые клетки культивировали в среде RPMI-1640 (Roswell Park Memorial Institute) (ПанЭко, Россия), содержащей 10 % эмбриональной телячьей сыворотки, 10 мМ буфера HEPES (4-(2-оксипиридин-1-ил)пиперазинэтансульфоновой кислоты), 100 МЕ/мл пенициллина и 100 мкг/мл стрептомицина в пластиковых флаконах для культур клеток (Corning Costar, США) при 37 °С, 100 % влажности и 5 % содержании углекислого газа в окружающем воздухе. Пассирование клеточной культуры производили каждые 3 дня.

Во время пересева клетки снимали с поверхности пластикового флакона смесью раствора Версена (ПанЭко, Россия) и 0,25 % раствора трипсина (ПанЭко, Россия) (в соотношении 1:1) в течение 3–5 мин при 37 °С. После «ошпаривания» клеток и открепления их от дна флакона трипсин инактивировали добавлением питательной культуральной среды с 10 % эмбриональной телячьей сывороткой (ПанЭко, Россия).

В экспериментальных исследованиях широкое распространение для оценки лекарственной цитотоксичности получил МТТ-тест, (скрининговый метод измерения выживаемости клеток). Данный тест основан на способности митохондриальных дегидрогеназ живой метаболически активной клетки конвертировать водорастворимый 3-(4,5-диметилтиазол-2-ил)-2,5-дифенил-2Н-тетразолиум бромид (МТТ) в формазан, который выпадает в виде кристаллов внутри клетки. Растворение формазана с помощью диметилсульфоксида (ДМСО) и последующая фотометрия цветного (фиолетового) раствора позволяют сопоставить изменение оптической плотности раствора в опытных лунках по отношению к контрольным и, таким образом, косвенно оценить долю погибших клеток под влиянием изучаемого агента [7, 8].

ATCC Number: **CCL-2**
Designation: **HeLa**



Эпителиальные клетки аденокарциномы шейки матки человека (HeLa ATCC® CCL-2™)

В настоящей работе МТТ-тест проводили с использованием культуры клеток HeLa, по методике, описанной Mosmann T. [9]. Клетки рассевали в лунки 96-луночного плоскодонного планшета для культур клеток в концентрации $10^4 - 2 \times 10^4$ кл/лунка и инкубировали при 37 °C, 100 % влажности и 5 % содержания углекислого газа в окружающем воздухе. После формирования монослоя производили замену полной культуральной среды, содержащей 10 % эмбриональную телячью сыворотку, на среду с низким содержанием сыворотки (1 % эмбриональной телячьей сыворотки) для стационарирования культуры и вносили исследуемые соединения. Длительность инкубации с опытными веществами в концентрациях 2 мкг/мл, 20 мкг/мл, 200 мкг/мл составляла 48 ч. За 4 часа до окончания инкубации в каждую лунку вносили 20 мкл раствора МТТ (матричный раствор 5 мг/мл) (ПанЭко, Россия) и инкубировали на протяжении еще 4 ч. По окончании инкубации среду осторожно удаляли, а в каждую лунку добавляли по 200 мкл ДМСО (ПанЭко, Россия). Осадок ресуспендировали и растворяли в течение 15 мин, инкубируя в темноте при комнатной температуре. Показания оптической плотности считывали на планшетном ИФА-фотометре (Immunochem 2100, США) при 492 нм. Долю жизнеспособных клеток рассчитывали в процентах по отношению к контролю [1]. Цитотоксичность исследуемое вещество проявляет, если его процентный показатель оптической плотности меньше 70 %. Если показатель оптической плотности превышает 70 %, то данное вещество не проявляет выраженной цитотоксичности на культуру клеток [2].

Результаты исследования и их обсуждение

Для изучения прямой цитотоксичности исследуемых соединений использовался МТТ-тест, который получил широкое распространение в экспериментальных исследованиях. Исследуемые соединения 4Д, НД, 39Д, 66', 64Д, 66Д, 43Д тестировали в диапазоне концентраций 2-200 мкг/мл в четырех параллельных сравнениях (для каждой концентрации) в 4 сериях экспериментов. Среднее значение для четырех измерений уровня оптической плотности (эквивалент доли метаболически активных/жизнеспособных клеток) выражали в процентах к контролю (таблица).

МТТ-тест показал, что при применении 4Д в диапазоне концентраций от 200 до 2 мкг/мл доля жизнеспособных клеток по отношению к контролю колебалась от $88,4 \pm 13,2\%$ до $94,5 \pm 11,4\%$ соответственно ($P > 0,05$). На фоне введения в культуру опухолевых клеток соединения НД в аналогичных концентрациях жизнеспособность клеток существенно не изменялась, процент жизнеспособности находился в пределах от $71,2 \pm 7,58$ до $89,1 \pm 5,6\%$, что статистически недостоверно по отношению к контролю. Показатель цитотоксичности 39Д, добавленного в культуральную среду в дозе

200 мкг/мл, составил $88,2 \pm 2,4\%$ ($P > 0,05$), в дозе 20 мкг/мл – $81,7 \pm 7,4\%$ ($P > 0,05$) и в дозе 2 мкг/мл – $97,2 \pm 10,8\%$ ($P > 0,05$), что подтверждает отсутствие выраженной токсичности *in vitro*.

В ходе эксперимента было выявлено, что соединение 66' усиливает пролиферацию исследуемой тест-культуры, его показатель оптической плотности превышает показатель в контроле. Так в дозе 200 мкг/мл доля жизнеспособных клеток по отношению к контролю составила $132,5 \pm 7,4\%$, в дозе 20 мкг/мл – $118,2 \pm 4,5\%$ ($P > 0,05$) и в дозе 2 мкг/мл – $109,4 \pm 6,2\%$ ($P > 0,05$). Внесение 64Д в культуру клеток аденокарциномы шейки матки человека вызывало увеличение количества метаболически активных клеток *in vitro* в диапазоне концентраций от 200 до 2 мкг/мл. Так, в концентрации 64Д 200 мкг/мл уровень жизнеспособности культуры характеризовался средним значением $105,6 \pm 7,7\%$ ($P > 0,05$), при использовании 20 мкг/мл – $122,4 \pm 12,8\%$ ($P > 0,05$), в дозе 2 мкг/мл – $108,7 \pm 13,4\%$ ($P > 0,05$). Применение 66Д в дозах 20 мкг/мл и 2 мкг/мл приводило также к стимуляции роста клеточной культуры HeLa до $127,9 \pm 11,9\%$ и $110,6 \pm 13,1\%$ соответственно, что статистически недостоверно по отношению к контрольной серии эксперимента. Однако в дозе 200 мкг/мл, показатель оптической плотности был меньше 70 % и составил $69,8 \pm 1,3\%$ ($P < 0,05$), что свидетельствует о токсичности данного соединения в изучаемой дозе. Аналогичная картина наблюдается при исследовании 43Д. Добавление к культуре клеток высокой дозы (200 мкг/мл) испытуемого агента приводит к снижению жизнеспособности опухолевых клеток до $53,2 \pm 1,3\%$ ($P < 0,05$), что подтверждает цитотоксичность данной дозы 43Д. Применение 43Д в концентрациях 20 и 2 мкг/мл приводит к пролиферации клеток HeLa до $110,9 \pm 12,6\%$ и $114,8 \pm 14,3\%$ соответственно ($P > 0,05$).

Необходимо отметить, что в ходе эксперимента у соединений 4Д, НД, 39Д, 66' наблюдалась зависимость выраженности фармакологического эффекта от концентрации указанных опытных агентов. У соединений 64Д, 66Д и 43Д подобной зависимости не отмечалось.

Таким образом, все изучаемые соединения в исследуемом интервале концентраций не оказывают выраженную цитотоксичность к эпителиальным клеткам аденокарциномы шейки матки человека, за исключением 66Д и 43Д в высоких дозах 200 мкг/мл.

Определение цитотоксичности исследуемых соединений в МТТ-тесте

Исследуемые соединения	Доза, мкг/мл		
	200	20	2
4Д	71,16	71,81	86,24
	68,39	72,88	71,66
	125,77	113,6	125,54
	88,44	86,1	94,48
	88,44 ± 13,21	86,1 ± 9,73	94,48 ± 11,38
НД	50,47	74,28	73,27
	77,6	91,53	96,96
	85,58	89,17	96,89
	71,22	85,3	89,23
	71,22 ± 7,51	85,07 ± 3,82	89,09 ± 5,58
66'	117,57	105,57	91,96
	127,35	123,69	119,04
	152,48	125,19	117,04
	132,52	118,21	109,54
	132,48 ± 7,35	118,16 ± 4,46	109,4 ± 6,16
64Д	84,47	85,96	70,91
	120,33	145,19	129,37
	111,82	135,9	125,83
	105,6	122,38	108,54
	105,55 ± 7,65	122,36 ± 12,77	108,66 ± 13,38
39Д	83,45	61,16	66,67
	94,73	95,33	113,68
	86,52	88,53	111,25
	88,25	81,58	97,16
	88,24 ± 2,38	81,65 ± 7,38	97,19 ± 10,81
66Д	66,2	94,7	76,74
	70,92	148,62	114,68
	72,34	140,62	140,19
	69,86	127,13	110,64
	69,83 ± 1,31	127,97 ± 11,88	110,56 ± 13,03
43Д	50	75,35	76,63
	53,36	129,26	145,55
	56,26	128,19	122,4
	53,18	110,87	114,62
	53,2 ± 1,28	110,92 ± 12,58	114,8 ± 14,32

Примечание. * – отличие от контроля статистически достоверно при $P < 0,05$.

Степень выраженности эффекта у соединений 4Д, НД, 39Д, 66' зависела от их концентрации *in vitro*.

Также установлено, что соединения 66', 64Д в изучаемых дозах и 66Д, 43Д в дозах 20 и 2 мкг/мл проявляют тенденцию к повышению доли жизнеспособных клеток линии аденокарциномы шейки матки человека.

Заключение

В результате исследования отмечалась тенденция увеличивать количество метаболически активных клеток, что может сви-

детельствовать о митогенном эффекте изучаемых соединений. Полученные данные представляют интерес для дальнейшего изучения действия этих соединений в аспекте снижения побочных эффектов и увеличения терапевтической эффективности.

Список литературы

1. Аникина Л.В., Пухов С.А., Дубровская Е.С., Афанасьева С.В., Ключков С.Г. Сравнительное определение жизнеспособности клеток с помощью МТТ и ресазурина // Фундаментальные исследования. – 2014. – № 12–7. – С. 1423–1427.
2. Жернов Ю.В. Анализ цитотоксичности гуминовых веществ пелоидов. // Известия Самарского научного цен-

тра Российской академии наук. – 2011. – Т. 13, № 1(8). – С. 1996–1998.

3. Кадималиев Д.А., Степаненко И.С., Надежина О.С., Ямашкин С.А. Влияние различно-замещенных пирролохинолинов на физиологобиохимические характеристики лигнолитического гриба *Lentinus tigrinus* // Микология и фитопатология. – Вып.5. – Т. 48. – 2014. – С. 309–314.

4. Степаненко И.С., Котыкин А.И., Ямашкин С.А. Изучение противомикробной активности фторзамещенных пирролохинолинов // Фундаментальные исследования. – 2013. – № 8–6. – С. 1406–1410.

5. Степаненко И.С., Котыкин А.И., Алямкина Е.А., Ямашкин С.А. Противомикробная активность производных 6-амино-5-метил-2-фенил- и 6-амино-1,5-диметил-2-фенилиндолов // Современные проблемы науки и образования. – 2015. – № 5; URL: [www.science-education.ru / 128-22043](http://www.science-education.ru/128-22043).

6. Степаненко И.С., Ямашкин С.А., Котыкин А.И. Биологическая активность и анализ масс-спектрального распада трифторметилпирролохинолинов // Успехи современного естествознания. – 2016. – № 8. – С. 55–60.

7. Cancer cell culture: methods and protocols / Ser. Methods in Molecular Medicine. Vol. 88. (Ed. S.P. Langdon) // Totowa, NJ: Humana Press, 2003. – P. 165–169.

8. In vitro toxicity testing protocols / Ser. Methods in Molecular Biology. (Eds S.O'Hare, C.K. Atterwill). // Totowa. – NJ: Humana Press, 1995. – Vol. 43. – P. 138–149.

9. Mosmann T. Rapid colorimetric assay for cellular growth and survival: application to proliferation and cytotoxicity assay // J. Immunol. Meth. – 1983. – Vol. 65, № 1–2. – P. 55–63.

10. Zhang Z. Synthesis of isomeric analogs of coenzyme pyrroloquinoline quinine (PQQ) / Z. Zhang, L.M.V. Tillekeratne, R.A. Hudson // Synthesis. – 1996. – № 3. – P. 377.

УДК 620.197

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СВОЙСТВ ПОЛИМЕРНЫХ ПЛЁНОК С ИНГИБИТОРОМ КОРРОЗИИ**Чупрова Л.В., Ершова О.В.***ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова»,
Магнитогорск, e-mail: ovyr_58@mail.ru*

В работе рассматривается одна из актуальных проблем – защита метизной продукции от коррозии. Дано обоснование актуальности исследуемой темы. Проанализированы различные материалы для упаковки металлопродукции. Показано, что прогрессивным направлением в борьбе с коррозией является использование ингибированных упаковочных материалов, в том числе антикоррозионных полимерных плёнок и бумаг. Рассмотрен механизм действия летучих ингибиторов коррозии, а также совместимость ингибиторов с упаковочными материалами. В практической части показаны результаты исследования защитных свойств полимерных упаковок для метизной продукции. Продemonстрированы положительные и отрицательные стороны исследуемых плёнок. По результатам проведенных исследований сделан вывод о том, какие плёнки лучше использовать предприятиям для упаковки металлопродукции. Практическая значимость данных исследований заключается в получении сравнительных результатов различных ингибированных плёнок, которые позволят производителям металлопродукции выбрать упаковочный материал с наилучшими эксплуатационными, защитными и экономическими показателями.

Ключевые слова: коррозия металлов, агрессивная среда, полимерные плёнки, ингибитор коррозии, барьерные свойства

RESEARCH OF OPERATIONAL PROPERTIES OF POLYMERIC FILMS WITH CORROSION INHIBITOR**Chuprova L.V., Ershova O.V.***Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, e-mail: ovyr_58@mail.ru*

In work one of urgent problems – protection of hardware products against corrosion is considered. Reasons for relevance of the researched subject are this. Various materials for packing of steel products are analysed. It is shown that the progressive direction in fight against corrosion is use of inhibited packaging materials, including anticorrosive polymeric films and papers. The mechanism of effect of flying inhibitors of corrosion, and also compatibility of inhibitors with packaging materials is considered. In a practical part results of a research of protective properties of plastic packagings for hardware products are shown. Positive and negative sides of the researched films are shown. By results of the conducted researches the conclusion is drawn on what films it is better for entities to use for packaging of steel products. The practical importance of these researches consists in obtaining comparative results of various inhibited films which will allow producers of steel products to choose a packaging material with the best operational, protective and economic indicators.

Keywords: corrosion of metals, hostile environment, polymeric films, corrosion inhibitor, barrier properties

В современном мире коррозия металлов и их защита от коррозии является одной из важнейших научно-технических и экономических проблем. Особенно остро эта проблема встает при транспортировке и хранении металлопродукции. Часто металлопродукция идет на экспорт морским путем, где металл подвержен атмосферной коррозии в агрессивной среде. Для того чтобы сохранить товарный вид металлопродукции и ее эксплуатационные свойства, необходима эффективная защита от коррозии [2, 7].

Прогрессивным направлением в борьбе с коррозией является использование ингибированных упаковочных материалов, в том числе антикоррозионных полимерных плёнок и бумаг. Преимуществом таких материалов является совмещение функций упаковочного средства и средства консервации, в результате чего отпадает необходимость

в дорогостоящей и трудоёмкой консервации металлоизделий маслами и консистентными смазками [9].

Из комбинированных материалов наиболее распространены в противокоррозионной технике полимерные пленки, склеенные со слоем бумаги. Бумага и картон, покрытые полиэтиленом, доступны, недороги, сочетают паро- и водостойкость, термосвариваемость, термонеprоницаемость, светонепроницаемость, эластичность. Защитная способность бумаги заключается не только в изоляции металлоизделия от внешней среды, но и в замедлении коррозионных процессов на металлической поверхности благодаря активному воздействию ингибитора, входящего в состав бумаги.

Для уменьшения проницаемости, повышения прочности и термостойкости в состав пленочных материалов вводят алюминиевую фольгу. Такие материалы

также комбинируют с бумагой. В противокоррозионной технике часто используют материалы: полиэтилен – фольга – полиэтилен – бумага – парафин, полиэтилен – фольга – полиэтилентерефталат.

В качестве протекторных металлических компонентов комбинированных материалов вместо фольги часто используют металлизационные слои. Для повышения прочности полимерные пленки армируют стеклянным волокном в виде нетканых перекрестных сеток, плетеными сетками из капрона.

Полимерно-тканевые противокоррозионные упаковочные материалы выпускают в виде многослойных композиций, состоящих из полиэтилена, ткани и металлизированного с одной или двух сторон полиэтилентерефталата [10].

Наиболее перспективным видом упаковочного материала для металлопродукции являются многослойные барьерные пленки с ингибитором коррозии [8].

На барьерные свойства полимерных материалов существенное влияние оказывает:

- степень ориентации полимерного пленочного материала;
- температура окружающей среды;
- толщина полимерного материала [1].

Многообразие пленочных материалов обуславливает множество конструктивно-технологических вариантов их использо-

вания в технологиях противокоррозионной защиты. Предпосылкой для промышленного использования полимерных пленок, содержащих ингибитор коррозии, в системах противокоррозионной защиты является свойство ингибированной пленки обеспечивать одновременно барьерную и ингибиторную защиту металлоизделий. Это позволяет совмещать консервацию и упаковывание изделий в одном технологическом процессе, максимально автоматизировать его, улучшить товарный вид законсервированной продукции, снизить расход упаковочных и консервационных материалов.

Исследование проводилось с целью оценки защитных свойств полимерных ингибированных плёнок и выбора оптимального упаковочного материала, который бы удовлетворял потребителей по своим эксплуатационным и экономическим показателям.

Материалы и методы исследования

Объекты исследования – полимерные ингибированные пленки для упаковки метизной продукции, представленные в табл. 1.

Проведены исследования по определению состава ингибированных пленок, смачиваемости, паропроницаемости, прочностных свойств, воздействия влажного тепла и соляного тумана (антикоррозионных свойств), а также определение процентного содержания ингибитора в упаковочных материалах.

Для определения вышеперечисленных свойств использовались методики, представленные в табл. 2.

Таблица 1

Исходные данные

Название пленки	Производитель	Нормативный документ
Ткань рулонная ингибиторная полипропиленовая ламинированная «Кортек»	ООО «Саровские полимеры», г. Москва	 ТУ 22 91-001-71344737-2009
Упаковочный материал с летучим ингибитором коррозии, на основе пленки полиэтиленовой «Тангсима»	ООО НПФ «Сигманта», г. Екатеринбург	 ТУ 5453-005-25023746-2006

Таблица 2

Методики эксперимента

Определяемая характеристика	Нормативный документ	Название методики
Состав пленок	ISO 11357 DIN 51006 ASTM E 1131	Дифференциальная сканирующая калориметрия, термогравиметрический анализ
Смачиваемость	ГОСТ 9.507 – 88	Определение равновесного угла смачивания упаковочных материалов
Предел прочности при проколе	ГОСТ 12.4.118-82	Определение стойкости к проколу упаковочных материалов
Масса ингибитора	ГОСТ 16295-93	Определение массы ингибитора методом смыва
Паропроницаемость	ГОСТ 9.507 – 88	Определение проницаемости упаковочных материалов к парам воды
Коррозионная стойкость	ГОСТ 9.905 – 82	Испытание упаковочных материалов при воздействии нейтрального соляного тумана
	ГОСТ 9.719 – 94	Испытания упаковочных материалов при воздействии влажного тепла

Таблица 3

Результаты испытаний полимерных плёнок на прокол

Исследуемый материал	Толщина образца, мм	Усилие прокола F, Н	Предел прочности при проколе, МПа
Пленка «Тангсима»	0,150	6,2	7,90
Пленка «Кортек»	0,154	9,3	11,85
Полипропиленовая пленка	0,124	2,0	2,55

Результаты исследования и их обсуждение

Состав плёнок. С помощью синхронно-термического анализа был определён состав полимерных плёнок. Для исследования использовался прибор синхронного термического анализа STA449F3 Jupiter фирмы NETZSCH, который оснащён ТГ-ДСК системой держателя образца с термопарой типа К чувствительностью 0,2 мкВт. Испытания проводились при следующих условиях: температурная программа – нагревание от 30 °С до 600 °С, скорость нагревания – 10 К/мин, тигли – алюминиевые, атмосфера – аргон, 20 мл/мин. Данный метод эффективен при исследовании подобных материалов [13, 14].

На основе полученных данных установили, что образец пленки «Тангсима» состоит из полиэтилена низкой плотности ($T_{пл} = 103 - 110\text{ °C}$; $\rho = 0,917 - 0,92\text{ г/см}^3$) и полипропилена ($T_{пл} = 160 - 170\text{ °C}$; $\rho = 0,90\text{ г/см}^3$); образец пленки «Кортек» состоит из полиэтилена высокой плотности ($T_{пл} = 129 - 135\text{ °C}$; $\rho = 0,95 - 0,96\text{ г/см}^3$) и полипропилена, что соответствует техническим условиям на данные пленки.

Предел прочности при проколе. За показатель сопротивления проколу принято нормальное растягивающее напряжение в момент разрушения материала. Полученные данные представлены в табл. 3.

Определение массы ингибитора. Массу ингибитора в массе бумаги площадью 1 м² в граммах определяли по формуле

$$X = \frac{(m_1 - m_2) \cdot 10^4}{S},$$

где m_1 – масса образца бумаги до вымачивания, кг;

m_2 – масса промытого и высушенного образца бумаги, кг;

S – площадь образца бумаги, равная 0,01 м².

Полученные данные представлены в табл. 4.

Результаты исследования по содержанию ингибитора в пленке соответствуют техническим условиям на данные пленки [11, 12].

Определение паропроницаемости. Проницаемость упаковочных материалов определялась по количеству паров воды, проникающих через 1 м² поверхности материала за 24 часа при определенной температуре и относительной влажности [3].

Таблица 4

Процентное содержание ингибитора в пленке

Образец исследуемого материала	Масса 1 м ² пленки m, г	Масса ингибитора X, г	Содержание ингибитора в пленке, %
Пленка «Тангсима»	111,575	10,15	9,10
Пленка «Кортек»	95,407	12,3	12,89

Таблица 5

Средние значения паропроницаемости

Исследуемый материал	Пленка «Тангсима»	Пленка «Кортек»	ПП	ПЭ
Паропроницаемость, г/м ² ·сут	9,00287	8,40366	0,26279	1,09643

Перед испытанием образцы проб, содержащие летучий ингибитор коррозии, выдерживали в вытяжном шкафу при температуре $(30 \pm 5)^\circ\text{C}$ в течение 2–5 суток.

Продолжительность испытаний в камере тепла – 24 часа. Первое взвешивание металлических стаканов с образцами провели через восемь часов, второе – в конце испытания. Средние значения паропроницаемости полимерных плёнок приведены в табл. 5.

Наименьшей паропроницаемостью обладает пленка «Кортек», что соответствует техническим условиям на эту плёнку.

Определение коррозионной устойчивости под воздействием нейтрального соляного тумана. Для оценки стойкости к коррозии исследуемых упаковочных материалов были проведены испытания при воздействии нейтрального соляного тумана по ГОСТ 9.905-82 [5]. Сущность метода заключается в ускорении коррозионного процесса введением в атмосферу 3 % раствора хлорида натрия.

Для проведения испытания нарезанную проволоку разных диаметров, а также гвозди упаковывали в исследуемые материалы, так, чтобы на них не попадала влага. Образцы размещали в камере таким образом, чтобы воздействие тумана на их поверхность было равномерным и капли раствора не стекали на расположенные ниже образцы. Испытуемые образцы должны занимать не более 15 % объема камеры. Помещали образцы в камеру соляного тумана. Испытания проводились в течение 18 дней. За это время прогнали 700 мл 3 % хлорида натрия.

В результате испытаний установили, что образцы оцинкованной проволоки не были подвержены коррозии, а гвозди прокорродировали. Наиболее сильно подвергся коррозии образец, упакованный в полипропиленовую пленку. Образцы пленок «Тангсима» и «Кортек» показали сходные результаты.

Следует отметить, что на образце оцинкованной проволоки, помещенной в камеру без упаковки хорошо видны следы коррозии. Степень поражения коррозией зависит также от герметичности упаковки.

Определение полимерных плёнок на воздействие влажного тепла. Испытание антикоррозионных свойств упаковочных материалов проводили в соответствии с ГОСТ 9.719 – 94 [4].

Подготовленные образцы оцинкованной проволоки и гвозди упаковывали в исследуемые материалы, часть из которых закрывали герметично, а другую – негерметично. Образцы помещали в климатическую камеру СМ – 60/75 – ХХТВХ.

Испытания основаны на воздействии на образцы конденсата влаги и постоянной температуры. Испытания проводили при температуре 40°C и влажности 95 %.

Образцы подвергались испытанию в течение месяца. В результате осмотра на образцах не обнаружено следов коррозии.

Это свидетельствует о том, что при герметичной упаковке изделия, упакованные в исследуемые пленки, можно транспортировать во влажном климате в течение как минимум одного месяца.

Заключение

По результатам проведенных исследований можно сделать вывод о том, что образцы пленок «Тангсима» и «Кортек» по всем показателям удовлетворяют нормативным требованиям. Однако пленка «Кортек» имеет лучшие прочностные характеристики, такие как предел прочности при проколе. При меньшей массе пленка имеет большую толщину, что свидетельствует о более высокой прочности по сравнению с пленкой «Тангсима». Преимуществом меньшей массы является легкость и простота упаковки. Пленка «Кортек» в меньшей

степени подвержена воздействию паров воды, о чем свидетельствует меньшая паропроницаемость. Смачиваемость пленок незначительная и характеризуется сходными значениями углов смачивания. Процентное содержание ингибитора в пленке «Кортек» выше, чем в пленке «Тангсима», что позволяет сделать вывод о лучших антикоррозионных свойствах.

С экономической точки зрения лучшей является ингибированная пленка «Кортек», т.к. ее цена ниже, чем цена пленки «Тангсима».

Учитывая эксплуатационные, защитные и экономические характеристики ингибированных пленок, рекомендуем производителям металлопродукции (оцинкованной проволоки) использовать в качестве упаковки ингибированную пленку «Кортек».

Список литературы

1. Беляев В.С. Барьерные свойства полимерных материалов [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.valmapak.ru/article/23/>.
2. Беттхер Г.Д. Коррозионное поведение оцинкованных стальных конструкций / Атмосферная коррозия в промышленном и гражданском строительстве: сб. докладов / перевод с нем. / Ю.С. Рускола, В.Ф. Горева. – М.: Металлургия, 1981 – С. 40–49. – Библиогр.: С. 49.
3. ГОСТ 9.507 – 88. ЕСЗКС. Материалы герметизирующие. Методы испытаний – Взамен ГОСТ 9.038-74; введ. 19.02.1988. – Минск: Изд-во стандартов, 1988.
4. ГОСТ 9.719-94. Единая система защиты от коррозии и старения. Методы испытаний на старение при воздействии влажного тепла водяного и соляного тумана [Текст] – Введ. – 01.01.1997; URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200015014>.
5. ГОСТ 9.905-82. Методы коррозионных испытаний. Общие требования [Текст] – Введ. – 01.07.83; URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200007237>.
6. ГОСТ 12.4.118-82 Пленочные полимерные материалы и искусственные кожи для средств защиты рук. Метод определения стойкости к проколу [Текст] – Введ. 01.01.1984; URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200018589>.
7. Коррозия стали и антикоррозионные свойства цинковых покрытий [Электронный ресурс]: статья. – 2010. – Режим доступа: <http://www.newmet.ru/>.
8. Малахов Е.В. Полимерные пленки с ЛИК для защиты металлоизделий при хранении [Текст] / Е.В. Малахов, В.А. Карпов, Т.О. Якубовская // Коррозия: материалы, защита: Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова РАН. – М.: ЗАО «МостНИК». – 2004. – № 8. – С. 12–18.
9. Пинчук Л.С., Неверов А.С. Полимерные пленки, содержащие ингибиторы коррозии [Текст] / Л.С. Пинчук, А.С. Неверов. – М.: Наука, 1985. – 280 с.
10. Современные способы защиты металлоизделий от коррозии многослойными комбинированными материалами [Текст] // Пакет. – 2006. – № 2. – С. 44–47.
11. ТУ 5453-005-25023746-2006. Упаковочные материалы с летучими ингибиторами коррозии [Текст] – Введ. 01.03.2006. – Екатеринбург, 2006.
12. 22 91-001-71344737-2009. Ткань рулонная ингибиторная полипропиленовая ламинированная [Текст] – Введ. 01.06.2009. – М., 2009.
13. DIN 51006. Термический анализ. Термогравиметрия. Основы [Текст] – Взамен DIN 51006:1990-10; введ. 01.07.2005 (перевод с нем.).
14. ISO 11357. Пластмассы. Дифференциальная сканирующая калориметрия [Текст] – (перевод с англ.).

УДК 621.315.631.1:544.03

КИНЕТИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ПРОЦЕССА ДЕГИДРОКСИЛАЦИИ СЛЮД**Шишелова Т.И., Леонова Н.В.***Иркутский национальный исследовательский технический университет, Иркутск,
e-mail: anleonova@mail.ru*

Технология производства композиционных материалов на основе слюды предусматривает высокотемпературный нагрев исходных компонентов. В этих условиях спеканию и кристаллизации предшествует физико-химический процесс дегидроксиляции слюды. Понимание механизма дегидроксиляции и условий его протекания необходимо для управления технологическим процессом производства композитов. В работе изучены кинетические параметры дегидроксиляции (константа скорости, энергия активации и коэффициент диффузии воды в межслоевом промежутке) при температурах 600–1000 °С. Методом термографии исследовались мусковит и флогопиты месторождений Ковдор, Каталах, Арябиловский. Выявлена зависимость скорости процесса от крупности слюды. Экспериментально определены константы скоростей дегидроксиляции, которые позволили рассчитать эффективную величину энергии активации диффузии воды для слюд различного генезиса. Установлено, что лимитирующей стадией процесса является либо диффузия молекул воды в межслоевом пространстве (Арябиловский и Каталахский флогопиты), либо перестройка гидроксильных ионов с образованием воды (Ковдорский флогопит и мусковит).

Ключевые слова: слюдосодержащие композиционные материалы, дегидроксиляция слюд, кинетические кривые, коэффициент диффузии воды, энергия активации

KINETIC PARAMETERS OF MICAS DEHYDROXYLATION PROCESS**Shishelova T.I., Leonova N.V.***Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, e-mail: anleonova@mail.ru*

Production technology of composite materials based on mica provides high-temperature heat of source components. In these conditions, the sintering and crystallization is preceded by a physico-chemical process of mica dehydroxylation. Understanding of dehydroxylation mechanism and its flow conditions is required for process control of composites. In the paper dehydroxylation kinetic parameters, such as rate constant, activation energy and the diffusion coefficient of water in the interlayer gap at temperatures of 600–1000 °C. Muscovites and phlogopites from Kovdor, Catalog and Arabinose deposits were studied by thermography method. The dependence of the process speed from size of mica particle was discovered. Dehydroxylation rate constants, which allowed to calculate the effective value of water diffusion activation energy for micas with different genesis, was experimentally determined. It is established that the limiting stage of the process is either water molecules diffusion in the interlayer space (Arabinose and Tatalajski micas), or the restructuring of the hydroxyl ions to water form (phlogopite from Kovdor and muscovite).

Keywords: mica-containing composite material, micas dehydroxylation, kinetic curves, diffusion coefficient of water, activation energy

Основной задачей технологии силикатов и тугоплавких неметаллических материалов является превращение сырьевых смесей в готовые композиционные материалы, которые получают вследствие высокотемпературной обработки исходных материалов и технологического процесса их производства, в результате которого происходят сложные физико-химические процессы: химические твердофазные реакции, спекание, кристаллизация из расплавов и др.

Контролировать процесс формирования силикатных композиционных материалов невозможно без детального знания механизма и кинетики этих процессов и технологических факторов, позволяющих влиять на их формирование. Ввиду малой подвижности элементов кристаллических решеток химическому взаимодействию в твердом состоянии неизбежно предшествуют разнообразные физические и физико-химические

процессы, которые определяют весь ход взаимодействия [1–4, 6, 11].

В случае создания композиционных материалов на основе слюд процессу спекания и кристаллизации предшествует физико-химический процесс дегидроксиляции слюд. Знание закономерностей процессов твердофазных реакций дает возможность их практического использования для управления. Дегидроксиляция слюд является начальным этапом формирования слюдосодержащих композиционных материалов. Слюда, утрачивая воду, переходит в дегидроксилат с последующим его разложением на составляющие. Это явление оказывает существенное влияние на выбор и обоснование технологических параметров изготовления композиционных материалов, поэтому закономерности процесса дегидроксиляции представляют большой научный и практический интерес. В данной работе исследованы кинетические параметры процес-

са дегидроксиляции (константа скорости, энергия активации, коэффициент диффузии воды в межслоевом пространстве) при температурах 600–1000 °С.

Установлено, что процесс дегидроксиляции слюд мусковита и флогопита происходит при температурах 700–900 °С, при этом величина равновесного парциального давления паров воды составляет 300–400 Па.

Известны различные методы исследования процесса дегидроксиляции при повышенных температурах, основанные главным образом на контроле числа гидроксильных ионов в структуре нагреваемой слюды (рентгеновский метод, ИК-спектроскопия, ЯМР и др.) [5–10]. Однако все эти методы требуют высокотемпературных установок и специальной измерительной аппаратуры. Наиболее простым и вместе с тем достаточно надежным является метод контроля потери массы слюды при ее нагревании [7, 8].

Анализ литературных данных свидетельствует о том, что газовыделение, сопровождающее потерю массы слюды, не превышает тысячных долей процента. Поэтому оценка скорости удаления воды из слюды по потере массы является вполне правомерной.

Методом термографии были изучены потери массы мелкодисперсных слюд при температурах 20–1000 °С, нагрев образцов производили в двух режимах. Вначале форсированный нагрев с контролем общей потери массы в нестационарном режиме, затем при достижении заданной температуры в стационарном температурном режиме.

Поскольку процесс дегидроксиляции слюды является гетерогенным, то его скорость должна зависеть от крупности слюды. В связи с этим были проведены опыты с образцами различной крупности $d = 0,208, 0,104$ и $0,074$ мм мусковита и флогопита Алданского (рудник «Каталах» и «Аряби-

ловский») и Ковдорского месторождений. Прогрев слюды в стационарном режиме – 60 минут, время прогрева до стационарного режима в зависимости от температуры составляло 30–40 минут (табл. 1).

В ходе эксперимента установлено, что скорость процесса дегидроксиляции возрастает с повышением тонины помола слюды. Как и следовало ожидать, скорость дегидроксиляции, оцениваемая по величине потери массы, больше у слюды с меньшей крупностью. При снятии кинетических кривых во всех последующих опытах крупность была постоянной.

На рис. 1 приведены типичные кинетические кривые изменения потери массы мусковита при различных температурах.

Опыты с мусковитом и флогопитом показали, что скорость удаления воды изменяется со временем. Зависимость изменения массы во времени имеет криволинейный характер (рис. 1). Формально дегидроксиляцию можно представить уравнением диффузионной кинетики, основанием для которой могут служить особенности кристаллохимического строения слюды и, в частности, наличие межслоевых зон, удаление молекулярной воды из которых может быть лимитирующей стадией. В этом случае скорость процесса дегидроксиляции может быть представлена уравнением

$$\frac{d[H_2O]}{d\tau} = D \cdot S \cdot \frac{\Delta[H_2O]}{\delta}, \quad (1)$$

где $\frac{d[H_2O]}{d\tau}$ – скорость удаления воды;

D – коэффициент диффузии воды в межслоевом пространстве;

S – суммарная поверхность, образованная межслоевым пространством и периферийными размерами частичек слюды;

$\frac{\Delta[H_2O]}{\delta}$ – градиент концентрации воды в центре частички слюды и на ее периферии.

Таблица 1

Потери массы слюд при различных температурах (600–1000 °С)

Слюда	Потери массы в нестационарном режиме, % (при нагревании до температуры, °С)					Потери массы в стационарном режиме, % (при температуре, °С)				
	600	700	800	900	1000	600	700	800	900	1000
Мусковит	0,6	0,72	1,10	–	–	0,42	0,92	2,64	–	–
Флогопит Ковдор	–	1,6	1,20	1,22	1,8	–	0,14	0,32	0,54	1,30
Флогопит Каталах	–	0,7	0,72	0,72	1,30	–	0,2	0,28	0,36	1,6
Флогопит Арябиловский	–	0,64	0,66	0,7	1,44	–	0,16	0,18	0,26	1,4

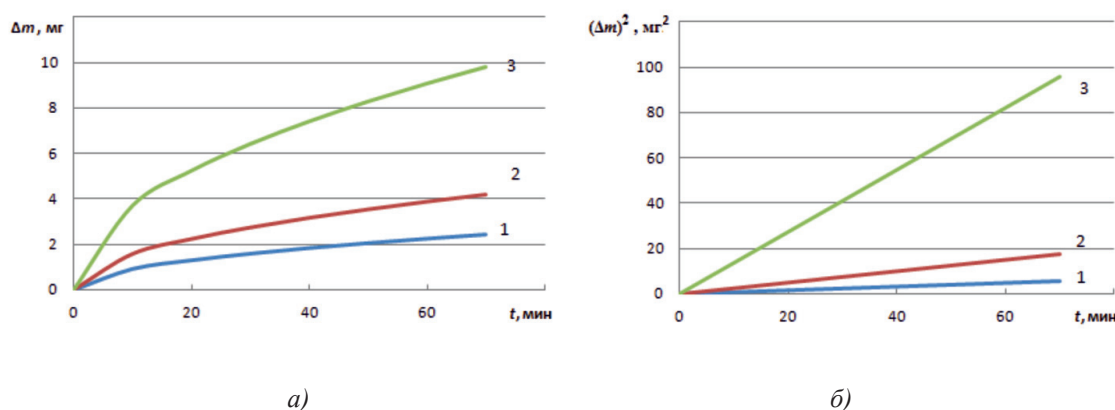


Рис. 1. Кинетические кривые потери массы мусковита при разных температурах: а – в координатах « $\Delta m - t$ », б – в координатах « $(\Delta m)^2 - t$ » (1 – 700 °C; 2 – 800 °C; 3 – 900 °C)

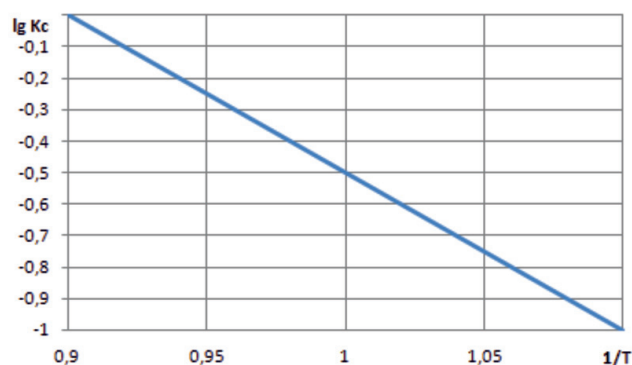


Рис. 2. Температурная зависимость константы скорости дегидроксиляции мусковита

Поскольку толщина диффузионного слоя δ зависит не только от размера слюды, но и от наличия в межслоевом пространстве образовавшейся воды, то при постоянстве межпакетных зон при нагревании слюды можно считать, что величина диффузионного сопротивления удаления воды будет однозначной функцией количества воды, которая образуется из гидроксильных ионов, т.е.

$$\delta = K_1 [\text{H}_2\text{O}]. \quad (2)$$

Кинетическое уравнение в окончательной форме примет вид

$$[\text{H}_2\text{O}]^2 = k_c \cdot \tau, \quad (3)$$

где k_c – константа скорости дегидроксиляции. Анализ этого уравнения позволяет считать, что процесс дегидроксиляции слюды описывается уравнением нестационарной диффузии.

Обработка экспериментальных данных показала, что все они удовлетворительно описываются кинетическим уравнением (3), которое и было использовано во всех

следующих расчетах констант скорости дегидроксиляции (рис. 1 б). Так, например, при обработке кинетических кривых дегидроксиляции мусковита с использованием уравнения (3) получены результаты, представленные в табл. 1, которые позволяют определить экспериментальную величину константы скорости дегидроксиляции слюды при соответствующей температуре.

В частности, для мусковита при температурах 600, 700, 800 °C значения констант скоростей соответственно равны 0,051; 0,317; 1,285 (табл. 2). Рассчитанные по экспериментальным данным значения констант скоростей позволяют, пользуясь уравнением Аррениуса, определить эффективную величину энергии активации процесса:

$$k_c = A \cdot e^{-E/RT}, \quad (4)$$

где k_c – константа скорости; A – коэффициент, зависящий от природы слюды; R – универсальная газовая постоянная; T – температура; E – энергия активации.

Таблица 2

Значение параметров процесса дегидроксиляции различных слюд при 600–900 °С

Характеристика	Мусковит	Флогопит		
		Ковдор	Каталах	Арябиловский
Константа скорости, мг ² /мин: при 600 °С при 700 °С при 800 °С при 900 °С	0,051 0,317 1,285 –	– 0,00027 0,0011 0,0050	– 0,00012 0,00039 0,00107	– 0,000056 0,00014 0,00048
Коэффициент диффузии, м ² /с×10 ⁹ : при 600 °С при 700 °С при 800 °С при 900 °С	18,7 37,65 46,98 –	– 0,47 2,62 8,69	– 9,05 17,31 31,47	– 8,38 14,57 22,06
Энергия активации, кДж/моль: до 800 °С при 800–900 °С	122,0 122,0	139,0 139,0	11,5 93,0	5,25 92,0

На рис. 2 в координатах «lg k_c – 1/T» представлена температурная зависимость константы скорости дегидроксиляции мусковита, тангенс угла наклона прямой дает возможность определить величину энергии активации. Аналогичным образом были обработаны кинетические кривые для флогопитов различного генезиса. Опыты проводили с образцами флогопита Алданского, рудник «Каталах» и «Арябиловский», и Ковдорского месторождения.

Аналогичным способом были обработаны кинетические кривые для флогопитов различного генезиса. Как видно из табл. 1, наименьшие потери массы в интервале температур 700–900 °С имеет Арябиловский флогопит. Ковдорский флогопит в среднем выделяет в 1,8 раза больше воды. У этого флогопита больше межслоевой и сорбированной воды, она в основном удаляется не в стационарном режиме, раньше он начинает терять гидроксилы, поэтому общие потери массы у него больше.

Наблюдаемый коэффициент диффузии воды равен

$$D = \frac{K \cdot k_c}{2S[H_2O]_0}, \quad (5)$$

принимая толщину пакета 10^{-10} м, величину межслоевого промежутка $\sim 0,2 \times 10^{-10}$ м, плотность слюды $\rho = 280$ кг/м³ и геометрические размеры частиц, можно определить площадь S , через которую происходит диффузия воды. Для навески 0,5 г она равна $6,2 \times 10^{-4}$ м². Зная общий объем диффузионной зоны, можно оценить $[H_2O]_0$ при определенной температуре.

Подставляя найденные величины в уравнение (5), определяем экспериментальный коэффициент диффузии. Расчетные данные приведены в табл. 2, из которой видно, что коэффициент диффузии воды, как и наблюдаемая константа скорости дегидроксиляции, в значительной степени зависят от температуры и генезиса слюды.

Для Арябиловского и Каталахского флогопитов кривые Аррениуса имеют изломы при 800 °С, свидетельствующие о том, что в интервале 700–800 °С существует два режима удаления воды. Экспериментально найденные значения энергии активации для этих слюд, соответственно равные 5,25 и 11,50 кДж/моль, указывают на то, что процесс удаления воды до 800 °С происходит в диффузионном режиме.

Выше 800 °С найденные значения энергии активации возрастают до 92–139 кДж/моль и режим становится кинетическим. В связи с этим есть основания полагать, что при температурах до 800 °С практически завершается удаление молекулярной воды, а выше 800 °С начинается процесс дегидроксиляции с образованием воды и ее перенос по тетраэдрическим каналам к кромкам слюды.

Стадии удаления сорбированной и конституционной воды во флогопитах Каталах и Арябиловский четко разграничены температурным интервалом. При температурах до 800 °С практически завершается удаление молекулярной воды. Свыше 800 °С начинается процесс дегидроксиляции – удаление химически связанной воды. У флогопита Ковдор дегидроксиляция начинается в тот период, когда выделение молекулярной

воды еще не завершено и энергия такого сложного процесса равна 139 кДж/моль.

Низкое значение коэффициента диффузии Ковдорского флогопита по сравнению с Каталахским объясняется тем, что выделение сорбированной воды из этой среды не заканчивается даже при 700–900 °С. Высокое значение энергии активации свидетельствует о том, что процесс осложнен наложением процесса образования молекулярной воды из гидроксильных ионов.

Экспериментальные коэффициенты диффузии Арябиловского и Каталахского флогопитов примерно близки и выше, чем у Ковдорского, а найденные энергии активации ниже. Лимитирующей стадией процесса дегидроксиляции у этих слюд является диффузия.

Для мусковита удаление воды в температурном интервале 700–900 °С происходит в кинетическом режиме, что подтверждается высоким значением величины наблюдаемой энергии активации 122 кДж/моль, а сравнительно высокие значения коэффициента диффузии в этом температурном интервале позволяют считать, что удаление молекулярной и структурной воды происходит одновременно. Отсюда следует, что, несмотря на различия в режимах процесса дегидроксиляции (различные лимитирующие стадии), механизм процесса остается неизменным. Температурная зависимость наблюдаемой константы скорости дегидроксиляции изученных слюд описывается следующими уравнениями:

$$\text{Мусковит (700–900 °С)} \quad K = 5,36 - \frac{5800}{T};$$

Флогопиты:

$$\text{Ковдор (700–900 °С)} \quad K = 6,656 - \frac{7303}{T};$$

$$\text{Арябиловский (700–800 °С)} \quad K = -0,95 + \frac{843}{T};$$

$$\text{Каталах (800–900 °С)} \quad K = 5,495 - \frac{6610}{T}.$$

Таким образом, экспериментально найдены кинетические характеристики процесса дегидроксиляции для мусковита и флогопита (константа скорости, энергия активации, коэффициент диффузии воды в межслоевом промежутке) при температурах 700–900 °С. Показано, что лимитирующими стадиями процесса являются либо диффузия молекул воды в межслоевом пространстве (Арябиловский и Каталахский флогопиты), либо перестройка гидроксильных ионов с образованием воды (Ковдорский флогопит и мусковит).

Список литературы

1. Авдейчик С.В., Лиопо В.А., Струк В.А. Полимер – силикатные машиностроительные материалы: физико-химия, технология, применение. – Минск «Технология», – 2007. – 431 с.
2. Горшков В.С., Савельев В.Г., Федоров Н.Ф. Физическая химия силикатов и других тугоплавких соединений. – М.: Высш. шк., 1988. – 400 с.
3. Кнорре Д.Г., Крылова Л.Ф. Физическая химия. – М.: Высш. шк., 1990. – 405 с.
4. Степанов Н.Ф., Пупышев В.Н. Квантовая механика и химия. – М.: Изд-во МГУ, 1991. – 384 с.
5. Сун-Цю-Жен А.С., Шишелова Т.И., Липовченко Е.Л. Использование метода ИК-спектроскопии для изучения дегидроксиляции гидроксильных групп в минералах // Международный журнал экспериментального образования. – 2014. – № 8–2. – С. 96–97.
6. Флари Р. Квантовая химия. – М.: Мир, 1985. – 472 с.
7. Шишелова Т.И. Вода в минералах. – Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2011. – 110 с.
8. Шишелова Т.И. Связанная вода в минералах. // Современные наукоемкие технологии. – 2010. – № 7. – С. 73–75.
9. Шишелова Т.И., Липовченко Е.Л. Механизм дегидроксиляции минералов с позиций квантовой механики // Фундаментальные исследования. – 2015. – № 6–2. – С. 311–315.
10. Шишелова Т.И., Липовченко Е.Л. Квантово-механический расчет дегидроксиляции минералов. // Успехи современного естествознания. – 2015. – № 12 – С. 177–184.
11. Шишелова Т.И., Шульга В.В. Физико-химические основы производства композитных материалов на основе слюд. // Фундаментальные исследования. – 2016. – № 3–3 – С. 538–541.

УДК 581.526.1

ДИНАМИКА СОСТОЯНИЯ ЛИСТВЕННИЧНЫХ ЛЕСОВ ЗАБАЙКАЛЬЯ**Горбунов И.В., Зима Ю.В., Банщикова Е.А., Желибо Т.В., Пак Л.Н.***ФГБУН «Институт природных ресурсов, экологии и криологии Сибирского отделения Российской академии наук», Чита, e-mail: inrec.sbras@mail.ru*

С 2008 года по настоящее время проводятся исследования лесных территорий Забайкалья, относящихся к Байкальскому и Амурскому бассейнам с характерными для них типами растительности, а именно: лиственничниками рододендроновыми, брусничными и ерниковыми [5]. Установлено, что происходит периодический прогрессирующий процесс снижения численности живого древостоя лиственницы Гмелина (*Larix gmelinii* Rupr.), а также снижение его возобновляемой функции. Сохранение практически ежегодной высокой пожарной активности приводит к снижению проективного покрытия кустарникового и травяно-кустарничкового ярусов. В результате возможна катастрофически полная гибель *Larix gmelinii* Rupr. – лиственницы Гмелина с параллельной сменой древесных пород, если продолжится тенденция к повышению средней температуры за вегетационный период и не уменьшится частота и устойчивость пожарной активности.

Ключевые слова: пожары, жизненное состояние, проективное покрытие, лесные сообщества, пробная площадь, структура древостоя, флористический состав

DYNAMICS OF STATE LARCH FORESTS IN TRANSBAIKALIA**Gorbunov I.V., Zima Yu.V., Banshikova E.A., Zhelibov T.V., Pak L.N.***Federal State Institution of Science «Institute of Natural Resources, Ecology and Cryology Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences», Chita, e-mail: inrec.sbras@mail.ru*

Since 2008, currently under study forest territories Trans-Baikal related to the Baikal and the Amur basin with their characteristic vegetation types – larch rhododendron, cowberry and dwarf (Panarin II, 1977). It has been established that there is a periodic process of progressive reduction of the number of live stand Gmelin larch (*Larix gmelinii* Rupr.), as well as reducing its revolving function. Save almost every year of high fire activity leads to a reduction of cover shrub and grass-shrub layers. As a result, the possibility of catastrophic total loss of *Larix gmelinii* Rupr. – Gmelin larch with a parallel change of tree species, if continued upward trend in average temperature during the growing season and reduce the frequency and activity of fire resistance.

Keywords: fire, life state, projective cover, forest communities, sampling area, stand structure, floristic composition

Границы исследуемой территории проходят по водоразделам хребтов Осинный (отроги хребта Цаган-Хуртэй) и Яблоновый. Исследования проводятся с 2008 г. по настоящее время. Для большей части рассматриваемой территории характерен среднегорный и плоскогорный рельеф с плавными очертаниями водораздельных гребней и куполообразными вершинами, с неглубокими долинами и густой сетью падей и распадков. Данная территория относится одновременно к Байкальскому бассейну (западная сторона) и Амурскому (восточная сторона).

Резко континентальный климат района, мерзлотные почвы, умеренная влажность способствуют распространению лиственничных лесов преимущественно из лиственницы Гмелина (*Larix gmelinii*). Эти леса занимают около 50% территории. Лиственничные леса, произрастающие на рассматриваемой территории, различаются по доминирующим видам подлеска и травостоя. Наиболее широко распространены лиственничники рододендроновые, ерниковые, брусничные, багульниковые.

Данная территория отличается значительной степенью биоразнообразия. Флора сосудистых наземных растений этой территории насчитывает 562 вида сосудистых растений, относящихся к 283 родам и 68 семействам.

Существенные антропогенные нагрузки (чаще всего это лесные пожары), которым подвергается рассматриваемая территория, в первую очередь отражаются на состоянии растительного покрова. Таким образом, требуются постоянные натурные исследования состояния лесных фитоценозов на данной территории для их сохранения и восстановления.

Здесь подобрано и исследовано маршрутно-рекогносцировочным и геоботаническим методами, а также методами космического мониторинга 15 постоянных пробных площадей (рис. 1).

Материалы и методы исследования

Согласно геоботанической методике [3] все постоянные модельные учетные площади (50х50 м) максимально однородны по положению в рельефе, характеру почвы, крутизне и экспозиции склона, уровню залегания грунтовых вод, характеру подстилающих горных пород.

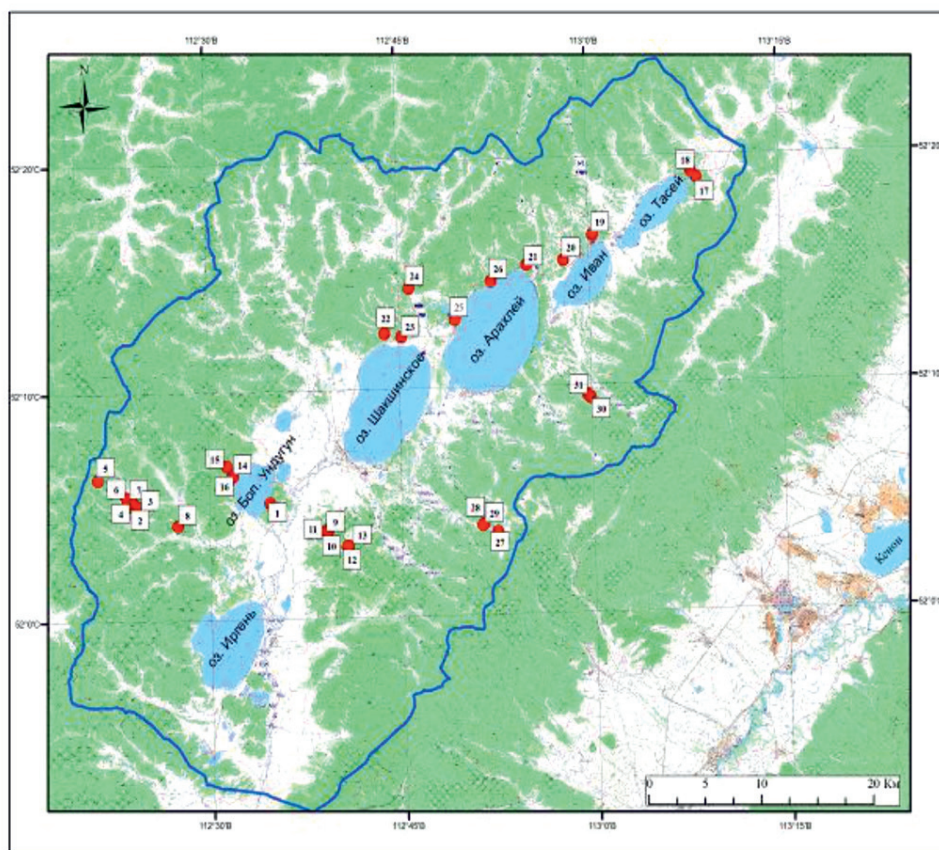


Рис. 1. Карта размещения пробных площадей на исследуемой территории



Рис. 2. Жизненное состояние древостоя в лиственничнике рододендроновом (на примере ППЗ, г. Шара-Горхон, 2013–2016 гг.)

По углам постоянные пробные площади маркированы деревянными столбами высотой 1,3 м. Со временем их можно заменить на металлические или пластиковые для долговечности. Расположение каждой площади нанесено на картосхему исследуемого участка и методом космической навигации определены координаты всех четырех углов площадей и вы-

та над уровнем моря. Каждая площадь была разбита на постоянные квадраты 10x10 м. По углам квадраты отмаркированы деревянными кольями высотой 1,3 м. На план-схеме квадраты 10x10 м пронумерованы, показана ориентация площадей относительно сторон света и надежных ближайших ориентиров, в частности дорог.

Подробно описано по каждой исследуемой учетной площади: рельеф, направление и крутизна склона, гранулометрический состав и мощность почвы, условия увлажнения местообитания растительного сообщества. Сплошным перечетом исследовались: вид, диаметр, высота (при помощи высотомера) и возраст (при помощи бура) по ступеням толщины всех деревьев на учетных площадях, а также описано их жизненное состояние в баллах. С помощью традиционной методики геоботанических исследований изучен флористический состав растительности на всех исследуемых площадях. Подробно изучен процесс естественного восстановления древесной растительности (проведен учет всходов, самосева и подроста по группам диаметра и категориям жизненного состояния) [3].

Результаты исследования и их обсуждение

Дана характеристика условиям местообитания растительных сообществ [1] на исследуемых пробных площадях (табл. 1).

Таблица 1

Характеристика условий местообитания лесных фитоценозов

№ п/п	Тип леса	Координаты		Высота над уровнем моря, м	Направление склона	Гранулометрический состав почвы
		N	E			
1	Лиственничник брусничный	52°12.314'	112°42.741'	976	СЗ	пески рыхлые
2	Лиственничник рододендроновый	52°12.339'	112°42.431'	976	З	пески рыхлые
3	Лиственничник рододендроновый	52°14.636'	112°51.657'	928	СВ	суглинки
4	Лиственничник ерниковый	52°24.742'	112°79.958'	1127	Ю	суглинки
5	Лиственничник рододендроновый	52°20.324'	112°73.156'	982	Ю	пески рыхлые
6	Лиственничник брусничный	52°20.273'	112°70.338'	1020	СВ	суглинки
7	Лиственничник брусничный	52°20.586'	112°70.393'	1017	СВ	суглинки
8	Лиственничник рододендроновый	52°21.067'	112°70.850'	1020	С	суглинки
9	Лиственничник брусничный	52°21.225'	112°70.638'	1036	С	суглинки
10	Лиственничник ерниковый	52°21.344'	112°70.525'	1037	СВ	суглинки
11	Лиственничник ерниковый	52°19.929'	112°68.233'	1005	СВ	суглинки
12	Лиственничник ерниковый	52°20.373'	112°68.475'	1015	Ю	суглинки
13	Лиственничник ерниковый	52°19.968'	112°64.637'	1029	З	суглинки
14	Сосняк рододендроновый	52°20.968'	112°65.432'	1088	С	супеси
15	Лиственничник ерниковый	52°19.845'	112°65.952'	1029	С	суглинки

В результате многолетних исследований жизненного состояния древостоев лиственницы Гмелина выявлена положительная динамика усыхания деревьев лиственницы (рис. 2–3).

Даже за четырехлетний период катастрофически растет число угнетенных растений, а в некоторых случаях и уже полностью усохших (рис. 4).

Имея данные по пожарам из Беклемишевского лесничества и данные ДЗЗ за последние 15 лет и используя натурные данные, можно сказать что послепожарная ситуация на всех исследуемых пробных площадях удручающая (табл. 2).

В большинстве случаев прошли низовые устойчивые пожары средней силы [4], причем на некоторых участках были и повторные пожары 2015 г. той же интенсивности.

По результатам исследований 2013 г. было установлено, что половина или даже

больше половины древостоя лиственницы на постоянных пробных площадях угнетена или полностью погибла. По исследованиям 2016 г. можно с уверенностью сказать, что данная тенденция продолжается (рис. 5).

Таким образом, на большинстве исследуемых пробных площадях на территории Беклемишевской впадины проходили низовые устойчивые пожары средней степени интенсивности. В ходе такой устойчивой пожарной активности половина или даже больше половины древостоя лиственницы Гмелина (*Larix gmelinii*) угнетена или полностью погибла. По этой же причине в настоящее время возобновление древостоя вообще не происходит либо идет очень слабо, так как низовые устойчивые пожары сильно повредили подлесок и травяно-кустарниковый ярус, что плохо сказывается на всходах и их приживаемости.



Рис. 3. Жизненное состояние древостоя в лиственничнике брусничном (на примере ПП1, г. Шара-Горхон, 2013–2016 гг.)



Рис. 4. Жизненное состояние древостоя в лиственничнике ерниковом (ПП4, г. Шара-Горхон, 2013–2016 гг.)

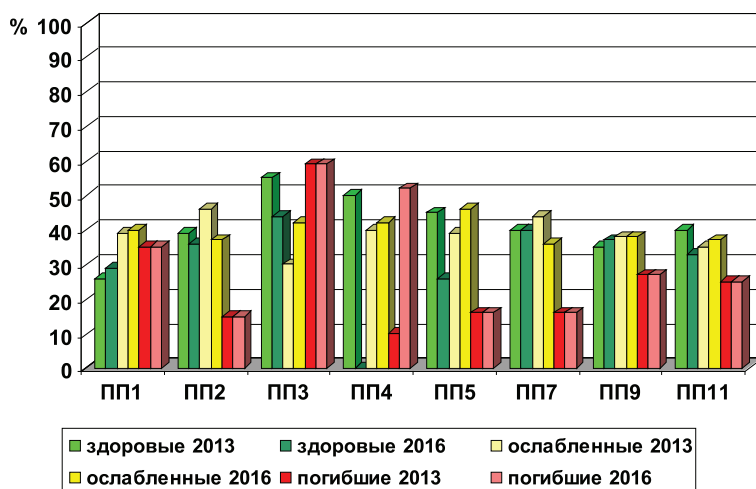


Рис. 5. Динамика жизненного состояния лиственницы Гмелина на постоянных учетных площадях в 2013–2016 гг.

Таблица 2

Характеристика пожаров на исследуемых площадях 2013–2016 гг.
(данные Беклемишевского лесничества)

№ п/п	Дата пожара	Вид пожара	Форма пожара	Сила пожара	Глубина прогорания приствольных кругов, см	Высота нагара, м		
						макс.	мин.	ср.
1	2001	низовой	беглая	средняя	20	4	1	2,5
2	2003	низовой	устойчивая	средняя	20	6	1	4
3	2003	низовой	устойчивая	средняя	20	6	4	5
4	2003 / 2015	низовой	устойчивая	средняя	20	6	2	4
5	2000	низовой	беглая	слабая	10	3	0,4	1,7
6	2001	низовой	беглая	слабая	10	2,5	0,5	1,5
7	2001	низовой	устойчивая	средняя	20	6	2	4
8	2000	низовой	беглая	слабая	10	2	0,5	1,25
9	2003	низовой	устойчивая	средняя	20	8	2	5
10	2001 / 2015	низовой	устойчивая	средняя	20	8	1	4,5
11	2000	низовой	устойчивая	средняя	20	6	2	4
12	2008	низовой	беглая	средняя	10	4	2	3
13	2010	низовой	беглая	слабая	5	2	0,6	1,3
14	2006 / 2015	низовой	устойчивая	сильная	30	8	1	4,5
15	2010	низовой	устойчивая	сильная	30	10	2	6

Выводы

1. На исследуемой территории происходит периодический прогрессирующий процесс снижения численности живого древостоя лиственницы Гмелина, а также снижение его возобновляемой функции.

2. Возможна полная или значительная гибель лиственницы Гмелина с параллельной сменой древесных пород, если продолжится тенденция к повышению средней температуры за вегетационный период и не уменьшится частота и устойчивость пожарной активности.

Список литературы

1. Андреева Е.Н., Баккал Е.Ю., Горшков В.В. и др. Методы изучения лесных сообществ / Е.Н. Андреева и др. – СПб.: НИИХимии СПбГУ, 2002. – 240 с.
2. Боголюбов А.С., Лазарева Н.С. Изучение вертикальной структуры леса / А.С. Боголюбов А.С., Н.С. Лазарева. – М.: Экосистема, 1999. – 10 с.
3. Галанин А.В., Беликович А.В., Галанина И.А. Мониторинг растительности в заповедниках Дальнего Востока и Забайкалья // Материалы VIII Дальневосточной конференции по заповедному делу. Том I. – Благовещенск: БГПУ, 2007. – С. 8–19.
4. Курбатский Н.П. О классификации лесных пожаров // Лесн. хоз-во. – 1970. – № 3. – С. 68–73.
5. Панарин И.И. Леса Читинского Забайкалья. – Новосибирск: Наука, 1977. – 232 с.

УДК 631.544.72

ОСОБЕННОСТИ ВОЗДЕЛЫВАНИЯ ГИБРИДОВ САХАРНОЙ СВЁКЛЫ НА СТЕРИЛЬНОЙ ОСНОВЕ В УСЛОВИЯХ НЕУСТОЙЧИВОГО УВЛАЖНЕНИЯ ЦЕНТРАЛЬНО-ЧЕРНОЗЁМНОГО РАЙОНА

¹Горячих А.С., ²Ступаков А.Г., ²Куликова М.А., ²Ломазов В.А.

¹ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт сахарной свёклы и сахара им. А.Л. Мазлумова», п. ОПХ ВНИИСС, e-mail: vniiss@mail.ru;

²ФГБОУ ВО «Белгородский государственный аграрный университет им. В.Я. Горина», Майский, e-mail: vlomazov@yandex.ru

Центрально-Черноземный регион является ведущим в России по производству сахарной свёклы. Однако применение традиционных агротехнологий в условиях характерного для этого региона неустойчивого увлажнения не позволяет достичь высокой урожайности сахарной свёклы и, как следствие, высокого уровня производства сахара. Одним из факторов недостаточной урожайности и сахаристости корнеплодов является несовершенство технологии производства семенных материалов. Существующие отечественные производственные сорта и гибриды сахарной свёклы не обеспечивают высокой полевой всхожести, раздельноплодности и не дают высокой продуктивности. При этом перспективные, основанные на использовании цитоплазматической мужской стерильности технологии семеноводства требуют исследования применительно к конкретным природным, климатическим и почвенным условиям. В статье на основе мелкоделяночных полевых опытов с гибридом РМС-73 рамонской селекции исследуется влияние схем размещения компонентов и оптимальных приёмов семеноводства на повышение продуктивности и улучшение качества семенного материала в условиях Центрального Черноземья. Анализ фенологических наблюдений, проведённый на семенниках гибрида при раздельном способе выращивания, свидетельствует о том, что на синхронность прохождения фаз развития компонентов существенное влияние оказывают сами компоненты, их биологические особенности, а также складывающиеся метеорологические условия в период вегетации. На основе проведенного анализа предложены наиболее предпочтительные способы выращивания семенников: выращивание смесью корнеплодов, получаемых в маточных посевах чередующимися рядами при соотношении 1:3, 1:4; посадка семенников смесью корнеплодов, содержащей 10–15% гетерозисного опылителя; возделывание семенников раздельно по компонентам при соотношении 4:16 и 4:12. Полученные результаты могут быть использованы при разработке инструментария иерархического экспертного оценивания и научно обоснованного многокритериального выбора инновационных агротехнологий выращивания сахарной свёклы

Ключевые слова: сахарная свёкла, семенной материал, цитоплазматическая мужская стерильность, Центрально-Черноземный район

SPECIAL FEATURES OF CULTIVATION OF SUGAR BEET HYBRID ON THE BASIS OF STERILITY IN CONDITIONS OF UNRELIABLE MOISTENING IN CENTRAL BLACK EARTH DISTRICT

¹Goryachikh A.S., ²Stupakov A.G., ²Kulikova M.A., ²Lomazov V.A.

¹All-Russian Research Institute of Sugar Beet and Sugar by A.L. Mazlumov, OPH VNIISS, e-mail: vniiss@mail.ru;

²Belgorod State Agricultural University by V.Ya. Gorin, Mayskiy, e-mail: vlomazov@yandex.ru

Central Black Earth region is the leading Russian producer of sugar beets. However, the use of traditional agricultural technologies in conditions typical for this region unstable humidifying does not allow to achieve high yields of sugar beet and, as a consequence, a high level of sugar production. One of factors of insufficient yield and sugar content of root crops is the imperfection of technology production of seed materials. Existing domestic production sorts and hybrids of sugar beet does not provide a high germination and do not give a high productivity. Perspective based on the use of cytoplasmic male sterile seed technologies require research in relation to the specific nature-climatic and soil conditions. In the article on the basis of small plot field trials with hybrid PMC-73 Ramon selection the impact of layouts of components and optimal methods of seed production to improve productivity and quality of seed in conditions of the Belgorod region is examined. An analysis of the phenological observations carried out on hybrid seeds in the separate method of cultivation testified that synchronicity passage of components of the phase is substantially affected by the components themselves, their biological characteristics, as well as folding, weather conditions during the growing season. The most preferred methods of cultivation seeds, based on this analysis, are proposed: cultivation of root crops mixture obtained in alternating rows uterine crops at a ratio of 1:3, 1:4; planting root crops testes mixture containing 10–15% heterosis pollinator; cultivation testes separate the components in a ratio of 4:4 and 16:12. The results can be used in the development of tools of hierarchical expert evaluation and science-based multi-criteria selection of innovative agricultural technologies of cultivation of sugar beet.

Keywords: sugar beet, seed, cytoplasmic male sterility, Central Black Earth region

Получение семян сахарной свёклы высокого качества (энергия прорастания, всхожесть, выполненность, однородность, выравненность) одно из важнейших тре-

бований интенсивной технологии возделывания фабричной свёклы, которая должна иметь, по мнению ряда авторов [10], такие показатели семенного материала, как ла-

бораторная всхожесть, одноростковость и энергия прорастания не менее 95% при влажности не более 14%.

Семенной материал сахарной свёклы сам по себе разнообразен как по генетическим особенностям, так и по наличию односемянных плодов, многосемянных соплодий различной величины и формы.

Существующие производственные сорта и гибриды сахарной свёклы не обеспечивают высокой полевой всхожести, раздельноплодности и не дают высокой продуктивности. Особую озабоченность вызывает проблема, связанная с отсутствием достаточного количества отечественных семян и отставанием селекционной науки по выведению современных гибридов [8], наиболее адаптированных к конкретным регионам, максимально использующих их агро- и биоклиматические ресурсы [9, 11]. В связи с этим важнейшее значение имеет создание и внедрение в производство более продуктивных гибридов раздельноплодной сахарной свёклы, характеризующихся не только хорошей продуктивностью и технологичностью в фабричных посевах, но и имеющих высокую односемянность и выравненность плодов. В полной мере таким требованиям отвечают гибриды сахарной свёклы на стерильной основе, семеноводство которых ещё в достаточной мере не отработано и требует дальнейшего решения.

Семеноводство сахарной свёклы гибридов на стерильной основе – сложный процесс, зависящий от биологических особенностей используемых компонентов, избирательности при опылении, соотношения и размещения родительских форм в семенных посевах. Система агромероприятий по выращиванию семенников сахарной свёклы гибридов с использованием цитоплазматической мужской стерильности (ЦМС) должна строиться с учётом их биологических особенностей и требований к факторам внешней среды в отдельные периоды роста.

Не следует забывать, что между свёклой второго года жизни и маточной свёклой существует самая тесная взаимосвязь. Несоблюдение оптимальных условий при возделывании свёклы второго года жизни зачастую приводит к неиспользованию тех потенциальных возможностей по формированию урожая, качества семян, которые были заложены в корнеплодах, выращенных в качестве материнских растений. Свекловичное семеноводство располагает многочисленными данными, свидетель-

ствующими о том, что и условия выращивания маточной свёклы влияют не только на урожайность корнеплодов и их качество, но и на продуктивные свойства семян [1, 2].

Некоторые авторы отмечают, что продуктивность гибридов на основе ЦМС, их качество зависят не только от подбора компонентов скрещивания, обладающих высокой продуктивностью и комбинационной способностью, но и от способа выращивания, соотношения компонентов и размещения их на участке гибридизации [4, 5]. В связи с этим для выбора оптимальной схемы размещения компонентов гибридов необходим также тщательный анализ входящих составляющих, такие как энергия развития, характер роста, пыльцеобразовательная способность опылителя, синхронность цветения и ряд других показателей.

Основная цель наших исследований заключалась в разработке и научном обосновании основных схем размещения компонентов и оптимальных приёмов семеноводства, направленных на повышение продуктивности и улучшение качества семенного материала.

Для решения данных вопросов проводили мелкоделяночные полевые опыты, а также лабораторные исследования по общепринятой в системе ВНИИСС методике, частично нами модифицированной с учётом специфики изучаемых вопросов.

Было предусмотрено чересрядное размещение компонентов при соотношении 1:3, 1:4, 1:5, 1:9, 1:11, смесью корнеплодов при содержании 20, 15, 10, и 5% опылителя и корнеплодами в чистоте каждого компонента при соотношении 1:2, 1:3, 1:3, 1:4, (схема посадки соответственно 4:8, 2:6, 4:12, 4:16).

В соответствии с этим изучались следующие варианты:

1–5. Посадка корнеплодами на стерильной основе, выращенными в мелкоделяночных посевах чередующимися рядами при соотношении 1:3, 1:4, 1:5, 1:9, 1:11.

6–9. Посадка компонентов смесью корнеплодов, выращенных в маточных посевах семенной смесью, имеющей соответственно 20, 15, 10, 5% гетерозисного опылителя.

10–13. Посадка корнеплодами на стерильной основе раздельно по компонентам при соотношении опылителя к МС форме соответственно 1:2, 1:3, 1:3, 1:4 (схема посадки 4:8, 2:6, 4:12, 4:16).

Исследования проводились в течение трёх лет (2012–2014 гг.) с гибридом РМС-73 рамонской селекции.

Таблица 1

Степень завязывания семян гибрида на стерильной основе (в среднем за 2012–2014 гг.)

Варианты	Ветви первого порядка			Ветви второго порядка		
	цветков, шт./растение	плодов, шт./растение	% завязы- вания	цветков, шт./растение	плодов, шт./растение	% завязы- вания
Посадка корнеплодами с ЦМС, выращенными в маточных посевах чередующимися рядами						
соотношение 1:3	29	26	89,6	27	24	88,8
соотношение 1:4	30	26	86,6	27	23	86,1
соотношение 1:5	29	24	82,7	24	20	83,3
соотношение 1: 9	28	22	78,6	23	18	78,2
соотношение 1:11	28	20	71,4	24	16	66,6
Посадка смесью корнеплодов, содержащей гетерозисный опылитель						
20% опылителя	28	25	89,3	26	23	88,4
15% опылителя	27	23	85,1	24	20	83,3
10% опылителя	25	20	80,0	23	18	78,2
5% опылителя	26	22	83,8	27	22	81,4
Посадка корнеплодами с ЦМС отдельно по компонентам						
соотношение 4:16	32	28	87,5	28	24	85,7
соотношение 4:12	30	25	83,8	27	22	81,4

Анализ фенологических наблюдений, проведённый на семенниках гибрида при раздельном способе выращивания, свидетельствует о том, что на синхронность прохождения фаз развития компонентов существенное влияние оказывали сами компоненты, их биологические особенности, а также сложившиеся метеорологические условия в период вегетации.

Наблюдения за особенностями развития компонентов гибрида показали, что первые розетки растений опылителя и МС компонента появились одновременно. При этом у обоих компонентов соответственно 82,6 и 85,1 % семенных растений они появились в первую декаду вегетации.

В фазу стеблевания и бутонизации растения опылителя и МС формы вступили в одно время. В фазу цветения оба компонента вступили также одновременно, но продолжительность цветения опылителя была дольше МС растений (по годам) на 5–6 дней. К моменту начала уборки урожая семенных растений они имели среднюю высоту 90,7–97,0 см, количество продуктивных стеблей на одно растение – 6,0–7,5 штук, при этом 90,7–91,3 % кустов было второго и третьего типа, а 9,3–8,7 % – первого типа. Мощность развития семенников, количество стеблей, высота развития куста, а также формирование определённого типа куста в большей степени определялось количеством выпавших осадков, температурными условиями и в меньшей степени за-

висело от схемы посадки и соотношения компонентов.

По данным некоторых исследователей [1] для хорошего переопыления и затем завязываемости семян необходимо, чтобы цветение опылителя незначительно по времени опережало цветение мужского стерильного компонента и было более продолжительным. Поэтому подбор гетерозисного опылителя, который бы отвечал таким требованиям, – одна из основных задач при формировании гибрида на стерильной основе.

В проводимых нами исследованиях количество соцветий на одном гектаре посадочной площади семенных растений гибрида, а также степень их ветвления на данном этапе в зависимости от соотношения компонентов незначительно отличались друг от друга. Максимальное количество цветков на обоих компонентах формировалось на основных стеблях и ветвях первого порядка. Установлено, что вначале раскрываются хорошо развитые цветки на главном стебле, а затем побегах первого порядка. Причём несколько больше раскрывалось цветков опылителя по сравнению с МС формой, и такая же закономерность сохранялась до окончания фазы цветения. В среднем одно растение опылителя цветёт 28 дней (по годам 26, 28, 30 дней). В разрезе одного семенного куста МС компонента и опылителя наибольшей длительностью цветения обладали цветки, находившиеся на главном стебле и ветвях первого порядка. От 12 до

18 дней продолжалось их цветение. На ветвях же последующих порядков (ветви второго и третьего порядков) продолжительность цветения сокращалась до 5–8 дней. Длительность межфазных периодов от розетки до цветения соответственно составила 54–59 дней. В тот период, когда основная масса плодов на семенниках сахарной свёклы гибрида на стерильной основе уже сформировалась, а пустоцвет хорошо был заметен (период начала побурения плодов), нами проводилось определение степени завязывания плодов (табл. 1).

В условиях естественного цветения семенников сахарной свёклы гибрида на стерильной основе при посадке смесью корнеплодов и соотношении 1:3, 1:4, 1:5, 1:9, 1:11 лучшая завязываемость плодов на ветвях первого и второго порядков наблюдалась при соотношении 1:3 (89,6% у ветвей первого порядка и 88,8% у ветвей второго порядка) и при соотношении 1:4 (соответственно 86,6 и 86,1%). При посадке смесью корнеплодов, содержащей от 5 до 20% гетерозисного опылителя, наибольший процент завязавшихся плодов на ветвях первого порядка отмечен при содержании в смеси опылителя 20 и 15% (соответственно 89,3 и 85,1%), а также на ветвях второго порядка (соответственно 88,4 и 83,3%). Снижение же количества опылителя в смеси до 10 и 5% привело к заметному уменьшению степени завязывания плодов на ветвях как первого (соответственно 80,0 и 83,8%), так и второго порядков (78,2 и 81,4%). Вероятно, это можно объяснить формированием недостаточного количества пыльцы в период цветения растений для того, чтобы произошло полное переопыление МС формы. С другой стороны, по-видимому, опылитель явился слабым источником пыльцы.

При посадке корнеплодами с ЦМС отдельно по компонентам сужение соотношения от 4:16 (1:4) до 4:12 (1:3) обусловило

заметное снижение процента завязавшихся плодов: на ветвях первого порядка от 87,5 до 83,8% и на ветвях второго порядка от 85,7 до 81,4%.

С целью более детального изучения опылителя, как источника пыльцы, была поставлена задача по выявлению роли места расположения опылителя по отношению к МС форме. Для этого изучали следующие соотношения компонентов и схемы посадки при чередном их размещении: 1:5 (схема посадки 4:20), 1:4 (схема посадки 8:32), 1:4 (схема посадки 4:16), 1:3 (схема посадки 4:12), 1:3 (схема посадки 2:6), 1:2 (схема посадки 4:8) и проводился анализ влияния удалённости опылителя на степень завязываемости семенников МС формы (табл. 2). Так, при чередном размещении компонентов гибрида при соотношении 1:5 (схема посадки 4:20) определялась завязываемость семян мужскостерильного компонента на 20 рядке (14,7 м от опылителя) и на втором рядке (2,1 м). Для последующих схем, соответственно, на втором и 32 рядке (23,1 м) при посадке 8:32, на втором и 16 рядке (11,9 м) при посадке 4:16, на втором и 12 рядке (9,1 м) при посадке 4:12, на втором и шестом (4,9 м) при посадке 2:6, на втором и восьмом (6,3 м) при посадке 4:8.

По мере увеличения удалённости опылителя от мужскостерильной формы завязываемость семян снижалась. Причём это снижение устойчиво проявлялось при увеличении ширины полосы МС компонента от опылителя свыше 14,7 м при посадке 4:20 и свыше 23,1 м при посадке 8:32. Тогда как увеличение ширины полосы МС компонента от опылителя свыше 11,9 м при посадке 4:16, свыше 9,1 м при посадке 4:12, свыше 6,3 м при посадке 4:8 и свыше 4,9 м при посадке 2:6 не вызвало заметного варьирования завязываемости семян: соответственно 88,8 и 89,2%, 89,0 и 88,9%, 89,3 и 90,0%, 88,0 и 89,1%.

Таблица 2

Завязываемость семян гибрида на стерильной основе в зависимости от удалённости опылителя (в среднем за 2012–2014 гг.)

Варианты выращивания семян отдельным способом при соотношении	Расстояние МС формы от опылителя, м						
	2,1	4,9	6,3	9,1	11,9	14,7	23,1
4:20	87,6	—	—	—	—	80,2	—
8:32	88,4	—	—	—	—	—	71,1
4:16	88,8	—	—	—	89,2	—	—
4:12	89,0	—	—	88,9	—	—	—
2:6	88,0	89,1	—	—	—	—	—
4:8	89,3	—	90,0	—	—	—	—

Полученные данные подтверждают мнение некоторых исследователей о том, что слишком широкая полоса мужско-стерильного компонента является неэффективной для успешного переопыления, поскольку не обеспечила получение достаточного количества пыльцы опылителя, что снижает эффект гетерозиса, а следовательно, отрицательно сказывается как на продуктивности гибрида на стерильной основе, так и на его качестве. Так, при раздельном способе выращивания гибрида более высокая урожайность семян (1,62 т/га) получена при посадке компонентов по схеме 4:16. При одном и том же соотношении компонентов (1:4) увеличение ширины полосы под стерильными растениями в два раза (8:32) не давало повышения ни качества, ни урожайности семян по сравнению со схемой 4:16. Урожайность семян при этом снижалась на 0,16 т/га. От смеси компонентов, где МС компонент занимал 90–95 % площади, урожайность семян составила 1,87–1,84 т/га. В то же время посевные качества семян и односемянность снижались.

Результаты проведенных исследований позволяют сделать вывод о том, что в условиях неустойчивого увлажнения Центрально-Чернозёмного региона при семеноводстве гибрида сахарной свёклы на стерильной основе наиболее предпочтительным является использование следующих способов выращивания семенников:

- выращивание смесью корнеплодов, получаемых в маточных посевах чередующимися рядами при соотношении 1: 3, 1:4;
- посадка семенников смесью корнеплодов, содержащей 10–15 % гетерозисного опылителя;
- возделывание семенников раздельно по компонентам при соотношении 4:16 и 4:12.

Полученные результаты могут быть использованы при разработке инструментария иерархического экспертного оценивания [5, 6] и научно обоснованного многокритериального выбора инновационных агротехнологий выращивания сахарной свёклы.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 16-29-12911.

Список литературы

1. Бартенев И.И. Развитие и совершенствование приемов производства гибридных семян / И.И. Бартенев, В.И. Юров, О.В. Лукьянова // Сахарная свекла. – 2007. – № 6. – С. 20–23.
2. Бартенев И.И. Влияние площади питания на морфологические особенности семенных растений и посевные качества гибридных семян / И.И. Бартенев, В.И. Юров, И.И. Кислинский, О.М. Нечаева // Сахарная свекла. – 2007. – № 10. – С. 31–33.
3. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта: (С основами статистической обработки результатов исследований). – Изд. 4-е, перераб. и доп. – М.: Колос, 1979. – 416 с.
4. Юров В.И. Совершенствование схем размещения компонентов диплоидных гибридов сахарной свёклы в условиях ЦЧР // Автореф. дисс. на соискание ученой степени кандидата с.-х. наук. – Рамонь, 2009. – 24 с.
5. Мищенко В.М., Логвинов В.А., Логвинов А.В. и др. Теоретические и практические аспекты использования цитоплазматической мужской стерильности сахарной свёклы // Сахарная свекла. – 2016. – № 1. – С. 16–19.
6. Ломазов В.А., Михайлова В.Л., Петросов Д.А. Инструментарий оценивания эффективности региональных инновационных проектов в АПК // Новая наука: От идеи к результату. – 2016. – № 5–1 (84). – С. 141–143.
7. Ломазов А.В., Ломазов В.А., Петросов Д.А. Формирование иерархии оценочных показателей сложных динамических систем на основе экспертных технологий // Фундаментальные исследования. – 2015. – № 7–4. – С. 760–764.
8. Балабанова Г.И. Перспективы и возможности импортозамещения основных видов продовольствия // Сахарная свекла. – 2014. – № 10. – С. 2–7.
9. Корниенко А.В., Парфёнов А.М. О выборе сортов и гибридов для сырьевой зоны сахарного завода // Сахарная свекла. – 2006. – № 6. – С. 26–27.
10. Роик Н.В., Иващенко А.А., Пыркин В.И. и др. Интенсивная технология выращивания сахарной свёклы: Рекомендации: Пер. с укр. – М.: ООО «Лион Пресс», 2008. – 76 с.
11. Сахарная свёкла (изд. 2-е, перераб. и доп.). Под ред. В.Ф. Зубенко. – К.: Урожай, 1979. – 416 с.

УДК [632.3 +632.952]:66-965.61:661.16

НОВЫЙ ПЕСТИЦИДНЫЙ ПРЕПАРАТ НА ОСНОВЕ КОМПЛЕКСОВ ТЕБУКОНАЗОЛА И ПРОИЗВОДНЫХ ГЛИЦИРРИЗИНА**¹Душкин А.В., ¹Метелева Е.С., ¹Хомиченко Н.Н., ²Власенко Н.Г.,
²Теплякова О.И., ³Халиков М.С., ³Халиков С.С.**¹ФГБУН «Институт химии твердого тела и механохимии СО РАН», Новосибирск,
*e-mail: dushkin@solid.nsk.su;*²Сибирский НИИ земледелия и химизации сельского хозяйства СФНЦА РАН, Краснообск,
*e-mail: vlas_nata@ngs.ru;*³ФГБУН «Институт элементоорганических соединений им. А.Н. Несмеянова» РАН, Москва,
e-mail: salavatkhalikov@mail.ru

Методами механохимии получены перспективные многокомпонентные композиции препаратов для комплексной защиты растений на основе тебуконазола. Применение в этих процессах глицирризиновой кислоты и ее натриевой соли позволило получить протравители семян на основе тебуконазола с улучшенными физико-химическими, технологическими и биологическими параметрами. Испытания препаратов в лабораторных и полевых условиях показали синергизм биологических свойств, проявляющихся в ускорении роста культурного растения, снижении пораженности корневой системы яровой пшеницы и ярового ячменя обыкновенной корневой гнилью и увеличении их продуктивности при снижении нормы расхода действующих веществ препаратов. Показано, что межмолекулярные комплексы тебуконазола на основе глицирризиновой кислоты и ее натриевой соли обладали высокой биологической активностью при сниженном расходе препарата.

Ключевые слова: тебуконазол, глицирризиновая кислота, мицеллы, фунгицидные композиции**NEW PESTICIDE PRODUCT BASED ON COMPLEXES OF TEBUCONAZOLE AND GLYCIRRHIZIN DERIVATIVES****¹Dushkin A.V., ¹Metleva E.S., ¹Khomichenko N.N., ²Vlasenko N.G.,
²Tepliyakova O.I., ³Khalikov M.S., ³Khalikov S.S.**¹Institute of Solid State Chemistry and Mechanochemistry SB RAS, Novosibirsk,
*e-mail: dushkin@solid.nsk.su;*²Siberian Institute of Agriculture and chemicals used in agriculture SFNTSA RAS, Krasnoobsk,
*e-mail: vlas_nata@ngs.ru;*³Institute of Organoelement Compounds Nesmeyanov RAS, Moscow, *e-mail: salavatkhalikov@mail.ru*

Promising multicomponent compositions of preparations for complex protection of plants based on tebuconazole were obtained using mechanochemical methods. The use of glycyrrhizic acid and its sodium salt in this processes allowed obtaining of seed disinfectants based on tebuconazole with improved physicochemical, technological and biological parameters. The preparations tests in laboratory and field conditions have shown the synergism of biological properties, appeared by growth acceleration of the cultivated plant, decrease of the root system infestation of the spring wheat and spring barley by common root rot and productivity increase at lower application rates of preparations active substances. It has been shown that intermolecular complexes of tebuconazole based on glycyrrhizic acid and its sodium salt possess high biological activity at lower application rates of preparations.

Keywords: tebuconazole, glycyrrhizic acid, micells, fungicidal compositions

Одним из наиболее экологичных способов применения химических препаратов в зерноводстве считается протравливание посевного материала. Это объясняется тем, что фунгицидами необходимо разложиться до кущения растений [1]. Во всех развитых странах мира протравливание относят к законодательно обязательному фитосанитарному мероприятию, направленному против комплекса возбудителей болезней зерновых культур, передающихся семенами и сохраняющихся в почве [5]. Эффективность пестицидных препаратов складывается из природы действующего вещества, правильного вы-

бора препаративной формы, сохраняющей полезные свойства действующего вещества. Появление новых химических фунгицидов принципиально не меняет общую ситуацию в защите растений от болезней. Опасные заболевания зачастую носят эпифитотический характер, налицо не только увеличение вредоносности известных, но и появление новых опасных видов фитопатогенов [4]. Поэтому новый подход в создании систем комплексной защиты растений от болезней предполагает использование не только фунгицидов, но и различных биологически активных веществ, обеспечивающих вос-

становление и активацию природных регуляторных механизмов, повышающих биологическое разнообразие в агробиоценозах и их устойчивость, а также продуктивность сельскохозяйственных культур.

Кроме того, важным фактором, влияющим на эффективность препаративных форм пестицидных препаратов, является способность их действующих веществ проникать в объем обрабатываемых объектов – зерен, растений и т.д., что, очевидно, связано со способностью трансмембранного транспорта. В фармации такая способность обеспечивается так называемыми системами доставки лекарств. В последнее время активно развивается направление создания таких систем доставки на основе супрамолекулярных комплексов и везикулярных структур [8]. Основываясь на наших исследованиях в этой области, мы применили развиваемый нами подход механохимического твердофазного получения таких структур [9], для получения пестицидных препаратов на основе тебуконазола (ТБК). Для этого в качестве «вспомогательных» веществ мы использовали глицирризиновую кислоту (ГК) и ее динатриевую соль ($\text{Na}_2\text{ГК}$). Производные ГК могут встраиваться в липидные биологические мембраны [10] и, предположительно, являться «носителями» низкомолекулярных биологически активных веществ в трансмембранном переносе. В водных растворах производные ГК образуют везикулы – мицеллы, состоящие из 60–100 молекул, в которые включаются молекулы малорастворимых биологически активных веществ [2]. Такие мицеллы обладают мембранотропными свойствами, позволяющими увеличивать трансмембранный перенос ТБК.

Материалы и методы исследования

В состав разрабатываемых протравителей входили: Тебуконазол от Shenzhen Sunrising Industry Co., Ltd. КНР, содержание основного вещества $\geq 98,0\%$. Глицирризиновая кислота от Shaanxi Pioneer Biotech Co., Ltd. КНР, содержание основного вещества $\geq 98,14\%$. Динатриевая соль глицирризиновой кислоты – $\text{Na}_2\text{ГК}$ от Shaanxi Pioneer Biotech Co., Ltd. КНР, содержание основного вещества $\geq 91,14\%$.

Совместную механохимическую обработку ТБК и вспомогательных веществ проводили в условиях, описанных нами ранее [2]. Для получения композиции, субстанции ТБК и вспомогательных веществ в выбранных массовых соотношениях при общем весе образца 20 г загружали в металлический барабан (емкость 0,3 л, загрузка мелющих тел – 15 стальных шаров диаметром 22 мм, скорость вращения 157 об/мин) валковой мельницы ВМ-1. Обработку проводили в течение 12 ч, отбирая пробы через каждые 2 ч. Полученные композиции анализировали на содержание

действующего вещества (ТБК), растворимость в воде, а также методами гель-проникающей хроматографии. Оптимальное время механохимической обработки выбиралось по критериям максимальной водорастворимости при условии сохранения содержания ТБК не менее 98 % от начального.

Для определения растворимости, полученные композиции, взятые в количествах, содержащих по 0,33 г ТБК растворяли в 10 мл дистиллированной воды при перемешивании в (+ 25 °С, 180 об/мин.) в течение 3 ч. Концентрацию ТБК в растворе определяли методом ВЭЖХ на хроматографе Agilent 1200 с колонкой Zorbax Eclipse XDB-C18, 4,6×50 мм; температура колонки + 30 °С; детектор диодно-матричный. В качестве элюента применяли систему ацетонитрил – вода (1:1), скорость потока – 1 мл/мин, объем пробы – 5 мкл, детектирование на длине волны 238 нм. Концентрации ТБК определяли относительно его специально приготовленного раствора в этаноле.

Для определения содержания ТБК полученные композиции растворялись в этаноле. Затем полученные растворы анализировались методом ВЭЖХ в вышеуказанных условиях. Молекулярную массу мицелл ГК определяли методом гель-проникающей хроматографии по методике [2].

Определение проникновения тебуконазола во внутренний объем зерна. Зерно пшеницы (сорт Омская 36) обрабатывалось 5 см³ водной суспензии композиции, а также тебуконазола исходя из количества 0,03 г действующего вещества (ТБК) на 100 г зерна. Смешение суспензии с зерном производили в течение 1 ч в барабане валковой мельницы ВМ-1, однако без загрузки мелющих тел. Обработанное зерно проращивалось в течение 3 дней на увлажненной фильтровальной бумаге при + 25 °С. Затем зерно вместе с ростками высушивали до постоянной массы в вакуумном шкафу при + 60 °С, производили смыв ТБК, не проникшего в объем зерна и оставшегося на его поверхности несколькими порциями этанола до исчезновения пика ТБК в хроматограммах ВЭЖХ. После этого зерно сушилось в течение 24 ч в вакуумном шкафу при + 60 °С и измельчалось в мельнице ударного типа (кофемолке). Далее, к навеске полученного порошка добавлялось известное количество этанола, смесь перемешивали в течение 20 мин и фильтровали через бумажный фильтр. Концентрацию ТБК в полученном растворе определяли методом ВЭЖХ и производили расчет массы ТБК, содержащегося в 100 г зерна.

Биологические испытания. Для оценки эффективности действия протравителей были проведены лабораторные и полевой эксперименты. Биоиспытания вели на пшенице сорта Омская 36 и яровом ячмене Ача. Уровень оздоровления посевного материала композициями определяли методом рулонов по ГОСТ 12044-93. Опыт включал следующие варианты:

- 1) контроль (без обработки фунгицидом);
- 2) перед посевом семена обработаны тебуконазолом (ТБК), в норме 0,3 кг/т;
- 3) семена обработаны глицирризиновой кислотой (ГК), в норме 0,25 кг/т;
- 4) семена обработаны натриевой солью глицирризиновой кислоты ($\text{Na}_2\text{ГК}$), в норме 0,25 кг/т;
- 5) семена обработаны композицией ТБК/ $\text{Na}_2\text{ГК}$ 1/5, в норме 0,3 кг/т (ТБК/ $\text{Na}_2\text{ГК}$ 0,3);
- 6) семена обработаны композицией ТБК/ $\text{Na}_2\text{ГК}$ 1/5, в норме 0,1 кг/т (ТБК/ $\text{Na}_2\text{ГК}$ 0,1);
- 7) семена обработаны композицией ТБК/ГК 1/5, в норме 0,3 кг/т (ТБК/ГК 0,3);

8) семена обработаны композицией ТБК/ГК 1/5, в норме 0,1 кг/т (ТБК/ГК 0,1).

Обработку препаратами проводили за 24 ч до закладки опыта. Растворы готовили из расчета расхода воды, применяемого в производственных условиях (10 л/т). В качестве химического эталона использовали фунгицид-протравитель фирмы Bayer Раксил, КС (д.в. тебуконазол) с нормой расхода 0,5 л/т семян.

Полевые опыты закладывали по схеме:

1) контроль (семена не обрабатывали фунгицидом);
2) эталон (перед посевом семена обработаны препаратом Раксил, в норме 0,5 л/т);

3) перед посевом семена обработаны композицией ТБК/Na₂ГК 1/5, в норме 0,3 кг/т (ТБК/Na₂ГК 0,3).

4) перед посевом семена обработаны композицией ТБК/Na₂ГК – 1:5, в норме 0,1 кг/т (ТБК/Na₂ГК 0,1).

Опыт размещался первой культурой после пара. Норма высева 6 млн всхожих зерен /га. Повторность опыта – четырехкратная. Площадь делянки = 23 м², размещение – систематическое. Протравливание проводилось с увлажнением – 10 л/т семян. Уборка урожая – прямым комбайнированием. Урожайность приводилась к стандартной влажности и чистоте согласно ГОСТ 1386.5-93 и 1386-2-81. Учет густоты стояния, продуктивной кустистости растений, отбор снопов для анализа структуры продуктивности проводили непосредственно перед уборкой культур [6]. Развитие и распространенность обыкновенной корневой гнили [7], наличие росторегулирующих эффектов в фазы 3 и 5 листьев.

Результаты исследования и их обсуждение

Для исследования структуры водных растворов композиций применяли метод гель-фильтрационной хроматографии по вышеописанной методике. Во всех случаях в хроматограммах водных растворов композиций ТБК с ГК, Na₂ГК наблюдались пики высокомолекулярных образований массой 60–100 кДа. Пиков низкомолекулярных соединений (ТБК) не обнаруживалось, что наряду с данными об увеличении растворимости ТБК, см. табл. 1, свидетельствовало о включении молекул ТБК в мицеллы. В исследованном массовом диапазоне соотношений ТБК/вспомогательные вещества от 1/1 до 1/10, наилучшие результаты по стабильности ТБК в процессе получения композиций, а также по увеличению растворимости были получены для композиций 1/5. Именно эти композиции были использованы для дальнейших биологических исследований. Мы также определили проникновение ТБК во внутренний объем зерна по методике, описанной в экспериментальной части. Данные приведены в табл. 1.

Таким образом, полученные результаты подтверждают наше предположение об увеличении проникновения ТБК во внутренний объем зерна при его обработке композициями с ГК и Na₂ГК.

Изучение эффективности тебуконазол-содержащих композиций на естественно инфицированном семенном материале показало, что они достаточно активны против возбудителей обыкновенной корневой гнили яровой мягкой пшеницы. И в первую очередь – против основного возбудителя – *Bipolaris sorokiniana* Shoem., обеспечивая 100%-ную эффективность. Рост грибов *Fusarium* spp. вокруг зерновок пшеницы полностью ингибировал ТБК/Na₂ГК 0,3 и ТБК/ГК в обеих нормах расхода, ТБК/Na₂ГК 0,1 – на 70%. На зерновках ячменя ТБК/ГК 0,1 и ТБК/ГК 0,3 рост фузариев не подавляли. *Alternaria* spp. успешнее контролировал комплекс ТБК/Na₂ГК 0,1 (биологическая эффективность = 71,1%; ТБК = 46,2%) и обе нормы ТБК/ГК (71,8 и 74,4%). Всхожесть семян пшеницы в рулонах была максимальной (94,8%; эталон = 68,9%) при обработке семян ТБК/Na₂ГК 0,3. ТБК/Na₂ГК 0,1 (84,8%), ТБК/ГК 0,3 (83,3%) и ТБК/ГК 0,1 (90,6%) всхожесть повышали слабее.

В полевых условиях было показано, что в фазе трех листьев высота растений пшеницы при применении ТБК/Na₂ГК 0,3 и ТБК/Na₂ГК 0,1 (24,6 и 26,2 см) достоверно превышала чистый контроль (23,0 см) и Раксил (21,7 см, НСР05 = 0,18). В фазе пяти листьев достоверные различия отмечены в варианте ТБК/Na₂ГК 0,1 (38,9 см) с контролем = 37,9 см (НСР05 = 0,28), а также ТБК/Na₂ГК 0,1 и ТБК/Na₂ГК 0,3 (38,1 см) с эталоном (35,8 см). Высота контрольных растений ячменя (21,8 см), а также обработанных Раксилом (21,2 см) относительно вариантов с применением композиций (22,5 и 23,5 см, НСР05 = 0,21) была достоверно ниже как в фазе трех, так и пяти листьев (в контроле 34,2 см; в эталонном варианте 32,2 см, в вариантах с ТБК/Na₂ГК 38,2 и 37,3 см, НСР05 = 0,50). На ранних этапах развития повышенная выносливость к почвенно-семенной инфекции у яровой пшеницы и ячменя наблюдалась во всех вариантах опыта (табл. 2).

Эффективность протравливания семян пшеницы при обработке ТБК/Na₂ГК в норме 0,3 кг/т составила 83,2 и 73,9% соответственно по развитию и распространенности болезни и превышала эталон, где соответствующие показатели были на уровне 76,6 и 67,9%. С уменьшением нормы расхода ТБК/Na₂ГК эффективность протравливания снижалась. К фазе трубкования фитосанитарный эффект в варианте ТБК/Na₂ГК с нормой расхода 0,3 кг/т ослабевал в 2,7 раза, но по-прежнему лучше контролиро-

вал развитие обыкновенной корневой гнили в посевах пшеницы. Биологическая эффективность ТБК/Na₂ГК в фазе трех листьев ячменя в обеих нормах расхода (49,6 и 51,1 %) превышала таковую эталона (37,9%). Действие протравливания прослеживалось и в период кущение-трубкование. Более высокий фунгицидный эффект на ячмене наблюдался при применении более высокой нормы расхода.

Протравливание семенного материала оказало влияние на плотность посевов зерновых. К фазе восковой спелости пшеницы достоверно большая (на 14,2%) густота стояния растений отмечена в варианте с протравливанием ТБК/Na₂ГК 0,1, но продуктивный стеблестой увеличился на 30 % при применении обеих норм расхода ТБК/Na₂ГК. При посеве семян ячменя, обработанных композициями, оба показателя плотности посева достоверно возрастали: число растений/м² – на 13,4–19,6 % (в варианте с Раксилем – на 10,6 %); продуктивных стеблей – на 27,8–45,5 % (в варианте с Раксилем – на 30 %). К фазе молочной спелости зерна растения, выросшие из обработанных ТБК/Na₂ГК семян, оказались более (на 10,3–11,0 % – пшеница; на 13,0–15,6 % – ячмень) высокорослые, сильнее (в 1,1–1,3 раза) кустились, чем в контроле. У растений пшеницы и ячменя достоверно увеличива-

лась длина колоса во всех вариантах, где высевались семена, протравленные ТБК/Na₂ГК (табл. 4). Повышенное число колосков в главном колосе у обеих культур получено при посеве семян, обработанных ТБК/Na₂ГК 0,3. Обе нормы расхода ТБК/Na₂ГК способствовали достоверному увеличению числа зерен в главном колосе пшеницы и ячменя. Масса зерна с одного растения пшеницы повышалась при протравливании семян обеими нормами расхода ТБК/Na₂ГК, ячменя – в варианте ТБК/Na₂ГК 0,3, увеличивалась масса 1000 зерен на 1,1 и 1,2 г (пшеница) и 1,5 и 1,2 г (ячмень). Обе нормы расхода ТБК/Na₂ГК повышали крупность зерновок ячменя относительно эталона на 1,2 и 0,9 г. Сбор зерна пшеницы и ячменя в опытных вариантах достоверно превысил контроль на 0,2 и 0,14 т/га (ТБК/Na₂ГК 0,3 и ТБК/Na₂ГК 0,1) и 0,19 и 0,14 т/га, применение Раксила увеличило показатель на 0,16 и 0,07 т/га. На ячмене при протравливании семян ТБК/Na₂ГК урожайность увеличилась на 0,19 и 0,14 т/га (Раксил – на 0,07 т/га).

Обе нормы расхода ТБК/Na₂ГК повышали массу 1000 зерен на 1,1 и 1,2 г (пшеница) и 1,5 и 1,2 г (ячмень). Сбор зерна пшеницы и ячменя в опытных вариантах достоверно превысил чистый контроль – на 0,2 и 0,14 т/га; 0,19 и 0,14 т/га.

Таблица 1

Данные увеличения растворимости ТБК, а также его содержания во внутреннем объеме зерна из композиций с ГК и Na₂ГК

№ п/п	Состав композиции, массовые соотношения	Содержание ТБК в % от теоретического	Растворимость ТБК, г/л	Увеличение растворимости	Содержание ТБК в мг на 100 г обработанного зерна
1	ТБК субстанция	–	0,0341	–	4,5
2	Композиция ТБК/Na ₂ ГК 1/5	99,0	0,2047	6	10,0
3	Композиция ТБК/ГК 1/5	100,0	1,02	33,9	11,5

Таблица 2

Развитие обыкновенной корневой гнили в посевах мягкой яровой пшеницы и ярового ячменя при обработке семян ТБК/Na₂ГК, %

Вариант	Пшеница мягкая яровая				Ячмень яровой			
	3 листа		5 листьев		3 листа		5 листьев	
	1	2	1	2	1	2	1	2
Контроль	32,1	83,3	27,1	90,0	28,2	63,3	35,8	93,3
Раксил	7,5	26,7	15,0	46,7	17,5	58,3	23,3	66,7
ТБКNa ₂ ГК 0,3	5,4	21,7	14,6	56,7	14,2	56,7	20,8	65,0
ТБКNa ₂ ГК 0,1	11,3	41,7	18,3	65,0	13,8	73,3	28,3	80,0

1 – индекс развития болезни; 2 – распространенность болезни

Таблица 3

Влияние обработки семян ТБК/Na₂ГК на структуру продуктивности и урожайность мягкой яровой пшеницы и ярового ячменя

Показатель продуктивности	Пшеница мягкая яровая					Ячмень яровой				
	Кон-троль	Рак-сил	ТБК Na ₂ ГК 0,3	ТБК Na ₂ ГК 0,1	НСР ₀₅	Кон-троль	Рак-сил	ТБК Na ₂ ГК 0,3	ТБК Na ₂ ГК 0,1	НСР ₀₅
Длина колоса, см	8,14	8,76	8,79	8,50	0,13	7,7	8,0	8,5	8,3	0,28
Число колосков в главном колосе, шт.	13,11	13,54	13,68	13,26	0,23	10,6	11,1	11,5	10,6	0,27
Число зерен в главном колосе, шт.	26,9	28,5	28,9	27,5	0,59	18,8	20,3	21,2	19,9	0,40
Масса зерна с 1 растения, г	1,06	1,27	1,37	1,16	0,08	1,21	1,47	1,61	1,29	0,10
Масса 1000 зерен, г	33,7	34,4	34,8	34,9	0,28	46,6	46,9	48,1	47,8	0,63
Урожайность, т/га	2,45	2,61	2,65	2,59	0,06	2,51	2,58	2,70	2,65	0,05

Выводы

1. Композиции ТБК с глицирризиновой кислотой и ее натриевой солью достоверно увеличивают проникновение ТБК во внутренний объем обработанного зерна, что способствует оздоровлению на примерах зерновок мягкой яровой пшеницы и ярового ячменя от семенной инфекции; снижают развитие и распространение обыкновенной корневой гнили на первых этапах органогенеза яровой пшеницы и ярового ячменя.

2. Обработка семян композициями ТБК с глицирризиновой кислотой и ее натриевой солью повышает основные показатели структуры продуктивности и урожайности яровой пшеницы и ярового ячменя. При снижении нормы расхода ТБК/Na₂ГК в 3 раза урожайность зерна яровой пшеницы соответствует таковой эталонного протравителя, а ячменя – существенно превышает этот показатель.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 15-29-05835).

Список литературы

1. Долженко В.И. Современные требования к формированию ассортимента фунгицидов и протравителей / В.И. Долженко, Г.Ш. Котикова, Д.А. Орехов // Агро XXI. – 1999. – С. 3–4.
2. Душкин А.В., Метелева Е.С., Толстикова Т.Г., Хвостов М.В., Долгих М.П., Толстиков Г.А. // Химия в интересах устойчивого развития. – 2010. – Т. 18, № 4. – С. 517–525.
3. Койшыбаев М. Протравливание семян зерновых культур в Казахстане / М. Койшыбаев // Защита и карантин растений – 2000. – № 1. – С. 14–16.
4. Новикова И.И. Полифункциональные биопрепараты для защиты растений от болезней / И.И. Новикова // Защита и карантин растений. – 2005. – № 2. – С. 22–24.
5. Протравливание семенного материала: рекомендации / В.И. Долженко, Г.Ш. Котикова, С.Д. Здрожевская и др. – М.-Санкт-Петербург, ООО «Изд-во Агрорус», 2003. – 61 с.
6. Санин С.С. Методические указания по проведению производственных демонстрационных испытаний средств и методов защиты зерновых культур от болезней / С.С. Санин, Н.П. Неклеса // Защита и карантин растений. – 2004. – С. 24.
7. Тепляков Б.И. Методика учёта корневой гнили требует усовершенствования // Защита и карантин растений. – 2004. – № 7. – С. 32–33.
8. Deep P. Patel, Dr.Bharat G. Chaudhari. Application of Supramolecules in Drug Delivery // Journal of Current Pharmaceutical Research. – 2012. – Vol. 9, № 1. – P. 1–5.
9. Dushkin A.V., Tolstikova T.G., Khvostov M.V., Tolstikov G.A. // in book The Complex World of Polysaccharides, ed.by Dr. D.N. Karunaratn. – Publisher: InTech. – 2012. – P. 573–602.
10. Selyutina O.Yu, Polyakov N.E., Korneev D.V., Zaitsev B.N. // Drug Delivery. – 2016. – Vol. 23, № 3. – P. 848–855.

УДК 630*165.7: 631.96

ОСОБЕННОСТИ ОРОШЕНИЯ СЕЯНЦЕВ ДРЕВЕСНЫХ ПОРОД В ПИТОМНИКАХ СТЕПНОЙ ЗОНЫ

Иозус А.П., Морозова Е.В.

Камышинский технологический институт (филиал) ГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет», Камышин, e-mail: end@kti.ru

Нижнее Поволжье относится к аридным регионам, где осадков в течение вегетационного периода выпадает значительно меньше, чем требуется сеянцам древесных пород для успешного роста и накопления биомассы. Установлено, что в условиях орошаемого питомника сухостепной зоны Нижнего Поволжья величина водопотребления сеянцев сосны стремится к испаряемости, поэтому для выращивания сеянцев необходимы ежедневные поливы. При капельном орошении достигается экономия влаги в 3–5 раз по сравнению с традиционными способами полива за счет менее уплотненной почвы в зонах корневой системы; снижается заболеваемость фузариозом; развитие всасывающих корешков идет более интенсивно, что позволяет набирать сеянцам древесных пород сухую массу и размеры сравнимые с сухой массой и размерами при традиционных способах полива.

Ключевые слова: степная зона, сеянцы, орошение (полив), водопотребление, дождевание, капельный полив

THE FEATURES OF IRRIGATION OF SEEDLINGS OF TREE SPECIES IN NURSERIES OF STEPPE ZONE

Iozus A.P., Morozova E.V.

Reader of Kamyshin Technological Institut (branch) of Volgograd State Technical University, Kamyshin, e-mail: end@kti.ru

Lower Volga region refers to the arid regions where precipitation during the growing season falls significantly less than that required seedlings of tree species for the successful growth and accumulation of biomass. It was found that the quantity of water consumption of seedlings of pine in irrigated nursery for dry steppe Lower Volga areas tends nearing evaporation, so the seedlings need daily watering. With drip irrigation water savings achieved by 3–5 times compared with traditional methods of irrigation due to less soil compaction in areas of the root system; reduced the incidence morbidity of fusariose; development of suction roots is more intense, allowing you to dial the seedlings of trees dry weight and dimensions comparable to the dry weight and the size if the traditional methods of irrigation.

Keywords: steppe zone, seedlings, irrigation, water consumption, sprinkler irrigation, drip irrigation

В зоне Нижнего Поволжья по средне-многолетним данным в течение вегетационного периода осадков выпадает значительно меньше, чем требуется сеянцам древесных пород для успешного роста и накопления биомассы. Ряд исследователей [4, 6, 7, 8] считают орошение необходимым условием интенсификации выращивания посадочного материала. Главная задача поливов – своевременно восполнить образующийся дефицит влаги между потребностями растений в воде и фактическими запасами ее в активном слое почвы. Особенно актуальными вопросы орошения становятся в условиях активно идущих на планете процессов глобального потепления, которые сопровождаются значительной аридизацией климата в засушливых областях. К таким областям относится и Нижнее Поволжье.

Исследованиями С.М. Зепалова [2] было установлено, что сеянцы вследствие цикличности своего развития нуждаются в разных режимах полива. Например, сосну в период от прорастания до сбрасывания семенных чешуй необходимо часто поливать

малыми дозами, потом осуществлять более редкие поливы большими дозами. Прекращать поливы рекомендуется в начале сентября. Г.Я. Маттис и А.А. Баданов [6] установили, что оптимальным для сеянцев сосны является увлажнение их на уровне 80% от полной полевой влагоемкости.

Цель исследования – выбор оптимального способа орошения на основе сравнительного анализа основных способов полива при выращивании сеянцев древесных пород в питомниках степной зоны.

Материалы и методы исследования

Наиболее полно теория и практика увлажнения разработана для посевов сельскохозяйственных культур. Общий расход воды для орошаемого поля обычно определяется по уравнению А.П. Костякова [9]:

$$\Delta w = T + I - P - \sum m + S, \quad (1)$$

где T – расход воды по транспирации; I – испарение влагой почвы; P – сумма выпавших за расчетный период осадков; $\sum m$ – удельный объем оросительной воды, поступившей в поле; Δw – изменение запасов почвенной влаги за рассматриваемый период; S – сток воды с поля.

Таблица 1

Испаряемость и потребность в воде посевов сосны в питомниках г. Камышина
Волгоградской области, мм

Элементы водного баланса	Месяцы			
	май	июнь	июль	август
Испаряемость	139,7	199,6	231,9	203,2
Осадки	29	41	33	27
Потребность в воде	110,7	158,3	198,9	175
Необходимая норма ежедневного полива	3,5	5,2	6,4	5,6

Суммарное водопотребление воды E за любой отрезок времени можно определить по формуле

$$E = P + \Sigma m + \Delta w - S, \quad (2)$$

где P – сумма выпавших за расчетный период осадков; Σm – удельный объем оросительной воды, поступившей в поле; Δw – изменение запасов почвенной влаги за рассматриваемый период; S – сток воды с поля.

Следовательно, учитывая уравнения (1) и (2), получим

$$E = T + I, \quad (3)$$

где T – расход воды по транспирации; I – испарение влагой почвы.

Данный метод водного баланса распространен довольно широко, однако необходимость частого отбора проб делают этот метод весьма трудоемким. Между тем установлено, что величина водопотребления растений при наличии в почве достаточного количества доступной влаги имеет тесную коррелятивную связь с испаряемостью. Под испаряемостью здесь понимается максимально возможное испарение при неограниченном притоке влаги в активный слой почвы. В каждом конкретном случае испаряемость определяется сочетанием воздействия комплекса метеорологических факторов, таких как тепловые ресурсы, влажность воздуха, сила ветра, на влагообмен в слое воздуха, в котором находятся растения. В связи с этим ряд исследователей [5, 9] считают, что максимальная величина водопотребления, при оптимизации внешних факторов роста и развития растений и, прежде всего, оптимизации водного режима стремится к испаряемости, которая является верхним пределом суммарного расхода влаги на поле, занятом посевами. Наиболее широкое распространение для определения испаряемости получила формула Н.Н. Иванова (4) [9]:

$$E_0 = 0,0018(25 + t)^2(100 - a), \quad (4)$$

где E_0 – испаряемость за месяц, мм; t – средняя месячная температура воздуха, град. С; a – средняя месячная относительная влажность воздуха, %.

Поливную норму можно установить по формуле

$$M = 100HA(Y - y), \quad (5)$$

где M – поливная норма, м³ воды на 1 га площади; H – толщина орошаемого слоя почвы, м; A – объемный вес абсолютно сухой почвы; Y – полезная влагоемкость, выраженная в % веса сухой почвы; y – влажность в орошенном слое почвы, выраженная в % веса абсолютно сухой почвы.

Результаты исследования и их обсуждение

По мнению Г.Я. Маттиса [6], закономерности, установленные для сельскохозяйственных культур, в значительной мере относятся и к сеянцам древесных пород вследствие их биологической однородности. Поэтому формулу (4) использовали при определении испаряемости посевов сосны в условиях питомника г. Камышина Волгоградской области, подставляя в нее средне-многолетние данные. На основании этого вычислили ежедневную потребность сеянцев сосны в поливах (табл. 1).

В мае дневная норма орошения составила 3,5 мм, в июне – 5,2 мм, июле – 6,4 мм, августе – 5,44 мм. Нормы орошения, рекомендуемые для полива сосны некоторыми авторами, ниже наших: так, Г.А. Игаунис [3] в теплице рекомендует полив с нормой 2,5 мм. В. Душек [1] для условий Чехословакии предлагает ежедневный полив с нормой 2 мм. Это вызвано тем, что в теплицах Латвии и в открытом грунте в Чехословакии испаряемость значительно ниже, чем в сухом и жарком климате Нижнего Поволжья. Для зоны защитного лесоразведения С.М. Зепалов [2] и др. рекомендовали в фазу набухания и прорастания семян 5–10 поливов с нормой 250–500 куб.м на 1 га, в фазу формирования всходов – 5–7 поливов, оросительная норма 500–700 куб.м на 1 га, в фазу роста сеянцев 3–5 поливов с оросительной нормой 500–1000 куб.м на 1 га [6].

В целом за вегетационный период это составляет 1000 мм, что почти в 1,5 раза больше рекомендуемой нами нормы (за вегетационный период 643 мм). Расхождение вызвано тем, что нормы С.М. Зепалова рассчитаны на полив напуском, тогда как предлагаемые нами – на дождевание и капельное орошение.

На наш взгляд нормы, вычисленные в расчете на испаряемость, являются оптимальными при интенсивном выращивании сеянцев в открытом грунте, они учитыва-

ют цикличность развития сеянцев, в мае, в начальные фазы развития, оросительная норма почти в два раза ниже, чем в июле и в августе. Эти нормы полива позволяют выращивать сеянцы сосны без отенения посевов при дождевании и с частичным отенением при капельном орошении.

Критическим для роста сеянцев считается период интенсивного роста надземной части. В этот период необходима корректировка поливных норм. Оптимальная влажность почвы для сеянцев сосны составляет 80% от полной полевой влагоемкости. При превышении этого показателя полив временно прекращают, при снижении ниже этого уровня производят дополнительное орошение. Наличие влаги определяют или по специальным датчикам, или весовым методом отбора образца почвы в слое 0–30 см.

В условиях сухого жаркого лета Нижнего Поволжья, которое усугубляется значительной аридизацией климата в результате глобального потепления на планете, высокие температуры и низкая относительная влажность воздуха часто вызывают депрессию фотосинтеза, особенно в полуденные часы. Для снятия депрессии фотосинтеза рекомендуется проводить внекорневые подкормки и освежающие поливы в течение 5–15 с с трехминутными интервалами [1].

Количество воды для одного полива на зональных почвах не должно превышать 10 мм во избежание водной эрозии, спекания и чрезмерного уплотнения почвы (расчет проводился по формуле (5)). Поливать необходимо, если температура воздуха поднимается выше 30 °С, а относительная влажность воздуха опускается ниже 60%. По нашим данным лучший эффект дают освежающие поливы при аэрозольном способе увлажнения. Эти процессы можно легко автоматизировать, применяя современные системы управления поливом.

Важное значение для роста и развития сеянцев наряду с основным удобрением имеют подкормки корневые и внекорневые.

Кроме того, изучалось влияние способа полива на рост и развитие сеянцев. Изучался способ увлажнения искусственным туманом по сравнению с дождеванием. При аэрозольном поливе, в отличие от полива дождеванием, расходуется меньше воды, отсутствует засоление почвы и водная эрозия, складывается более благоприятный микроклимат. Как показали широкие производственные опыты с сельскохозяйственными культурами, полив которых осуществлялся поливной машиной ДДН 100А со специальными насадками, аэрозольное увлажнение значительно увеличивало выход биомассы с единицы площади.

В последнее время для орошения в плодородстве, овощеводстве и лесных питомниках все чаще применяют капельное орошение. Мы поставили задачу определить биологическую и экономическую целесообразность этого способа полива в условиях лесных питомников Нижнего Поволжья.

Капельное орошение – эффективный, но достаточно дорогой при первоначальном приобретении комплектующих и монтаже вариант полива. Если же учитывать все экономические аспекты, в частности значительную экономию влаги, то данный способ оказывается более экономически целесообразным. Сеянцы при этом получают более высокого качества, с компактной и разветвленной корневой системой. Положительно влияет на качество саженцев и фертигация, которую используют чаще всего для внесения азотных удобрений (NPK обычно вносят при посадке).

Выбор производительности (расхода) капельницы зависит от климатических условий региона. В условиях Нижнего Поволжья применение капельного орошения по сравнению с другими способами полива в 3–5 раз снижает расход воды – очень ценного в таких условиях ресурса. Кроме того, капельное орошение не размывает прикорневую и корневую зону сеянцев и не уплотняет почву вокруг корней, что делает сеянцы сосны более устойчивыми к полеганию от фузариоза.

Таблица 2

Характеристика элементов микроклимата в зависимости от способа увлажнения (среднее за 2012–2013 гг.)

Варианты	Температура, °С						Относительная влажность воздуха, %
	Слой почвы, см			Воздуха			
	0	5	10	Макс.	Мин.	Среднее	
Аэрозоль	20,5	18,8	18,4	26,0	9,4	18,0	54
Дождевание	20,5	18,4	18,2	27,0	8,9	18,2	49
Капельное орошение	20,5	18,2	18,0	28,0	10	18,4	45

Таблица 3

Влияние способа увлажнения и внекорневых подкормок на рост и продуктивность сеянцев сосны

Варианты	октябрь 2012				октябрь 2013			
	высота сеянцев, см	диаметр сеянцев, мм	сух. масса 10 шт/г	выход станд. с 1 п.м стр.	высота сеянцев, см	диаметр сеянцев, мм	сух. масса 10 шт/г	выход станд. с 1 п.м стр.
Аэрозольный способ увлажнения								
Контроль	13,9	3,0	14,1	70	15,1	3,20	15,8	105
Внекорневая NP	15,1	3,01	14,9	90	15,6	3,25	16,1	101
Обработка NPK	15,2	3,01	14,9	90	15,9	3,25	16,8	106
Дождевание								
Контроль	11,6	2,85	11,09	–	12,24	3,01	12,15	90
Внекорневая NP	12,6	2,96	12,8	–	12,8	3,05	12,25	95
Обработка NPK	12,9	2,95	12,2	–	13,1	3,10	13,3	101
Капельное орошение								
Контроль	11,1	2,8	10,9	–	11,9	2,9	11,9	85
Внекорневая NP	11,8	2,91	11,9	–	12,1	2,9	12,0	90
Обработка NPK	12,1	2,92	12,1	–	12,8	3,0	12,5	98
HCP ₀₅	0,81	0,14	0,24	–	0,91	0,18	0,28	–

Результаты наших опытов, приведенные в табл. 2, показывают, что при аэрозольном способе увлажнения складывается более благоприятный микроклимат. Особенно эффективно применение аэрозольного способа увлажнения при освежающих поливах [2], для снятия депрессии фотосинтеза в полуденные часы с высокими температурами и низкой относительной влажностью воздуха. Для этого необходимо включать аэрозольную установку на 10 с каждый час [1].

Как показали опыты 2012–2013 года, благоприятное влияние аэрозольного способа увлажнения наблюдается сразу же после посева, так, грунтовая всхожесть семян сосны в варианте опыта с аэрозольным увлажнением была на 5–10% выше, чем при поливе дождеванием и капельным орошением.

Опыты с различными способами увлажнения проводили согласно методике совместно с внекорневыми подкормками азотно-фосфорным и азотно-фосфорно-калийным удобрениями. Как показали результаты опытов (табл. 3), при аэрозольном способе увлажнения размеры, сухая масса и выход стандартных сеянцев были выше, чем при поливе дождеванием. Разница по всем этим показателям оказалась существенной. При капельном орошении (табл. 3) сухая масса и выход сеянцев оказались немного ниже, чем при аэрозольном способе полива и поливе дождеванием. Однако, по сравнению с двумя другими способами полива, значительная экономическая выгода образуется от

снижения в 3–5 раз объемов воды, необходимых для выращивания такого же количества стандартных сеянцев сосны.

Таким образом, при проведении двухлетних опытов установлено, что основными преимуществами капельного орошения являются:

1. Точная и локализованная подача воды, позволяющая подавать воду в ограниченный объем почвы, где расположена корневая система растения, и свести к минимуму потери питательных веществ в прикорневой зоне.

2. Минимизация потерь от испарения, при этом смачивание определенной зоны позволяет уменьшить потери воды на испарение.

3. Снижение засоренности, так как ограниченное увлажнение земли уменьшает всхожесть и развитие сорняков.

4. Сохранение воздушно-водяного равновесия, что достигается из-за отсутствия на поверхности почвы корки, затрудняющей проникновение воздуха в землю, которая образуется при поверхностном способе полива.

5. Успешное функционирование капельного полива на крутых склонах, мелких и уплотненных почвах с низкой скоростью проникновения воды и песчаных почвах с низкой водоудерживающей способностью.

6. Снижение грибковых болезней, в первую очередь фузариоза.

7. Возможность избежать ожогов листьев.

8. Использование более соленой воды, чем при других способах полива. Так как

частый полив с помощью микрокапельниц убирает излишек солей на «обочину» увлажненного объема почвы.

К недостаткам капельного орошения можно отнести: возможность засорения капельниц; более высокая стоимость систем капельного орошения; повреждение лент птицами, мелкими грызунами; менее значительное влияние на микроклимат по сравнению с другими способами полива.

Выводы

1. Установлено, что в условиях орошаемого питомника сухостепной зоны Нижнего Поволжья величина водопотребления сеянцев сосны стремится к испаряемости. При интенсивном выращивании здесь необходимы ежедневные поливы в мае с нормой 3,5 мм, в июне с нормой 5,2 мм, в июле с нормой 6,4 мм, в августе – 5,6 мм. При снижении относительной влажности воздуха ниже 60% рекомендуется проводить освежающие поливы в течение 5–15 с с 30-минутными интервалами.

2. При аэрозольном способе полива по сравнению с дождеванием улучшается микроклимат и увеличиваются размеры и сухая масса выращиваемых сеянцев.

3. При капельном орошении достигается экономия влаги в 3–5 раз по сравнению с традиционными способами полива за счет менее уплотненной почвы в зонах корневой системы, снижается заболеваемость фузариозом, развитие всасывающих корешков идет

более интенсивно, что позволяет набирать сеянцам древесных пород сухую массу и размеры сравнимые с сухой массой и размерами при традиционных способах полива.

Список литературы

1. Душек В. Орошение лесных питомников дождеванием. – В кн.: Агроресомелиорация. – М.: Лесная промышленность, 1979. – С. 191–208.
2. Зепалов С.М. Схемы поливов в лесных питомниках. – В сб.: Труды ВНИАЛМИ. Итоги работ за 1943–1944 гг. 1947. – С. 115–131.
3. Игаунис Г.А. Биологические основы ускоренного выращивания сеянцев древесных пород. – Зинатне. – Рига, 1974. – 135 с.
4. Иозус А.П., Морозова Е.В. Использование регрессионного анализа при изучении влияния климатических факторов на развитие сеянцев сосны в питомниках степной зоны // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – № 6. URL: <http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=15428>.
5. Листопад Г.Е., Климов А.А., Иванов А.Ф., Устенко Г.П. Программирование урожая. – В сб.: Труды. – Волгоград, 1975. – Т. 4. – 367 с.
6. Маттис Г.Я. Баданов А.П. Влияние режима влажности почвы на рост и качество сеянцев сосны обыкновенной. – Бюл. ВНИАЛМИ. – Волгоград, 1978. – № 1(26). – С. 72–74.
7. Мочалов Б.А. Научное обоснование и разработка интенсивной технологии выращивания посадочного материала хвойных пород для лесовосстановления на европейском севере России: автореф. дис. на соиск. учен. степ. д. с.-х. н. (06.03.01). – Архангельск, 2009. – 44 с.
8. Романов Е.М. Интенсификация выращивания лесопосадочного материала в среднем Поволжье: автореф. дис. на соиск. учен. степ. д. с.-х. н. (06.03.01). – Йошкар-Ола, 1999. – 46 с.
9. Черемисинов А.А., Черемисинов А.Ю. Обзор расчетных методов определения суммарного испарения орошаемых сельскохозяйственных полей. // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. – 2016. – № 1(21). – С. 113–133.

УДК 630*165.7: 631.96

ОСОБЕННОСТИ СОРТОИСПЫТАНИЯ ПЕРСПЕКТИВНЫХ ДЛЯ ЗАЩИТНОГО ОРОШАЕМОГО И БОГАРНОГО ЛЕСОРАЗВЕДЕНИЯ ВИДОВ, ГИБРИДОВ И ФОРМ ТОПОЛЕЙ В УСЛОВИЯХ СУХОЙ СТЕПИ НИЖНЕГО ПОВОЛЖЬЯ

Морозова Е.В., Иозус А.П.*Камышинский технологический институт (филиал) ГБОУ ВО «Волгоградский государственный
технический университет», Камышин, e-mail: end@kti.ru*

Приводятся результаты сравнительного комплексного изучения роста, состояния, устойчивости к засухе, отзывчивости на увлажнение видов, гибридов и форм тополей на объектах ФГБНУ Нижневолжской станции ВНИАЛМИ. В коллекции тополей к сортам интенсивного типа с низкой экологической стабильностью можно отнести гибриды Бранбантика 175, Сакрау-79. К сортам с высокой экологической стабильностью, показывающим хороший рост в широком спектре экологических условий, можно отнести элитный сеянец Э.С.-53, Удивительный, Регенерата, Ленинградский. Рекомендуем для защитных насаждений на орошаемых землях Робуста 173, Э.С.-38, Регенерата, Ленинградский, Э.С.-53, Удивительный. Для создания защитных насаждений в богарных условиях перспективными будут Бахильери, Э.С.-53, Э.С.-38, Казахстанский, Вернирубенс. С целью получения наибольшей биомассы на поливных плантациях подходят Бранбантика 175, Сакрау-79, Робуста 173.

Ключевые слова: тополь, гибрид, отбор, сортоиспытание, сухая степь, защитное лесоразведение

FEATURES VARIETY TESTING PROMISING FOR PROTECTIVE AFFORESTATION ON IRRIGATED AND DRY-FARMING LAND SPECIES, HYBRIDS AND FORMS OF POPLAR IN CONDITIONS OF DRY STEPPE IN THE LOWER VOLGA REGION

Morozova E.V., Iozus A.P.*Reader of Kamyshin Technological Institut (branch) of Volgograd State Technical University,
Kamyshin, e-mail: end@kti.ru*

The results of a comprehensive study of the comparative growth state, resistance to drought, responsiveness to wetting species, hybrids and forms of poplars on the Lower Volga station facilities of ALL-Russian Research Institut of Agro-forest Melioration. In the collection of poplars to varieties of intensive type with low ecological stability can be attributed hybrids Brabantica 175 Sacrau-79. To varieties with a high environmental stability, showing good growth in a wide range of environmental conditions include elite seedling (E.S.)-53, Amazing, Regenerate, Leningrad. Recommended for protective planting on irrigated lands Robuste 173, E.S.-38, Regenerate, Leningrad, E.S.-53, Amazing. To create a protective plantations in rainfed conditions perspective will Bachelieri, E.S.-53, E.S.-38, Kazakhstan, Vernirubens. Brabantica 175, Sacrau-79, Robuste 173 suitable in order to obtain the greatest biomass on the irrigated plantations.

Keywords: poplar, hybrid, selection, variety testing, dry steppe, protective afforestation

Тополь – постоянный и широко распространенный компонент лесных насаждений, создаваемых на легких и песчаных почвах с близким уровнем грунтовых вод. В настоящее время разработаны ассортименты тополя для внедрения в производство нашей страны и за рубежом. Выведено и испытано много новых гибридов тополя, которые отличаются быстрым ростом, продуктивностью и устойчивостью. Широкую известность получили гибриды А.В. Альбенского – Краснонервный, Пирамидальный х осокоревый х камышинский, Болле х камышинский и другие; П.Л. Богданова – Ленинградский, Невский, Колоновидный и др.; А.С. Яблокова – Пионер, Русский, Ивантеевский, Подмосковный и др.; гибриды А.М. Березина, Г.И. Озолина и других селекционеров. По результатам ведомственного сортоиспытания

после 1960 г. изданы рекомендации по ассортиментам тополя для разных регионов бывшего СССР [2, 4, 6].

В 1952–1990 гг. ВНИАЛМИ была проведена селекционно-интродукционная работа в Волгограде, Камышине, Куйбышеве, Кулунде с коллекцией тополей, насчитывающей около 100 видов, и даны рекомендации по использованию их в защитных насаждениях [2, 3, 4].

В результате значительного снижения площади орошаемых земель в Волгоградской области в 1992–2010 гг. и из-за отсутствия ухода и поливов резко снизились площади защитных насаждений, новых насаждений также практически не создавалось.

В связи с необходимостью значительного увеличения отечественной сельскохозяйственной продукции с 2014 гг. идет актив-

ное восстановление и создание орошаемых участков, в том числе и в сухой степи Волгоградской области. В 2015 г. орошаемый клин области увеличился на 2900 га, а в 2016 г. планируется увеличить его еще на 2000 га.

Это потребует создания системы защитных лесных насаждений из быстрорастущих и устойчивых видов, гибридов и форм древесных пород. В первую очередь из тополей.

Цель исследования

На основании комплексного изучения роста, состояния, устойчивости видов, гибридов и форм тополей отечественной и зарубежной селекции в коллекциях ФГБНУ Нижневолжская станция «ВНИАЛМИ» выделить наиболее перспективные на орошении и богаре для защитного лесоразведения.

Материалы и методы исследования

Исследования проводились на ФГБНУ «Нижневолжская станция по селекции древесных пород Всероссийского НИИ агролесомелиорации». В дендрарии станции на площади 0,5 га произрастает коллекция гибридов селекции А.В. Альбенского, насчитывающая 31 наименование, и контрольных видов тополей 1980 года посадки. Вторая коллекция тополей на площади 0,7 га создана в период с 1981 по 1986 год, включает в себя сорта и гибриды, полученные в разных научных учреждениях нашей страны и за рубежом. В 1981 году сюда вошли 12 гибридов тополей селекции профессора А.В. Альбенского, 5 гибридов селекции Башкирской ЛОС, 8 гибридов тополей из коллекции УкрНИИЛХА селекции ВНИИЛМ, гибрид селекции Г.П. Озолина, 2 – Самусова, черенки тополя пирамидального из Башкирии. В 1982 году коллекция пополнилась 5 видами тополей селекции профессора П.Я. Богданова, 20 – полученными из коллекции ЦНИИЛГиС. В 1983 году коллекцию пополнили 4 вида тополей селекции профессора П.П. Бессчетного, еще 13 гибридов из коллекции ЦНИИЛГиС. В общей сложности в 1986 году коллекция насчитывала около 80 наименований.

В 1986 году из гибридов коллекций были заложены сортоучастки тополей в виде участков защитных лесных полос в соответствующей схеме смещений на орошаемых землях в Заволжском стационаре и защитных насаждений в сухой степи.

Коллекции создавались в виде сортоиспытательных участков в соответствии с Методикой государственного сортоиспытания лесных пород и Методикой сортоиспытания тополей, разработанных в Центральном НИИ лесной генетики и селекции. Метод оценки сортов с точки зрения их пригодности для защитного лесоразведения проводился методом, предложенным А.П. Царевым, на основе модели Эберхарда и Рассела [5].

Результаты исследований и их обсуждение

Существующие системы сортоиспытания основаны на том, что при выявлении особенностей тех или иных сортов необхо-

димо испытывать их как можно в большем числе мест и условий местопроизрастания. Идеальный вариант испытания сорта включает большинство всех возможных сочетаний климатических, почвенных, гидрологических и других условий.

Курнаевым С.Ф. выделено на территории нашей страны 133 крупных лесорастительных округа, в которых в соответствии с существующим подходом следовало бы проводить испытание сортов, что практически невозможно. В этом случае необходимо исходить из того, что существует ряд отдельных генотипов, высокоурожайных и устойчивых в широких пределах экологических условий. Количество пунктов испытания для подобных генотипов значительно сокращается. Результаты самых крупных в нашей стране программ сортоиспытания тополя, подтвердили реальность подобного подхода [1, 5, 6].

При этом сорта подразделяются на 2 группы: с высокой и низкой экологической стабильностью. А.П. Царев, проанализировав результаты опытов, пришел к выводу, что испытания сортов можно проводить в оптимальных и предельных условиях выращивания данной культуры. Принцип назван лимито-экологическим. Метод оценки сортов с точки зрения их пригодности для защитного лесоразведения сводится к оценке экологической стабильности, которая может быть определена по модели Эберхарда и Рассела [5].

Подобный метод оценки проведен на основе показателей роста 25 из 80 гибридов тополей коллекции ФГБНУ Нижневолжская станция по селекции древесных пород ВНИАЛМИ посадки 1986 года, плантации тополей на орошаемых землях в Заволжском стационаре и защитных насаждений в сухой степи (табл. 1).

Установлено (табл. 1), что представленные в коллекции гибриды отличаются по отношению к изменению экологических условий. К сортам интенсивного типа с низкой экологической стабильностью, показывающим хороший рост при создании исключительно благоприятных условий, относятся Брантика 175, Сакрау 79. Наиболее ценные для сухой степи с высокой экологической стабильностью, которые показывают хороший рост, состояние в широкой амплитуде экологических условий и в то же время хорошо отзываются на улучшение условий роста, Э.С.-53 и другие. Некоторые гибриды обладают в целом высокой экологической стабильностью, но имеют невысокие показатели роста и слабо отзываются на улучшение условий произрастания.

Таблица 1

Исходные данные и экологическая стабильность роста тополя в высоту

№ п/п	Сорт-клон	Средневзвешенный средний прирост, м			Среднее, x_p , м	Параметры стабильности	
		на орошении		испытательные культуры на богаре в сухой степи		β_i	S^2d_i
		испытательные культуры	Защитные насаждения				
1	Черный гибрид 120	1,51	0,60	1,07	0,85	0,12	0,18
2	Колоновидный	1,45	0,70	1,16	0,96	0,22	0,06
3	Волосистоплод	1,33	0,50	1,94	0,77	0,70	0,01
4	Вернирубенс	2,13	0,80	2,33	1,21	1,32	0,00
5	Р-128	1,57	0,80	1,91	0,97	0,78	0,01
6	Робуста 173	2,20	0,90	1,42	1,32	1,08	0,02
7	Казахстанский	1,48	0,70	1,97	0,97	1,33	0,05
8	Брабантика 175	2,87	0,60	0,94	1,33	1,74	0,01
9	Р-16	1,85	0,70	1,29	1,01	1,12	0,00
10	Регенерата	2,21	0,80	1,67	1,20	1,52	0,00
11	Э.С.-53	1,80	1,00	2,11	1,20	0,95	0,09
12	Бахильери	2,04	0,60	2,17	1,13	0,88	0,08
13	Бальзамический х Черный 86/19	1,68	0,80	0,70	1,02	0,94	0,06
14	Невский 20/5	1,59	0,80	0,52	1,04	1,24	0,10
15	Э.С.-38	2,13	0,90	1,52	1,27	1,15	0,02
16	Львовский	2,21	0,30	0,67	1,19	1,24	0,06
17	Удивительный	1,94	0,80	1,30	1,75	1,15	0,00
18	Ноктюрн	1,85	0,70	0,10	1,09	1,15	0,11
19	Дружба	1,94	0,50	0,66	1,05	1,02	0,05
20	Стреловидный	2,05	0,70	0,32	1,07	1,06	0,00
21	Ленинградский	1,68	0,80	0,99	1,02	0,92	0,06
22	Вегетативный 10	1,20	0,50	1,59	0,77	0,78	0,08
23	Максимовича х Краснонервный	1,94	0,60	1,40	0,98	0,90	0,00
24	Сакрау-79	2,48	0,70	1,48	1,26	1,00	0,01
25	Белый х Болле	1,28	0,70	1,20	0,86	1,64	0,02
	Среднее	1,86	0,70	1,29	10,40		
	Индекс условий среды	0,12	0,03	– 0,03			

К ним относятся Черный гибрид 120, Колоновидный и некоторые другие. В 2013 году в связи с относительно большим количеством для данного засушливого региона выпадавших в период роста осадков лимит ограничения роста вследствие недостатка влаги был снят. В данных условиях наибольшие приросты отмечены у гибридов Бахильери, Э.С.-53, Казахстанский, абсолютный лидер 1988 г. гибрид Удивительный несколько снизил приросты и перешел по приростам в группу средних, хотя по высоте остался в группе лидирующих.

Учитывая условия защитного лесоразведения, при которых гибриды тополей особенно широко используются при создании защитных насаждений на орошаемых

землях, и полученные результаты, следует рекомендовать для данных насаждений гибриды Робуста 173, Э.С.-38, Регенерата, Ленинградский, Э.С.-53, Удивительный.

Для создания защитных насаждений в богарных условиях перспективными будут Бахильери, Э.С.-53, Казахстанский, Э.С.-38, Вернирубенс и др. Для поливных плантаций с целью получения наибольшей биомассы подходят Брабантика 175, Сакрау 79, Робуста 173.

Результаты обмеров в 1989 году таксационных показателей тополей представлены в таблице 7.10. Самые высокие таксационные показатели имеют гибриды: Московский сеянец 1344, Краснонервный х Берлинский 1-15, Московский х Краснонервный 1384, 1381, 1179 и некоторые другие.

Таблица 2

Биометрические характеристики тополей селекции А.В. Альбенского и др.
(коллекция создана в 1980 г.)

№ п/п	Опытный материал	Высота, м	Диаметр, см
1	Московский х Краснонервный 1113	6,0	5,2
2	Московский х Краснонервный 1141	9,5	15,2
3	Московский х Берлинский 26	11,0	14,3
4	Бальзамический х Краснонервный 1299	6,0	8,5
5	Московский х Краснонервный 1381	11,5	16,2
6	Московский х Берлинский 27	6,5	7,0
7	Московский х Краснонервный 1138	7,5	10,3
8	Бальзамический х Берлинский 1181	10,5	17,6
9	Московский х Краснонервный 1191	9,5	15,2
10	Московский х Берлинский х Краснонервный 1393	11,5	14,5
11	Московский х Краснонервный 1183	9,5	11,3
12	Бальзамический х Серый	10,5	16,5
13	Московский х Берлинский х Краснонервный 1420	6,0	6,2
14	Бальзамический х Лавролиственный	10,0	16,0
15	Московский х Краснонервный 1111	6,5	7,5
16	Бальзамический	13,5	17,9
17	Московский х Краснонервный 1120	9,5	11,8
18	Московский х Берлинский х Краснонервный 1436	12,5	16,5
19	Московский х Краснонервный 1178	7,0	9,0
20	Московский сеянец 1157	7,5	11,5
21	Белый х Болле 214	5,5	5,0
22	Белый х Болле 157	2,5	1,4
23	Московский х Краснонервный 1189	7,0	9,0
24	Московский сеянец улучшен. 1340	7,5	11,8
25	Белый х Болле 238	3,7	1,9
26	Московский х Краснонервный 1179	11,5	19,7
27	Московский сеянец 1344	12,5	12,0
28	Болгария, гибрид 2-75	9,5	12,8
29	Московский х Краснонервный 1384	11,5	16,4
30	Краснонервный х Берлинский 1- 15	12,5	19,7
31	Московский х Берлинский х Краснонервный 1416	9,5	14,0

Представленный в коллекции родительский вид – тополь бальзамический превосходит всех остальных представителей коллекции по таксационным показателям, причем его годовой в благоприятный 1979 год составил около 3 м. Самые низкие таксационные показатели имели гибриды Белый х Болле 238, 157, 214, Московский х Берлинский 27, Московский х Берлинский х Краснонервный и некоторые другие. Остальные гибриды по успешности роста занимают промежуточное положение. Оценку перспективности гибридов произвели по результатам обмеров 1989 г., используя метод Ю.Е. Булыгина (Булыгин Ю.Е., 1985). В матрицу расчета оценки кроме таксационных показателей – рост в высоту и диаметр – включен % сохранности, как основ-

ной прямой показатель, характеризующий устойчивость. Следует отметить, что количество высаженных тополей первоначально было неодинаково – от 1, гибрид Осокорь х пирамидальный 46-3-30-34, до 57 шт. стреловидного, поэтому % сохранившихся деревьев не всегда точно отражает сложившееся положение. Наиболее высокая сохранность из достаточного количества высаженных сеянцев у Вернирубенс 54 – 85 %, Э.С.-53 – 81 %, Осокорь х Берлинский – 82 %, Г-236 – 96 %, Э.С.-38 – 84 %. Наименьшая сохранность у Пирамидального х Китайский – 4 %, Московский х Краснонервный 1191 – 8 %, Московский х Краснонервный 1113 – 10 %, Бахильери – 14 %.

По таксационным показателям к лучшим можно отнести Вернирубенс 159: вы-

сота 3,88 м, диаметр 2,6 см. Вернирубенс 54: высота 3,82 м, диаметр 2,5 см, 1–176: высота 3,78 м, диаметр 1,6 см. Э.С.-53: высота 3,24 м, диаметр 1,8 см и некоторые другие.

На основе матрицы оценки суммирования начислили и произвели ранжирование ряда. Разделение ряда тополей по их оценкам на перспективные, средние и неперспективные произвели по критерию «норма». К перспективным, таким образом, относятся все тополя, имеющие ранг с 1 по 22, к неперспективным – с 41 по 80, к средним – все остальные. Перспективные тополя необходимо также более детально изучить по физиологическим показателям, их водному режиму, имеющему большое значение при выращивании тополей как в богарных условиях, так и на орошаемых участках.

Выводы

В коллекции тополей из 80 наименований 1983 года создания ФГБНУ «Нижеволжская станция по селекции древесных пород ВНИАЛМИ» к сортам интенсивного типа с низкой экологической стабильностью относятся Брабантика 175, Сакрау-79. К сортам с высокой экологической стабильностью, показывающим хороший рост в широком спектре экологических условий, относятся Э.С.-53, Удивительный, Регенерата, Ленинградский.

Рекомендуем для защитных насаждений на орошаемых землях Робуста 173, Э.С.-38, Регенерата, Ленинградский, Э.С.-53, Удивительный.

Для создания защитных насаждений в богарных условиях перспективными будут Бахильери, Э.С.-53, Э.С.-38, Казахстанский, Вернирубенс. С целью получения наибольшей биомассы на поливных плантациях подходят Брабантика 175, Сакрау-79, Робуста 173.

На основании комплексного изучения роста и состояния тополей в коллекции 1980 года наиболее перспективными следует считать гибриды селекции А.В. Альбенского, Московский сеянец 1344, Краснонервный х Берлинский 1-15, Московский х Краснонервный 1384, 1381, 1179.

Список литературы

1. Иванников С.П., Царев А.П. Методика государственного испытания тополей / ВНИИЛМ. – М., 1981. – 20 с.
2. Иозус А.П. Выделение перспективных видов тополей для защитного лесоразведения в Нижнем Поволжье // Интродукция, семеноводство и методы интенсивного размножения деревьев и кустарников, перспективных для защитного лесоразведения: Бюллетень ВНИАЛМИ. – Волгоград, 1990. – Вып. 2 (57). – С. 19–21.
3. Иозус А.П., Макаров В.М. Выделение перспективных гибридов тополей для лесозащитного лесоразведения в Нижнем Поволжье // Современные проблемы науки и образования. – 2010. – № 4.; URL: <http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=4517>.
4. Каргов В.А., Долгих А.А. Предложения по использованию гибридных тополей для создания полезащитных лесных полос в степной зоне Поволжья и Западной Сибири. – Волгоград, 1974. – 16 с.
5. Царев А.П. Сортоведение тополя. – Воронеж: Изд-во ВГУ, 1985. – 152 с.
6. Царев В.А. Эффективность сортовых тополей в степной зоне // Resources and Technology. – 2003. – № 4. – С. 147–150.

УДК 630*614.841.3

ОЦЕНКА ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ МЕРОПРИЯТИЙ, НАПРАВЛЕННЫХ НА ЛИКВИДАЦИЮ ЛЕСНЫХ ПОЖАРОВ

¹Рунова Е.М., ²Савченкова В.А.

¹ФБГОУ ВО «Братский государственный университет», Братск, e-mail: runova0710@mail.ru;

²Федеральное агентство лесного хозяйства, Москва, e-mail: 79651658826@yandex.ru

В статье проанализирована статистическая отчетность по оперативной ликвидации лесных пожаров различных районов РФ. При расчете показателя «Доля лесных пожаров в районах применения наземных сил и средств пожаротушения защитных и эксплуатационных лесов, ликвидированных в течение первых суток с момента обнаружения, в общем количестве лесных пожаров» в разрезе субъектов Российской Федерации целесообразно учитывать распределение земель лесного фонда по районам осуществления авиационных работ по охране лесов и способам мониторинга. Так как на землях лесного фонда в районах, контролируемых с помощью системы ИСДМ-Рослесхоз, вследствие удаленности и труднодоступности лесных участков, неразвитой сети транспортных путей, болот, крутых склонов, гольцов, каменистых россыпей, – не представляется возможным обеспечить доставку наземных сил и средств пожаротушения, авторами разработаны поправочные коэффициенты, с учетом которых целесообразно произвести корректировку площади пройденной лесным пожаром в течение первых суток.

Ключевые слова: лесные пожары, устойчивое управление лесами, показатели, критерии, поправочные коэффициенты

ASSESSMENT OF FEASIBILITY OF PERFORMANCE INDICATORS ACTIVITIES AIMED AT THE ELIMINATION OF FOREST FIRES

¹Runova E.M., ²Savchenkova V.A.

¹Bratsk State University, Bratsk, e-mail: runova0710@mail.ru;

²Federal Forestry Agency, Moscow, e-mail: 79651658826@yandex.ru

The article analyzes the statistical reporting on operational liquidation of forest fires of different regions of Russia. When calculating the indicator «Share of forest fires in the areas of use of land forces and fire extinguishing means of protection and production forests, abandoned during the first days after discovery, in the total number of forest fires» in the context of subjects of the Russian Federation, it is advisable to take into account the distribution of forest land by districts of the aircraft works on forest protection and monitoring methods. Since on forest land in areas controlled by means ISDM-Rosleshoz system, due to the remoteness and inaccessibility of the forest areas, undeveloped network of transportation routes, wetlands, steep slopes, loaches, stony placers – is not possible to ensure the delivery of land forces and fire-fighting equipment, the authors developed correction factors, taking into account that it is expedient to make an adjustment area traversed by a forest fire during the first day.

Keywords: forest fires, sustainable forest management, performance criteria, correction coefficients

Актуальность темы

На всех этапах развития лесного хозяйства организация устойчивого управления лесами их многоцелевое, непрерывное и неистощительное использование является стратегически важной и актуальной задачей. Леса России являются одним из возобновляемых природных ресурсов, которые удовлетворяют множественные потребности индустрии, общества и выполняют важнейшие средообразующие и средозащитные функции и нуждаются в защите от стихийного бедствия – лесных пожаров. Лесные пожары наносят большой вред лесному хозяйству: уменьшают прирост деревьев, ухудшают состав лесов и почвенные условия, усиливают буреломы и ветроломы, способствуют распространению вредных насекомых и дереворазрушающих грибов.

Ежегодно регистрируются десятки тысяч лесных пожаров, охватывающих значительные площади земель, покрытых лесной растительностью.

Цель исследования

В целях сокращения потерь лесного хозяйства от пожаров обеспечивается реализация подпрограммы «Охрана и защита лесов» государственной программы Российской Федерации «Развитие лесного хозяйства» на 2013–2020 гг. Целевыми показателями (индикаторами) подпрограммы, характеризующими эффективность мероприятий, направленных на достижение указанной цели и решение поставленной задачи являются:

– доля лесных пожаров, возникших по вине граждан, в общем количестве лесных пожаров, %;

– отношение площади земель лесного фонда, пройденных лесными пожарами в отчетном году, к средней площади земель лесного фонда, которые были пройдены пожарами в течение последних 5 лет, %;

– доля лесных пожаров, ликвидированных в течение первых суток с момента обнаружения (по количеству случаев), в общем количестве лесных пожаров, %;

– доля крупных лесных пожаров в общем количестве лесных пожаров, % [1].

Оценка эффективности выполнения Программы проводится для оценки вклада Программы в экономическое и социальное развитие Российской Федерации, обеспечения Правительства Российской Федерации и ответственного исполнителя оперативной информацией о ходе и промежуточных результатах выполнения мероприятий и решения задач Программы. Результаты оценки эффективности используются для корректировки среднесрочных графиков выполнения мероприятий Программы и плана ее реализации.

Материалы и методы исследования

Оценка производилась отдельно по показателям (индикаторам) реализации Программы и подпрограмм в разрезе основных мероприятий по стране в целом и по каждому субъекту Российской Федерации. Оценка эффективности выполнения Программы проводилась с учетом объема ресурсов, реализовавшихся рисков и социально-экономических эффектов, оказывающих влияние на изменение социально-экономического развития Российской Федерации.

Необходимо учесть, что при оценке эффективности мероприятий в рамках реализации подпрограммы «Охрана и защита лесов» учтены не все факторы, оказывающие значительное влияние на установленные показатели. Обработанные материалы анализировались и систематизировались.

Результаты исследования и их обсуждение

В табл. 1 приведены статистические данные о лесных пожарах по Российской Федерации за 2011–2015 годы.

Учитывая ежегодный анализ статистических данных о лесных пожарах, при сохранении существующего уровня организации и финансирования охраны лесов (после вступления в силу нового Лесного кодекса Российской Федерации этому направлению посвящены многие научные публикации) количество лесных пожаров и площадь лесов, пройденная ими, на период до 2020 г. останутся на прежнем уровне. Периодичность оценки эффективности выполнения Программы согласуется с периодичностью сбора информации при проведении мониторинга показателей (индикаторов) Программы.

Информация о ходе и промежуточных результатах выполнения Программы носит обобщенный характер и проводится расчетным путем на основе первичных данных, полученных от исполнителей мероприятий Программы отдельно по показателям (индикаторам) реализации подпрограмм. Оценка производится отдельно по показателям (индикаторам) реализации Программы и подпрограмм в разрезе основных мероприятий по стране в целом и по каждому субъекту Российской Федерации. Оценка эффективности выполнения Программы проводится с учетом объема ресурсов, реализовавшихся рисков и социально-экономических эффектов, оказывающих влияние на изменение социально-экономического развития Российской Федерации.

Необходимо учесть, что при оценке эффективности мероприятий в рамках реализации подпрограммы «Охрана и защита лесов» учтены не все факторы, оказывающие значительное влияние на установленные показатели.

Таблица 1

Статистические данные о лесных пожарах в период с 2011 по 2015 г.

Период	Кол-во лесных пожаров	Площадь земель лесного фонда, пройденная лесными пожарами, (тыс. га)
2011	19091	1542,22
2012	19000	2264,63
2013	9754	1416,66
2014	16069	3602,61
2015	11090	2526,19

Таблица 2

Оперативный анализ причин возникновения лесных пожаров

Год	Всего пожаров, случаев (возникших)	Причины возникновения, %	
		по вине граждан	от гроз
2011	18 945	85,41	14,59
2012	18 872	68	32
2013	9 717	75	25
2014	15 973	84	16
2015	12 005	85	15

Исследования показали, что на возникновение и распространение лесных пожаров влияют обстоятельства непреодолимой силы, которые, соответственно, оказывают значительное влияние на выполнение контрольных показателей указанной подпрограммы [2, 3, 4, 5].

Так, например, в 2014 г. в Республике Дагестан и Ростовской области целевой показатель подпрограммы «Доля лесных пожаров, ликвидированных в течение первых суток со дня обнаружения, в общем количестве лесных пожаров» не достигнут в связи с тем, что на территории лесного фонда указанных районов проводились боевые учения и контртеррористические операции, которые не позволили лесопожарным формированиям обеспечить своевременное тушение лесных пожаров, возникших в результате указанных действий и перешедших впоследствии в категорию крупных. Влияние на распространение лесных пожаров на большие площади на территории Дальневосточного и Сибирского департаментов лесного хозяйства по федеральным округам оказали лесные пожары, зафиксированные в труднодоступных (заболоченная или горная местность) и удаленных лесных участках, что затрудняло или делало невозможным оперативную доставку сил и средств пожаротушения, особенно тяжелой техники. Основными причинами возникновения крупных лесных пожаров на территории Иркутской и Омской областей явились грозные разряды в труднодоступных районах, сопровождающиеся в ряде случаев порывами ветра до 30 м/с. На территории Тверской области также установлено, что 3000 га площади, пройденной крупными лесными пожарами (общая площадь – 3378,7 га), составляют нелесные земли, торфяные болота и брошенные торфоразработки на землях лесного фонда. Условия, определяющие возможность возникновения и распространения природных пожаров находятся в прямой зависимости от температурных режимов и ветра, что обусловило активное распространение лесных пожаров, возникших в дни высокой пожарной опасности по условиям погоды, на большие площади.

Необходимо также учесть, что пожар – это неконтролируемый процесс горения, стихийно возникающий и распространяющийся в природной среде.

Кроме того, на указанные показатели значительное влияние оказывает класс пожарной опасности в лесу по условиям погоды, который человек не может регулировать.

Анализ статистических данных материалов о лесных пожарах с учетом результатов многолетних исследований позволяет сделать вывод о том, что преимущественно обнаружение лесных пожаров отмечается

после 11–00 часового суток. Учитывая время, в течение которого поступает информация к пункту сосредоточения сил и средств пожаротушения (особенно на землях лесного фонда департаментов лесного хозяйства Сибирского и Дальневосточного федеральных округов), а также техническое состояние дорог, по которым доставляются силы и средства пожаротушения (средняя скорость трала с погруженным на него бульдозером до 35 км/час), их разгрузка, время обследования места возгорания, работы по тушению лесного пожара начинаются после 16–00 дневного времени суток.

Необходимо учесть, что средняя скорость движения бульдозера отечественного производства при обустройстве минерализованной полосы по покрытым лесом землям лесного фонда составляет (Б-10М) 0,15–0,35 км/ч. При движении бульдозера по болотистой местности или свежим и влажным почвам скорость снижается в два раза. В соответствии с требованиями техники безопасности обустройство первой минерализованной полосы осуществляется на расстоянии не менее 50 м от действующей кромки лесного пожара (две высоты падающего дерева). Вторая минерализованная полоса прокладывается на расстоянии, не менее 40–50 м от первой (1–2 высоты дерева). В табл. 3 представлены результаты экспериментальных исследований в лесах южнотаежной зоны.

Учитывая изложенное, оперативную ликвидацию лесного пожара можно обеспечить только на вторые сутки, а при его площади обнаружения более 5 га – на третьи сутки. В первые сутки после обнаружения возгорания оперативно ликвидировать лесной пожар представляется возможным только на площади обнаружения менее 0,5 га и при ликвидации которого отсутствует необходимость применения бульдозера.

Таким образом, в целях оценки эффективности оперативности тушения лесных пожаров на землях лесного фонда, имеющих труднодоступные и удаленные лесные участки, показатель «Доля лесных пожаров, ликвидированных в течение первых суток с момента обнаружения (по количеству случаев), в общем количестве лесных пожаров» целесообразно изложить в редакции «Доля лесных пожаров в районах применения наземных сил и средств пожаротушения защитных и эксплуатационных лесов, ликвидированных в течение первых двух суток с момента обнаружения, в общем количестве лесных пожаров». Необходи-

димо отметить, что в соответствии с приказом Рослесхоза от 12.05.2011 г. № 16 «О внесении изменений в приказ Рослесхоза от 09.07.2009 № 290 «О распределении земель лесного фонда по способам мониторинга пожарной опасности в лесах и по зонам осуществления авиационных работ по охране лесов» (далее – приказ Рослесхоза) [2] земли лесного фонда распределены по зонам осуществления авиационных работ по охране лесов и способам мониторинга. Следовательно, без учета указанного распределения расчет показателей государственной программы Российской Федерации «Развитие лесного хозяйства» на 2013–2020 гг. подпрограммы «Охрана и защита лесов», оценивающих оперативность принятия мер по тушению лесных пожаров, на повышение которой направлены значительные ресурсы в рамках госпрограммы, не позволяет эффективно оценить реализацию основного мероприятия 1.2. «Повышение эффективности предупреждения возникновения и распространения лесных пожаров, а также их тушения» [1].

Таким образом, при расчете показателя «Доля лесных пожаров в районах применения наземных сил и средств пожаротушения защитных и эксплуатационных лесов, ликвидированных в течение первых суток с момента обнаружения, в общем количестве лесных пожаров» в разрезе субъектов Российской Федерации целесообразно учитывать распределение земель лесного фонда по районам осуществления авиационных работ по охране лесов и способам мониторинга.

Так как на землях лесного фонда в районах, контролируемых с помощью системы ИСДМ-Рослесхоз, вследствие обстоятельств: удаленность и труднодоступность лесных участков, неразвитая сеть транспортных путей, болота, крутые склоны, гольцы, каменистые россыпи, – не представляется возможным обеспечить доставку наземных сил и средств пожаротушения, а также учитывая, что леса указанного района относятся к резервным, авторами разработаны поправочные коэффициенты, с учетом которых целесообразно произвести корректировку площади, пройденной лесным пожаром в течение первых суток.

На рис. 1 представлена величина зоны осуществления авиационных работ по охране лесов от пожаров, относящаяся к резервным лесам, труднодоступным участкам, болотам, крутым склонам, гольцам и каменистым россыпям (зона космического мониторинга), в разрезе федеральных округов.

Таким образом, учитывая долю площади указанной зоны в общей площади земель лесного фонда по данным государственного лесного реестра, значение поправочного коэффициента для Центрального, Северо-Западного, Южного, Северо-Кавказского и Приволжского федеральных округов целесообразно принять за единицу (100%), так как вся площадь указанных округов относится только к зоне наземного мониторинга, то есть условия для тушения лесных пожаров наиболее оптимальные.

Кроме того, при расчете поправочного коэффициента указанного показателя целесообразно учесть степень освоения резервных лесов вблизи населенных пунктов.

Таблица 3

Результаты экспериментальных исследований в лесах южнотаежной зоны

Площадь обнаружения лесного пожара, га	Периметр площади обнаружения лесного пожара, м	Длина периметра площади обнаружения лесного пожара на расстоянии 50 м от его кромки, м	Протяженность 2-й минерализованной полосы, м	Время, необходимое для обустройства минерализованных полос по всему периметру лесного пожара без учета доставки и разгрузки средств пожаротушения (локализации лесного пожара), час	
				рабочее	общее (рабочее + время остановок*)
0,5	300	500	660	1,88–4,4	2,21–5,04
1	400	600	760	2,2–5,1	2,53–5,93
2	600	800	960	2,7–6,4	3,03–7,4
3	800	1000	1160	3,3–7,7	3,8–8,87
5	1200	1400	1560	4,5–10,4	5,17–12,1
10	2200	2400	2560	7,3–17,1	8,47–19,93

Примечание. *время остановок принято как усредненное на основании данных хронометража: 10 минут каждого часа работы и 1 час обеденный перерыв на 8 часов работы.

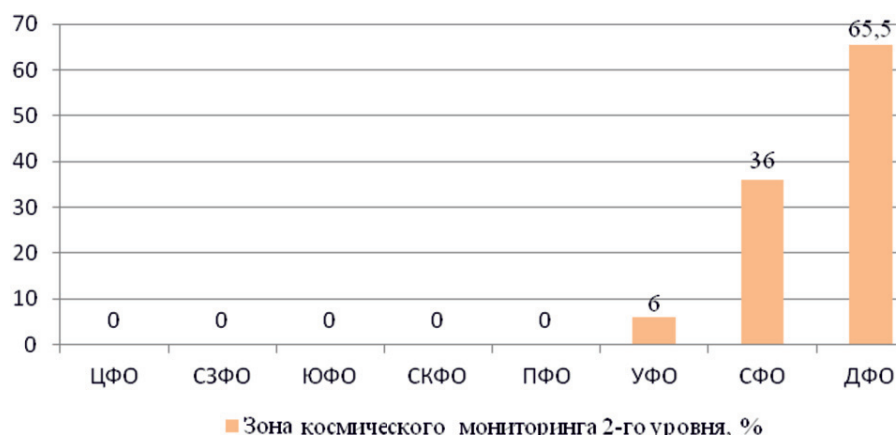


Рис. 1. Величина зоны космического мониторинга в разрезе федеральных округов

По данным учета лесного фонда, ежегодно проводятся различные виды рубок на площади, составляющей до 1% от общей площади лесного фонда. Кроме того, осуществляется плановое строительство дорог лесохозяйственного и противопожарного назначения, а также прочие мероприятия. Интенсивность освоения земель лесного фонда подтверждается ежегодным увеличением среднего расстояния вывозки древесины. Это обосновывает необходимость исключить площадь участков, вовлекающихся в лесозэксплуатацию, при расчете поправочного коэффициента, так как при ежегодном использовании леса производится строительство сети транспортных путей, которые, несмотря на их низкое качество, облегчают доставку сил и средств пожаротушения к месту возгорания.

Принимая во внимание процентное соотношение удаленных и труднодоступных лесных участков (зону космического мониторинга) относительно площади земель лесного фонда федеральных округов, а также причины, способствующие увеличению затрат времени на организацию и доставку сил и средств пожаротушения к месту лесного пожара, целесообразно увеличить поправочный коэффициент для Уральского, Сибирского и Дальневосточного федеральных округов пропорционально указанным лесным участкам:

Уральский федеральный округ – 1,06; Сибирский федеральный округ – 1,36; Дальневосточный федеральный округ – 1,665.

В качестве примера расчета показателя «Доля лесных пожаров в районах применения наземных сил и средств пожаротушения защитных и эксплуатационных лесов, лик-

видированных в течение первых суток с момента обнаружения, в общем количестве лесных пожаров» использованы статистические данные за 2014 г. Без учета деления земель лесного фонда на зоны мониторинга плановая величина указанного показателя по каждому федеральному округу одинаковая и составляет 77,7%.

При условии применения поправочного коэффициента, учитывающего отсутствие возможности применения наземных сил и средств пожаротушения, количество лесных пожаров, ликвидированных в течение первых суток с момента обнаружения, будет равно

$$Q_{\text{сут}} = Q_{\text{сут}} \cdot K_{\text{п}},$$

где $Q_{\text{сут}}$ – количество лесных пожаров, ликвидированных в течение первых суток с момента обнаружения; $K_{\text{п}}$ – поправочный коэффициент, учитывающий наличие зоны космического мониторинга в части зоны контроля за лесными пожарами (ранее, согласно приказу Рослесхоза от 09.07.2009 № 290 «О распределении земель лесного фонда по способам мониторинга пожарной опасности в лесах и зонах осуществления авиационных работ по охране лесов» – зона космического мониторинга 2-го уровня).

Центральный федеральный округ – $1156 \cdot 1,0 = 1156$; Северо-Западный федеральный округ – $1549 \cdot 1,0 = 1549$; Южный федеральный округ – $45 \cdot 1,0 = 45$; Северо-Кавказский федеральный округ – $9 \cdot 1,0 = 9$; Приволжский федеральный округ – $803 \cdot 1,0 = 803$; Уральский федеральный округ – $1649 \cdot 1,06 = 1748$; Сибирский федеральный округ – $5394 \cdot 1,36 = 7336$; Дальневосточный федеральный округ – $1224 \cdot 1,665 = 2038$.

Таким образом, указанный показатель реализации подпрограммы «Охрана и защита лесов», характеризующий эффективность предупреждения, обнаружения и тушения лесных пожаров, будет равен (%):

$$\left(\frac{(Q_{\text{сут.}} \cdot K_n)}{Q_{\text{общ.}}} \right) \cdot 100,$$

где $Q_{\text{сут.}}$ – количество лесных пожаров, ликвидированных в течение первых суток с момента обнаружения;

$Q_{\text{общ.}}$ – общее количество возникших лесных пожаров в исследуемом периоде.

Центральный федеральный округ – $(1156/1188) \cdot 100 = 97,3$; Северо-Западный федеральный округ – $(1549/1816) \cdot 100 = 85,3$; Южный федеральный округ – $(45/52) \cdot 100 = 86,54$; Северо-Кавказский федеральный округ – $(9/10) \cdot 100 = 90$; Приволжский федеральный округ – $(803/828) \cdot 100 = 96,98$; Уральский федеральный округ – $(1748/1847) \cdot 100 = 94,6$; Сибирский федеральный округ – $(7336/8214) \cdot 100 = 89,3$; Дальневосточный федеральный округ – $(2038/2115) \cdot 100 = 96,4$.

В целях обеспечения достоверности показателя «Доля крупных лесных пожаров в общем количестве лесных пожаров» целесообразно производить его расчет с применением коэффициента (K_n), учитывающего распределение земель лесного фонда по зонам осуществления авиационных работ по охране лесов и способам мониторинга, в соответствии с которым зона наземного мониторинга принимается равной 1 ($K_n = 1$). Зона наземного мониторинга от общей площади субъекта Российской Федерации по данным государственного лесного реестра

составляет: Центральный федеральный округ – 81%; Северо-Западный федеральный округ – 10,3%; Южный федеральный округ – 65,4%; Северо-Кавказский федеральный округ – 100%; Приволжский федеральный округ – 37%; Уральский федеральный округ – 3,4%; Сибирский федеральный округ – 7,3%; Дальневосточный федеральный округ – 2,2%.

Необходимо отметить, что чем ниже процент зоны наземного мониторинга, тем больше удаленных и труднодоступных лесных участков. В отдельных случаях доставить тяжелую технику (применение которой значительно повышает эффективность тушения лесных пожаров) не возможно. Таким образом, вследствие указанных обстоятельств не представляется возможным оказать влияние на количество возникающих лесных пожаров, а также площадь распространения огня, на величину процента, равного району осуществления авиационных работ и космического мониторинга.

На рис. 2 представлено процентное соотношение зоны авиационного и космического мониторинга.

Следовательно, поправочный коэффициент K_n , на который необходимо умножить общее количество возникших лесных пожаров, составляет: Центральный федеральный округ – 1,19; Северо-Западный федеральный округ – 1,9; Южный федеральный округ – 1,35; Северо-Кавказский федеральный округ – 1,0; Приволжский федеральный округ – 1,63; Уральский федеральный округ – 1,97; Сибирский федеральный округ – 1,93; Дальневосточный федеральный округ – 1,98.

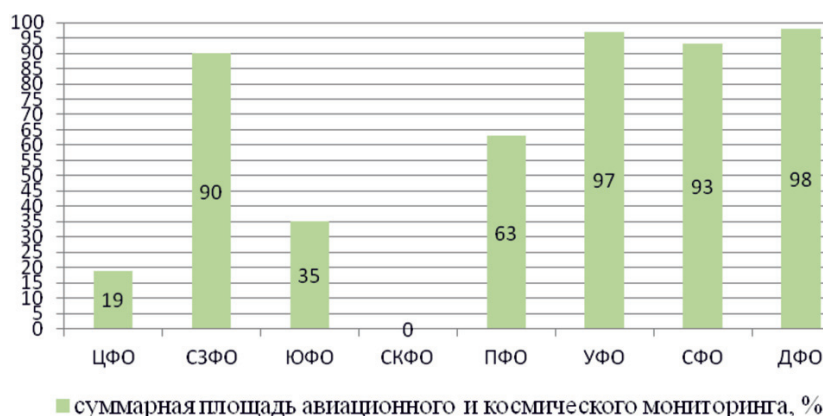


Рис. 2. Процентное соотношение зон авиационного и космического мониторинга в разрезе федеральных округов

В качестве примера расчета показателя «Доля крупных лесных пожаров в общем количестве лесных пожаров» использованы статистические данные за 2014 г. Без учета деления земель лесного фонда на зоны мониторинга указанный показатель составляет 11,1. При условии применения поправочного коэффициента, учитывающего влияние абиотических факторов (климат, рельеф, свет, тепло, влага, ветер и прочее) на условия произрастания лесных насаждений в различных субъектах Российской Федерации, количество лесных пожаров, эффективность мероприятий по тушению которых в зонах авиационного и космического мониторинга несоизмерима с эффективностью мероприятий по их тушению в зоне наземного мониторинга, будет скорректировано:

$$Q_{\text{общ}} = Q_{\text{общ}} \cdot K_{\text{п}},$$

где $Q_{\text{общ}}$ – общее количество возникших лесных пожаров за исследуемый период;
 $K_{\text{п}}$ – поправочный коэффициент.

Центральный федеральный округ – $1188 \cdot 1,19 = 1413,72$; Северо-Западный федеральный округ – $1816 \cdot 1,9 = 3450,4$; Южный федеральный округ – $52 \cdot 1,35 = 70,2$; Северо-Кавказский федеральный округ – $10 \cdot 1,0 = 10$; Приволжский федеральный округ – $828 \cdot 1,63 = 1349,64$; Уральский федеральный округ – $1847 \cdot 1,97 = 3639$; Сибирский федеральный округ – $8214 \cdot 1,93 = 15853$; Дальневосточный федеральный округ – $2115 \cdot 1,98 = 4187,7$.

Таким образом, по Российской Федерации общее количество возникших лесных пожаров составит 29973,66.

Выводы

Отношение числа возникших лесных пожаров, которые перешли в категорию крупных ($Q_{\text{кр}}$), к общему числу возникших лесных пожаров ($Q_{\text{общ}}$) составит $(Q_{\text{кр}}/Q_{\text{общ}}) \cdot 100\% = 5,95$, при плановом показателе – 6,3.

Учитывая изложенное, целесообразно при реализации подпрограммы «Охрана и защита лесов» рассчитывать фактическую величину указанных показателей (относительно установленных плановых их величин) по следующим формулам:

показатель «Доля крупных лесных пожаров в общем количестве лесных пожаров»:

$$\left(\frac{Q_{\text{кр.}}}{(Q_{\text{общ.}} \cdot K_{\text{п}})} \right) \cdot 100;$$

показатель «Доля лесных пожаров в районах применения наземных сил и средств пожаротушения защитных и эксплуатационных лесов, ликвидированных в течение первых суток с момента обнаружения, в общем количестве лесных пожаров»:

$$\left(\frac{(Q_{\text{сут.}} \cdot K_{\text{п}})}{Q_{\text{общ.}}} \right) \cdot 100.$$

Список литературы

1. «Об утверждении государственной программы Российской Федерации «Развитие лесного хозяйства» на 2013–2020 года. Постановление Правительства Российской Федерации от 15 апреля 2014 г. N 318; <http://base.garant.ru/70644228/#friends> (дата обращения 15.11.2016).
2. «О внесении изменений в приказ Рослесхоза от 09.07.2009 № 290 «О распределении земель лесного фонда по способам мониторинга пожарной опасности в лесах и по зонам осуществления авиационных работ по охране лесов». Приказ Рослесхоза от 12.05.2011 г. № 1; <http://docs.cntd.ru/document/902357016> (дата обращения: 15.11.2016).
3. Рунова Е.М., Беженцев М.А. Математическая модель динамики солнечной активности и оценка горимости лесов // Актуальные проблемы лесного комплекса. – 2007. – № 20. – С. 9–13.
4. Рунова Е.М., Доленко М. А. Лесные пожары в Иркутской области // Труды Братского государственного университета. Серия: Естественные и инженерные науки. – 2006. – Т. 1. – С. 90–92.
5. Рунова Е.М., Костюнин И.С. Моделирование возникновения лесных пожаров// Актуальные проблемы лесного комплекса. – 2006. – № 15. – С. 119–121.
6. Чжан С.А., Рунова Е.М., Пузанова О.А., Сухих А.Н. Пространственно – временной аспект возникновения лесных пожаров // Вестник Красноярского государственного аграрного университета. – 2010. – № 2. – С. 77–81.

УДК 633.3:581.524.12

ВИДОВОЕ РАЗНООБРАЗИЕ ЛУГОВЫХ ТРАВСТОЕВ**Тюлин В.А., Сутягин В.П.***ФГБОУ ВО «Тверская государственная сельскохозяйственная академия», Тверь,
e-mail: sutiagin.victor2011@yandex.ru*

Исследованиями установлено, что ценотическая активность видов изменяется в зависимости от состава травосмесей и режима использования. В первый год пользования в травостоях преобладали бобовые и быстроразвивающиеся злаки. В трехкомпонентной травосмеси при скашивании в начале цветения доля клевера лугового составила 67%, в этой же травосмеси при трех скашиваниях к осени его количество возрастает и достигает 83–88%. На второй год использования клевера луговой и гибридный начинают вытесняться рыхлокустовыми верховыми злаками. Количество райграса пастбищного снизилось до 20%. Участие клевера ползучего увеличилось. В шестикомпонентной травосмеси при трех укосах осенью его стало 15%. Тимофеевка луговая, овсяница луговая, ежа сборная пышно разрастаются, особенно в малокомпонентных травосмесях (до 60–90%). Клевер гибридный более слабый конкурент, чем клевер луговой. Клевер ползучий увеличивает свою долю в травостое при более частом использовании. Райграс пастбищный лучше других низовых трав развивается в первые два года жизни – до 85% участия в травостое, к третьему году его количество снижается. В шестикомпонентной травосмеси при норме высева большей, чем в пятикомпонентной, его процент к третьему году упал до 4%. В наших условиях райграс пастбищный плохо зимует. Подсев клевера лугового показал более высокую выживаемость в травостое с преобладанием верховых злаков – 41,1%. В травостое с преобладанием овсяницы красной выживаемость бобовых составила 28,6%. Разработана методика моделирования ценотической активности видов. Анализ засоренности культур кормового севооборота позволяет сделать заключение о том, что структура посевных площадей и разработанные на её основе севообороты способствуют целенаправленному формированию агрофитоценозов соответствующей структуры и поддержанию фитосанитарного состояния посевов на оптимальном для культурных растений уровне.

Ключевые слова: агрофитоценоз, сорные растения, севообороты, видовая плотность травостоя, клевер луговой, ежа сборная, тимфеевка луговая, клевер розовый и ползучий, овсяница красная, густота посевов, первый год жизни, второй год жизни, первый год пользования, второй год пользования, ценотическая активность

DIVERSITY MEADOW HERBAGE**Tyulin V.A., Sutyagin V.P.***Tver State Agricultural Academy, Tver, e-mail: sutiagin.victor2011@yandex.ru*

Research has established that Tsenoticheskyy Activity species izme-nyaetsya depending on the composition of mixtures and usage. In the first year of use in herbage dominated by legumes and fastest growing cereals. The ternary mixtures when mowing at the beginning of flowering clover proportion was 67%, in the same mixtures with three mowing the autumn the amount increases and reaches 83–88%. In the second year of use of red clover and hybrid start being replaced ryhlokustovymi upland grasses. The number of perennial ryegrass decreased to 20%. Participation clover increased. The six-component mixtures with three cut system in the fall it was 15%. Timothy, Meadow fescue, orchard grass thrives, particularly in malokomponentnyh grass mixtures (up to 60–90%). Clover Hybrid weaker competitor than red clover. Trifolium repens increasing its share in the stand at more frequent use. Perennial ryegrass better than other grasses grassroots develops in the first two years of life – up to 85% interest in the stand, the third year of its amount reduced. The six-component mixtures with the seeding rate higher than in the five-component, its percentage of the third year fell to 4%. In our conditions, perennial ryegrass bad winters. Overseeding red clover showed a higher survival rate in the stand with a predominance of upland cereals – 41,1%. In herbage with a predominance of red fescue survival rate was 28,6% legumes. A method for modeling activity cenotic species. Analysis clogging forage crop rotation leads to the conclusion that the structure of sown areas and developed on the basis of its crop rotations contribute purposefully to form agrophytocenoses appropriate structure and maintain phytosanitary condition of crops at the optimum level for the crop.

Keywords: agrophytocenosis, weeds, crop rotation, species density of the grass, red clover, orchard grass, timothy, clover pink and creeping red fescue, crop density, first year, second year, the first year of use, the second year of use, tsenoticheskyy activity

Для экологического сельского хозяйства выделяют принцип генетического и видового разнообразия, который достигается посредством сохранения естественных ландшафтов, подбора компонентов смесей на основе ценотической активности, севооборотами, уровнем засоренности. При этом постановка задачи получения высоких урожаев культур на этапе наращивания производства не согласуется с естественными

законами функционирования агроэкосистем [1].

Одним из приёмов создания искусственных агрофитоценозов, которые приближаются по функционированию к естественным ценозам является видовая плотность травостоя, которую можно смоделировать нормой высева трав. По Н.П. Мининой (1974), максимальной нормой высева травосмеси была признана густота посева из

расчета 4 см² на одно семя (25 млн семян на 1 га) на суходолах лесной зоны и 6–8 см² на более богатых и увлажненных почвах пойм и низинных местоположений. В зависимости от содержания в смеси крупно-, средне- и мелкосеменных трав общая весовая норма высева определялась от 20 до 30 кг семян первого класса на 1 га. На ход и результат взаимодействий и на степень взаимообусловленности растений в ценозе сильнее всего влияют биологические, экологические и морфологические различия между видами растений [8].

За время пользования травостоем ботанический состав его резко меняется. В течение 6 лет опыта [4] произошли флуктуационные и сукцессионные смены ботанического состава. Независимо от способа использования и уровня азотного питания к 3-му году пользования популяции овсяницы луговой и тимopheевки луговой погибают. При выпасе к 6-му году пользования сформировался разнотравно-ежово-лугомятливый травостой, при имитации пастбы – разнотравно-красно-овсянице-ежово-лугомятливый. При минеральном удобрении суходольного луга [5] происходит изменение комплементарной природы сообществ на конкурентную вследствие абсолютного доминирования в сообществах видов, близких в морфобиологических и эколого-физиологических отношениях. Наблюдается высокий фитоценотический барьер, обусловленный сильным эдифицирующим воздействием на среду синузиды верховых злаков.

В опытах Эстонской сельскохозяйственной академии наиболее агрессивными видами при различных режимах скашивания оказались ежа сборная и кострец безостый, за которыми следовали канареечник тростниковый, лисохвост луговой, тимopheевка луговая [6].

Подбор компонентов бобово-злаковых травостоев в наших исследованиях определяется местообитанием, направлением использования луга. В течение 6 лет изучались 7 травосмесей, с разным числом компонентов: доля участия бобового компонента 30–40%. Использование 2-х, 3-укосное. В первую декаду мая вносили Р60К65, после 1-го укоса N60P60K130. В первый год пользования наибольший урожай получен в простых трехкомпонентных травосмесях при двух скашиваниях – 10,3 т сухой массы, при трех – 8,7 т с 1 га (табл. 1).

В первый год пользования при трехкратном режиме использования имел пре-

имущество вариант с пятикомпонентной травосмесью. На двухукосных делянках травостой из тимopheевки луговой + овсяница красная + клевер луговой обеспечил 11,1 т/га, не уступая многокомпонентному травостою.

На третий год пользования преимущество было за сложными травосмесями – при двух скашиваниях урожай достигал 12,7 т с 1 га. Продуктивность в целом во всех вариантах снизилась в сравнении с предыдущими годами. Конкурентная борьба между сеянными видами почти закончилась, ботанический состав травостоя стал обедненным, упростился. На пятый год опыта наблюдали последствие конкурентной борьбы в многолетнем травостое, удобрения не вносили и косили один раз. Урожай в данном случае характеризует степень «перестройки» травостоя: доминантный вид определял продуктивность. Наиболее характерен вариант, где преобладала ежа сборная.

Таблица 1

Урожай бобово-злакового травостоя по укосам, сухая масса, т с 1 га, в среднем за 3 года

Состав травосмеси	При 2 укосах		При 3 укосах		
	1-й	2-й	1-й	2-й	3-й
1. Тимopheевка луговая Овсяница красная Клевер луговой	5,2	3,5	2,0	3,2	2,6
2. Ежа сборная Клевер ползучий	5,0	3,0	2,1	3,0	1,7
3. Тимopheевка луговая Овсяница красная Клевер луговой Ежа сборная Клевер ползучий	5,4	4,0	3,4	3,3	1,9
4. Овсяница луговая Мятлик луговой Клевер гибридный	5,0	3,4	2,2	3,0	1,8
5. Ежа сборная Райграс пастбищный Клевер ползучий	4,3	3,6	2,1	2,7	1,8
6. Овсяница луговая Мятлик луговой Клевер гибридный Ежа сборная Райграс пастбищный Клевер ползучий	5,1	3,2	2,2	3,3	1,8
7. Ежа сборная Тимopheевка луговая Райграс пастбищный Мятлик луговой Клевер луговой	5,8	3,9	2,6	3,7	1,9
НСР ₀₅	1,5	1,1	0,8	0,7	0,4

Таблица 2

Ботанический состав травостоя, % от абс. сухой массы

№ варианта	Состав травосмеси	В среднем за 2 укоса	Последствие
1	Тимофеевка луговая	29,0	9,8
	Овсяница красная	4,0	90,2
	Клевер луговой	67,0	–
2	Ежа сборная	66,0	100
	Клевер ползучий	34,0	–
3	Тимофеевка луговая	35	76,7
	Овсяница красная	5	13,2
	Клевер луговой	12	0,9
	Ежа сборная	45	9,2
	Клевер ползучий	3	–
4	Овсяница луговая	67	41,8
	Мятлик луговой	4	58,2
	Клевер гибридный	29	–
5	Ежа сборная	5	82,9
	Райграс пастбищный	87	17,1
	Клевер ползучий	8	–
6	Овсяница луговая	25	13,5
	Мятлик луговой	2	10,7
	Клевер гибридный	30	
	Ежа сборная	6	53,6
	Райграс пастбищный	32	21,4
	Клевер ползучий	5	0,8
7	Ежа сборная	18	97,2
	Тимофеевка луговая	6	1,7
	Райграс пастбищный	50	
	Мятлик луговой	1	1,0
	Клевер луговой	25	

Анализ данных урожая по укосам в нашем эксперименте свидетельствует о том, что распределение растительной продукции в течение сезона определяется числом компонентов травосмеси и набором видов трав.

Со второго года жизни наблюдались процессы активной конкуренции между сеянными видами. Структурные перестройки травостоев происходили ежегодно. В первый год пользования в травостоях преобладали бобовые и быстро развивающиеся злаки. В трехкомпонентной травосмеси при скашивании в начале цветения доля клевера лугового составила 67%, в этой же травосмеси при трех скашиваниях к осени его количество возрастает и достигает 83–88%. Участие клевера гибридного меньше, он более слабый конкурент, чем клевер луговой. Клевер ползучий увеличивает свою долю в травостое при более частом использовании. Причем содержание клевера ползучего снижает-

ся в конце мая, но в середине лета, когда рост злакового компонента ослабляется, клевер ползучий достигает наибольшей доли участия в травостое.

Из злаковых верховых трав в большей степени определяла продуктивность травостоя ежа сборная. Количество ее к концу исследования возрастает во всех вариантах (табл. 2). От весны к осени ежа сборная неуклонно увеличивает свое участие в травостое. Ее конкурентоспособность не изменяется в зависимости от числа компонентов травостоя. Только райграс пастбищный сдерживал ее развитие, да и то в первом укосе первого года пользования. При норме высева 5,4 кг/га ежи сборной весной было 5–9% по массе, при высева 2,3 кг/га в отсутствие райграса пастбищного уже весной ее содержалось 45–50%. Травостой при заниженной норме высева и наличии сильно конкурентных злаков только в первый год пользования отличается меньшим участием ежи сборной.

Таблица 3

Густота побегов (шт/м²)

Варианты	Состав травосмеси	1-й год пользования		2-й год пользования		3-й год пользования	
		Укосы		Укосы		Укосы	
		два	три	два	три	два	три
1	Тимофеевка луговая	210	162	393	326	2197	393
	Овсяница красная	398	247	536	918	1691	299
	Клевер луговой	267	203	32	49	215	136
2	Ежа сборная	713	438	1075	703	901	544
	Клевер ползучий	(53)	(157)		(180)	2(6)	(353)
3	Тимофеевка луговая	119	106	81	88	756	22
	Овсяница красная	145	18	31	74	389	31
	Клевер луговой	73	53	13	18	45	46
	Ежа сборная	211	136	1034	471	392	482
	Клевер ползучий	(2)	(24)	(56)	(214)	26(102)	(43)
4	Овсяница луговая	341	1042	937	844	643	317
	Мятлик луговой		15	241	20	47	65
	Клевер гибридный	63	164	38	54	183	153
5	Ежа сборная	294	164	1141	214	966	481
	Райграс пастбищный	828	545	695	464	722	266
	Клевер ползучий	(166)	(95)	(186)	(681)	2(170)	(70)
6	Овсяница луговая	402	35	221	162	84	104
	Мятлик луговой	2		38	5	25	18
	Клевер гибридный	42	63	55	42	10	24
	Ежа сборная	208	183	362	374	592	235
	Райграс пастбищный	572	341	284	309	156	120
	Клевер ползучий	(6)	(14)	(159)	(384)	17(192)	(187)
7	Ежа сборная	247	151	413	259	785	460
	Тимофеевка луговая	55	76	70	68	230	25
	Райграс пастбищный	350	432	157	572	130	91
	Мятлик луговой		9	12	87	137	59
	Клевер луговой	106	98	50	14	52	22

Райграс пастбищный лучше других низовых трав развивается в первые два года жизни – до 85% участия в травостое, к третьему году его количество снижается. В шестикомпонентной травосмеси при норме высева большей, чем в пятикомпонентной, его процент к третьему году упал до 4%. В наших условиях этот злак плохо зимует. В то время как во многих государствах Западной Европы это основная лугопастбищная трава.

Число видов травосмеси также сильно влияет на развитие овсяницы красной, мятлика лугового. В трехкомпонентном травостое овсяницы красной в первый год пользования было до 19%, к третьему году немного больше, тогда как в пятикомпонентной смеси участие ее в травостое 1-го года пользования 5%, а в дальнейшем даже снизилось. При трех укосах овсяница красная дает больший урожай, чем при

двух, причем, как и мятлик луговой. По сообщению Л.Г. Козловой (1984), в фитоценозах, формирующихся на посевах многокомпонентных травосмесей, при частом скашивании надземной фитомассы обилие верховых злаков резко падает и усиливается развитие низовых злаков, особенно овсяницы красной. В нашем эксперименте, в отличие от овсяницы красной, мятлик в меньшей степени развивается как в первый, так и в четвертый годы пользования. К четвертому году исследований травостой стали чисто злаковыми, с доминированием на 70–90% ежи сборной, овсяницы красной, мятлика лугового в зависимости от исходной травосмеси и числа скашиваний.

В эксперименте у нас произошла очередная смена доминантов, когда верховые виды заменились низовыми. Так, в первом варианте тимopheевку луговую сменила овсяница красная, а в четвертом овсяницу лу-

говую – мятлик луговой. На пятый год при наличии в исходной смеси ежи сборной ее было 50–100%. Неблагоприятно сложилась ситуация для этой культуры только в третьем варианте – сначала клевера ее угнетали, а потом при принятом режиме удобрения хорошим конкурентом стала тимopheевка луговая.

Густота побегов сеяных видов зависела от биологических особенностей вида, числа компонентов травосмеси, интенсивности использования и года пользования (табл. 3). Большая плотность отмечена в малокомпонентных травостоях, как правило, к третьему году пользования она увеличилась. В первом варианте в третий год пользования густота стояния достигла при двух укосах 4103 побегов/м². Режим использования способствовал развитию конкретного вида, а это в свою очередь определяло густоту побегов. Из низовых злаков максимальная плотность отмечалась у райграса пастбищного. В первый год жизни она составила в малокомпонентном варианте 2660 побегов, а в многокомпонентном – меньше в 2,1 раза в фазу колошения. В дальнейшем число его побегов снижалось, а у ежи сборной (конкурирующего вида) возрастало. Максимальная плотность у нее была на третий год пользования независимо от числа укосов, в малокомпонентных вариантах: при двух укосах до 1000 шт/м², при трех – в два раза меньше.

Подбор компонентов в состав травосмесей должен определяться на основе ценотической активности видов. Она зависит от числа компонентов, режима использования, режима удобрений. Можно определять степень ценотической активности с помощью корреляционной матрицы. Для третьего варианта в отавах выше всех корреляционная зависимость ($r = 0,92$) между числом побегов тимopheевки луговой и овсяницы красной. Анализ матриц всех семи травосмесей показал, что высокая степень корреляционной зависимости ($r = 0,80 - 0,90$) между показателями участия вида в травостое, выраженная в % по массе и в шт/м², имеется только у ежи сборной в одном из вариантов. Положительная корреляционная зависимость между количеством побегов на 1 м² тимopheевки луговой и овсяницы красной, в пятикомпонентной смеси ($r = 0,92$) между содержанием клевера гибридного (в %) и райграса пастбищного (в шт/м²) – в 6 варианте ($r = +0,94$). Ежа сборная хорошо уживается с мятликом луговым, клевер луговой – с райграсом пастбищным.

Рассчитав корреляционно-регрессионные связи между урожаем и ботаническим составом по каждой травосмеси, можно прогнозировать урожай. Степень зависимости урожая (y) от изменения содержания клевера гибридного (x_1) и овсяницы луговой (x_2) в шестикомпонентной травосмеси максимальная и выражается линейной зависимостью

$$y = 19,9 + 0,551x_1, r = 0,669;$$
$$y = 15,1 + 0,063x_2, r = 0,784.$$

Получение более тесной связи возможно на одновидовых травостоях, где не выражено изменение ботанического состава по годам и укосам.

В плодосменном севообороте (C1) изучали взаимоотношение компонентов агрофитоценоза многолетних трав. Было установлено, что ботанический состав включал в себя клевер красный, тимopheевку луговую и сорные растения. К сорным растениям относили все виды, кроме клевера и тимopheевки луговой. Корреляционный анализ данных исследований выявил существенную тесноту связи урожайности сена многолетних трав в плодосменном севообороте (C1) от количества сорняков в начале вегетации в их посевах. Так, коэффициент корреляции зависимости урожайности сена многолетних трав 1 и 3 г.п. от численности сорняков составлял более 0,9 (табл. 4). Зависимость урожайности сена от сырой массы сорняков имеет противоречивый характер. Только в многолетних травах 1 г.п. прослеживается существенная отрицательная зависимость. Внесение удобрений снижает тесноту связи.

Следовательно, многолетние травы обладают значительным потенциалом в подавлении сорных растений. Их преимущество состоит ещё в том, что сорные растения удаляются вместе с надземной массой трав, не успев обсемениться. Большое значение имеет ботанический состав трав: чем больше клевера, тем больше воздействие их на сорные растения, что отмечается и в других исследованиях [7]. Увеличение срока пользования многолетними травами повышает уровень засорения посевов многолетними видами сорняков.

Анализ засорённости ячменя, картофеля, многолетних трав позволяет сделать заключение о том, что структура посевных площадей и разработанные на её основе севообороты позволяют формировать агрофитоценозы соответствующей структуры и поддерживать фитосанитарное состояние посевов на оптимальном для культурных растений уровне.

Таблица 4

Коэффициенты корреляции зависимости урожайности сена многолетних трав от численности (шт/м²) и сырой массы (г/м²) сорняков (среднее за 5 лет)

Культуры	Группы сорняков	По численности	По сырой массе		
		0	0	NPK	навоз
Клевер 1 г.п.	малолетние	– 0,80	– 0,73		
	многолетние	– 0,48	0,50		
	итого	– 0,80	– 0,26	0,51	0,04
Мн. травы 1 г.п.	малолетние	– 0,92	– 0,34		
	многолетние	– 0,91	– 0,92		
	итого	– 0,92	– 0,89	– 0,08	– 0,07
Мн. травы 2 г.п.	малолетние	0,33	0,14		
	многолетние	– 0,79	0,52		
	итого	– 0,50	0,54	0,02	0,40
Мн. травы 3 г.п.	малолетние	0,54	–		
	многолетние	– 0,95	0,79		
	итого	– 0,97	0,79	0,39	0,46

Заключение

Ценотическая активность видов изменяется в зависимости от состава травосмесей. На второй, третий год жизни лугового травостоя происходит снижение видового разнообразия, бобовые травы выпадают из травостоя. Выявлена положительная зависимость между содержанием клевера гибридного и райграса пастбищного ($r = 0,94$). Ежа сборная «совместима» с мятликом луговым, клевер луговой с райграсом пастбищным.

Подсев клевера лугового показал более высокую его выживаемость в травостое с преобладанием верховых злаков – 41,1%. В травостое с преобладанием овсяницы красной выживаемость бобовых составила 28,6. Отмечается увеличение массы корней в клеверо-ежовом травостое, при этом в корнях клевера содержалось сахара до 15,7%.

Корреляционный анализ данных урожайности сена многолетних трав в плодосменном севообороте и количества сорняков в начале вегетации выявил существенную тесноту связи. Так, коэффициент корреляции зависимости урожайности сена многолетних

трав 1 и 3 г.п. от численности сорняков составлял более (– 0,9). В многолетних травах 2 г.п. теснота связи снижается до средней степени. Следовательно, многолетние травы обладают значительным потенциалом в подавлении сорных растений.

Список литературы

1. Жученко А.А. Адаптивное растениеводство / А.А. Жученко. – Кишинёв, Штиница, 1990. – 432 с.
2. Козлова Л.Г. Влияние норм азотных удобрений и частоты использования на урожайность, ботанический и химический состав злаковой травосмеси // Сборник трудов. Рациональное использование и охрана лугов Урала. – Пермь, 1984. – С. 132–137.
3. Минина И.П. Луговые травосмеси. – М., 1972. – 288 с.
4. Миронова Л.С. Формирование и продуктивность культурного пастбища, созданного путем ускоренного залужения // Труды Лат. СХА. – 1978. – № 152. – С. 40–48.
5. Реакция суходольного луга на минеральные удобрения / В.Д. Дружина, В.П. Кириллова, В.И. Макаревич, Ю.А. Титов. – Л.: Наука, 1987. – 160 с.
6. Сау А., Рейдольф В., Эйларт С. Формирование ботанического состава и урожайности травостоев злаковых трав в зависимости от режима скашивания и распределения доз азота // Сборник трудов ЭСХА. Теоретические основы повышения урожайности полевых культур. – 1979. – № 123. – С. 69–80.
7. Сергеев П.А., Харьков Г.Д., Новосёлова А.С. Культура клевера на корм и семена. – М.: Колос, 1973. – 288 с.
8. Шенников А.П. Введение в геоботанику. – Л., 1964. – 446 с.

УДК 633.491:631.53.01/.559

УРОЖАЙНОСТЬ И КАЧЕСТВО КАРТОФЕЛЯ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ПРЕПОСАДОЧНОГО ПРОРАЩИВАНИЯ КЛУБНЕЙ**Уромова И.П., Копосова Н.Н.***ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный педагогический университет имени Козьмы Минина», Нижний Новгород, e-mail: uromova2012@yandex.ru*

В полевых условиях изучено влияние предпосадочного проращивания клубней на урожайность и качество сортов картофеля разных групп спелости (Ред Скарлетт – среднеранний, Луговской – среднеспелый). Установлено, что полученные результаты позволяют считать эффективным и перспективным применение данного агротехнического приема. Установлено, что предпосадочное проращивание растений в фиксированных условиях способствует увеличению их биометрических показателей, таких как высота растений, ассимиляционная поверхность листьев, масса корней и количество столонов, которые в дальнейшем обеспечивают высокую урожайность и качество картофеля, в зависимости от сорта. В частности было выявлено, что посадка пророщенным картофелем обеспечивает более раннее появление всходов, ускоряет всхожесть на 5–9 дней, однако способствует уменьшению числа стеблей в кусте на 8,9–7,4%. Наибольшая листовая поверхность была зафиксирована в вариантах с проращиванием на обоих сортах (на 18,4–7,3%), по сравнению с вариантом без проращивания. В результате этого предпосадочное проращивание увеличивает урожайность на 31,4–20,8%, содержание крахмала на 10,7–6,7% и сухого вещества на 5,1–2,3%, а также способствует снижению распространенности (на 76,1–63,0%) и развития (на 80,9–72,3%) фитофтороза на ботве картофеля, распространенности болезней на клубнях (на 77,2–58,0%), в зависимости от сорта. Была выявлена неодинаковая отзывчивость изучаемых сортов на данный агроприем. Существенное увеличение продуктивности отмечено на сорте Ред Скарлетт. Таким образом, предпосадочное проращивание в системе семеноводства является перспективным приемом, использовать который необходимо с учетом сортовых особенностей.

Ключевые слова: предпосадочное проращивание, ассимиляционная поверхность листьев, урожайность, качество, крахмал, сухое вещество

PRODUCTIVITY AND QUALITY OF POTATOES IN DEPENDENCE FROM PRELANDING CULTIVATION OF TUBERS**Uromova I.P., Kuposova N.N.***Minin Nizhny Novgorod State Pedagogical University, Nizhny Novgorod, e-mail: uromova2012@yandex.ru*

In field conditions influence of a prelanding cultivation of tubers on productivity and quality of grades of potatoes of different groups of ripeness is studied (Red Scarlett – average early, Lugovskoy – average ripe). It is established that the Received results allow to consider effective and perspective application of this agrotechnical reception. It is established that the prelanding cultivation of plants in the fixed conditions promotes increase in their biometric indicators, such as height of plants, an assimilatory surface of leaves, mass of roots and quantity of sprout, which provide further high productivity and quality of potatoes, depending on a grade. In particular it was revealed that landing by germinated potatoes provides earlier emergence of shoots, accelerates viability for 5–9 days, promotes reduction of number of stalks in a bush for 8,9–7,4%. The greatest leaf surface was defined in options with a prelanding cultivation on both grades (for 18,4–7,3%), in comparison with option without prelanding cultivation. As a result of it the prelanding cultivation increases productivity by 31,4–20,8%, content of starch for 10,7–6,7% and solid for 5,1–2,3%, and also decrease in prevalence is promoted (for 76,1–63,0%) and development (for 80,9–72,3%) by a phytophthoroz on a tops of vegetable of potatoes, prevalence of diseases on tubers (for 77,2–58,0%), depending on a grade. Unequal responsiveness of the studied grades on this agro acceptance was revealed. Essential increase in productivity is noted on Red Scarlett's grade. Thus, the prelanding cultivation in system of seed farming is perspective acceptance which needs to be used taking into account high-quality features.

Keywords: prelanding cultivation, assimilatory surface of leaves, productivity, quality, starch, solid

В системе семеноводства картофеля перспективно применение предпосадочного проращивания клубней, способствующего увеличению урожая и его качества.

По мнению некоторых ученых [1, 3, 9], при благоприятных условиях современные сорта картофеля способны обеспечивать урожай более 17 т/га, однако средняя урожайность картофеля не превышает 11–12 т/га.

Одним из важнейших факторов повышения продуктивности картофеля является сорт. Сорта, относящиеся к разным группам спелости, неодинаково реагируют на те или

иные агротехнические приемы. Поэтому без исследования агротехнических приемов невозможно достичь высокой урожайности, так как генетический потенциал сорта может раскрыться при оптимальных абиотических условиях агроэкотопа, а также при условии наличия агроприемов, соответствующих его конкретным биологическим требованиям [2, 8, 9].

Цель исследования

В общем комплексе агротехнических мероприятий, направленных на формиро-

вание высокой урожайности, большое значение имеет качество посадочного материала. Поэтому целью нашего исследования является изучение влияния предпосадочного проращивания клубней на урожайность и качество картофеля сортов разных групп спелости.

Материалы и методы исследования

Полевые опыты проводили в ООО «Элитхоз» Борского района Нижегородской области в 2012–2014 гг. Почва опытного участка дерново-подзолистая, среднесуглинистая с содержанием гумуса (по Тюрину) 1,6–2,1 %, pH солевой вытяжки 4,8–6,0.

В опыте изучали агротехнический прием – предпосадочное проращивание клубней. Объектом исследований являлись сорта разных групп спелости – Ред Скарлетт (среднеранний) и Луговской (среднепоздний), полученные методом апикальной меристемы: супер-суперэлита.

Обработка почвы включала весеннюю вспашку, нарезку гребней, внесение минеральных удобрений и боронование. Посадка производилась в четвертой декаде мая. Схема посадки 75х25 см, общая площадь делянки – 56 м², учетная – 28 м², повторность четырехкратная, расположение делянок систематическое.

Перед посадкой согласно схеме опыта проводили проращивание клубней на свету в течение одного месяца при температуре от 12 до 15 °С.

Уход за посадками картофеля включал две междурядные обработки, окучивание, обработку против фитофтороза и колорадского жука (при необходимости). Уборка проводилась методом сплошного выкапывания клубней на делянках и последующего взвешивания. В течение вегетационного периода определяли всхожесть и наступление последующих фаз развития растений, биометрические показатели, такие как количество основных стеблей, высота основного стебля, ассимиляционная поверхность листьев, масса корней и количество столонов, распространенность болезней на ботве и клубнях, урожайность, содержание сухого вещества и крахмала в клубнях картофеля.

Наблюдения и учеты проводили по методикам Государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур [6] и Всероссийского научно-исследовательского института картофельного хозяйства [7]. Урожайные данные обработаны статистическим методом по Б.А. Доспехову.

Результаты исследования и их обсуждение

Фенологические наблюдения показали, что посадка пророщенным картофелем обеспечила более раннее появление всходов, по сравнению с посадкой непророщенным картофелем. Данный прием ускорил всхожесть на 5–9 дней, в зависимости от сорта. Опережение, в среднем, составило на сорте Луговской – 5 дней, на сорте Ред Скарлетт – 9 дней. Тенденция ускорения наступления фенологических фаз в вариантах с проращиванием клубней перед посадкой сохранялась в течение всей вегетации. При прохождении фенофаз сорт Ред Скарлетт оказался более отзывчивым на проращивание клубней перед посадкой. Разница в данном случае составляла от 5 до 9 дней. Следовательно, предпосадочное проращивание позволяет активизировать рост и более качественное развитие растений картофеля. Средние биометрические показатели за годы исследований представлены в табл. 1.

Проращивание клубней перед посадкой способствует уменьшению числа стеблей в кусте на 8,9–7,4 %, в зависимости от сорта. Это происходит в результате того, что при проращивании клубней происходит более активный рост верхушечных почек, а вследствие этого тормозится рост боковых почек. В большей степени это проявилось на сорте Ред Скарлетт.

Таблица 1

Влияние предпосадочного проращивания на биометрические показатели картофеля (в среднем за 2012–2014 гг.)

Вариант	Число основных стеблей, шт/куст	Ассимиляционная поверхность листьев		Высота растений, см	Масса корней, г	Число столонов, шт/куст
		тыс.м²/га	м²/куст			
Ред Скарлетт						
Контроль	6,1	22,8	0,43	53,2	28,6	20
Проращивание	5,6	27,0	0,52	55,3	32,9	17
НСР ₀₅	0,3		0,06	0,8	1,7	
Луговской						
Контроль	5,8	21,8	0,42	53,1	26,8	17
Проращивание	5,4	23,4	0,45	54,3	28,1	15
НСР ₀₅	0,1		0,03	0,7	1,3	

Однако при незначительном уменьшении числа стеблей в кусте было отмечено увеличение средней длины основного стебля, как одного из основных показателей, характеризующих развитие растений. Наиболее высокие стебли были отмечены у сорта Ред Скарлетт – 53,2–55,3 см. У сорта Луговской длина стеблей доходила до 53,1–54,3 см, однако в большей степени произошло удлинение на сорте Ред Скарлетт (на 3,9 %).

Предпосадочное проращивание клубней способствует формированию листовой поверхности листьев. Наибольшая листовая поверхность была определена в вариантах с проращиванием на обоих сортах (на 18,4–7,3 %), по сравнению с вариантом без проращивания. Максимальная ее величина составила 27,0 тыс. м²/га на сорте Ред Скарлетт. На сорте Луговской величина этого показателя снизилась на 3,6 тыс. м²/га (или на 15,3 %), однако он был выше, чем в контроле.

Наряду с увеличением надземной массы растений было отмечено увеличение веса корней у опытных растений. Однако в варианте с проращиванием на сорте Луговской оно было несущественным. На сорте Ред Скарлетт в варианте с проращиванием вес корней увеличился на 15 %. Данная тенденция увеличения веса корней при проращивании на сорте Ред Скарлетт была отмечена во все годы проведения опыта.

Максимальная масса корней была зафиксирована у сорта Ред Скарлетт, как с проращиванием (на 17 %), так и без проращивания (на 6,7 %), по сравнению с теми же вариантами у сорта Луговской. Результаты предыдущих наших опытов [4, 10, 11, 12] свидетельствуют о том, что более мощная корневая система картофеля способствует большей продуктивности. Данные растения более активно используют питательные элементы и влагу из почвы и в меньшей степени зависят от засухи и других факторов окружающей среды.

Результаты проведенных исследований показали, что по числу образовавшихся столонов Ред Скарлетт опережал сорт Луговской. Так, количество столонов у сорта Ред Скарлетт к периоду цветения составило 20, а у сорта Луговской – 17 (в вариантах без проращивания) на один куст. Это связано с тем, что у сорта Ред Скарлетт образуется больше стеблей в кусте в варианте без проращивания, чем у сорта Луговской.

Однако в конце вегетации при проращивании количество клубней увеличилось

у сорта Ред Скарлетт, а у сорта Луговской осталось на уровне варианта без проращивания. Таким образом, следует отметить, что применяемый агротехнический прием оказал значительное влияние на биометрические показатели картофеля, т.е. на увеличение всей биомассы растений, которая способствовала ускорению процесса клубнеобразования и формированию урожая и его качества (табл. 2).

Наибольшая прибавка урожайности, в среднем за 3 года, была получена на сорте Ред Скарлетт и составила 6,4 т/га, меньшая, но также достоверная прибавка урожая была получена на сорте Луговской (4,1 т/га). Следовательно, предпосадочное проращивание клубней обеспечило увеличение урожайности исследуемых сортов, но в разной степени.

Существует мнение [5, 13, 14, 15], что важно не только получать высокие урожаи, но и необходимо способствовать сохранению его качества (крахмал и сухое вещество), так как формирование качества картофеля происходит на протяжении всей вегетации и в большей степени зависит от биологических особенностей сорта, агроклиматических условий, агроприемов и величины накопленного урожая. Более быстрое формирование вегетативной массы растения и сохранение ее до физиологического отмирания приводит к большему накоплению биохимических показателей.

В результате исследований было установлено, что сорт Ред Скарлетт содержал крахмала больше, чем сорт Луговской (на 1,6 %) в варианте без проращивания клубней перед посадкой. Предпосадочное проращивание способствовало также существенному увеличению содержания крахмала в клубнях (на 10,7–6,7 %), по сравнению с вариантами без проращивания. По содержанию сухого вещества в клубнях различий по сортам не было, однако проращивание способствовало увеличению сухого вещества на 5,1–2,3 %, соответственно, по сравнению с вариантами без проращивания. Вероятно, тенденция повышения биохимических показателей при проращивании связана с увеличением периода вегетации, которому способствует и более раннее созревание клубней.

В процессе вегетации у растений картофеля обоих сортов были зафиксированы поражения ботвы фитофторозом. Данные результатов визуальной фитопатологической оценки представлены в табл. 3.

Таблица 2

Влияние предпосадочного проращивания на урожайность и качество картофеля
(в среднем за 2012–2014 гг.)

Вариант	Урожайность, т/га	Крахмал, %	Сухое вещество, %
Ред Скарлетт			
Контроль	20,4	12,1	21,7
Проращивание	26,8	13,4	22,8
НСР ₀₅	2,3	0,09	0,1
Луговской			
Контроль	19,7	11,9	21,4
Проращивание	23,8	12,7	21,9
НСР ₀₅	2,1	0,02	0,07

Таблица 3

Влияние предпосадочного проращивания на распространенность болезней
на ботве и клубнях картофеля (в среднем за 2012–2014 гг.)

Вариант	Ботва, %		Клубни, %			
	распространенность	развитие	фитофтороз	парша обыкновенная	мокрая гниль	сухая гниль
Ред Скарлетт						
Контроль	11,1	7,6	4,1	3,3	0,4	0,1
Проращивание	6,3	4,2	2,3	2,1	0	0
НСР ₀₅	1,1	0,9	0,3	0,7		
Луговской						
Контроль	11,9	8,1	4,5	3,0	0,4	0
Проращивание	7,3	4,7	2,6	2,4	0	0
НСР ₀₅	1,4	1,2	0,9	1,1		

В связи с тем, что на посадку были использованы оздоровленные клубни суперсуперэлиты обоих сортов, полученные методом апикальной меристемы, бактериальных и вирусных болезней обнаружено в данном опыте не было.

В опыте было установлено, что распространенность фитофтороза была наибольшей в вариантах без проращивания (11,1–11,9%), минимальной – в вариантах с проращиванием (6,3–7,3%), в зависимости от сорта. Таким образом, произошло снижение распространенности болезни на 76,1–63,0%, по сравнению с вариантами без проращивания, в зависимости от сорта. Наряду с этим, произошло и снижение степени развития болезни на 80,9–72,3%, по сравнению с вариантами без проращивания. Следовательно, предпосадочное проращивание способствовало снижению распространенности и развитию фитофтороза, и в большей степени на сорте Ред Скарлетт. На основании этих данных можно предположить, что распространенность и развитие фитофтороза на ботве зависит от применения агротехниче-

ского приема, а в частности предпосадочного проращивания, и климатических условий. Климатические условия незначительно изменяли числовые значения показателей болезни, однако в целом тенденция снижения распространенности и развития фитофтороза от применяемого агроприема сохранялась.

При проведении клубневого анализа, через месяц после уборки урожая, было установлено, что наибольшая распространенность болезней была определена на вариантах без проращивания и составила 7,8–7,9%, из них фитофтороз – 4,1–4,5%, в зависимости от сорта. На вариантах с предпосадочным проращиванием произошло снижение распространенности болезней на клубнях в 1,8–1,7 раза, по сравнению с вариантами без проращивания, в зависимости от сорта. Минимальная распространенность болезней на клубнях была отмечена на сорте Ред Скарлетт. Парша обыкновенная к образованию гнилей не приводит, она способствует снижению товарных качеств. Мокрая и сухая гнили проявились незначительно и только в контрольных вариантах.

Выводы

Изучая эффективность предпосадочно-го проращивания клубней, можно сделать вывод о неодинаковой отзывчивости изучаемых сортов на данный агроприем. Проращивание клубней перед посадкой ускоряет всхожесть, уменьшает число стеблей в кусте (на 8,8–7,4%), однако увеличивает ассимиляционную поверхность листьев (на 18,4–7,3%), вес корней (на 15,0–4,8%), урожайность (на 31,4–20,8%), содержание крахмала (на 10,7–6,7%) и сухого вещества (на 5,1–2,3%), а также снижает распространенность (на 76,1–63,0%) и развитие (80,9–72,3%) фитофтороза на ботве и распространенность болезней (на 77,2–58,0%) на клубнях, в зависимости от сорта. Среди исследуемых сортов существенное увеличение продуктивности, по сравнению с контролем, отмечено на сорте Ред Скарлетт. Таким образом, предпосадочное проращивание клубней служит эффективным приемом, ускоряющим клубнеобразование и обеспечивающим повышение урожайности. Поэтому изучение агро-технических приемов в настоящий момент имеет актуальный характер, так как каждый агроприем необходимо исследовать по отношению к конкретному сорту.

Список литературы

1. Анисимов Б.В. Сортообновление – важнейший фактор повышения эффективности репродукционного семеноводства картофеля в регионах РФ / Б.В. Анисимов, С.М. Юрлова // Картофелеводство в регионах России: Актуальные проблемы науки и практики. – М.: ВНИИКС РЦСК. – 2006. – С. 18.
2. Карманов С.Н. Урожай и качество картофеля / С.Н. Карманов, В.П. Кириухин, А.В. Коршунов. – М.: Рос-сельхозиздат, 1988. – С. 117–123.
3. Козлов А.В. Роль и значение кремния и кремний-содержащих веществ в агроэкосистемах / А.В. Козлов, А.Х. Куликова, Е.А. Яшин // Вестник Мининского университета. – 2015. – № 2 (10). – С. 23.
4. Козлов А.В. Физиологическое значение кремния в онтогенезе культурных растений и при их защите от фитопатогенов / А.В. Козлов, И.П. Уромова, Е.А. Фролов, К.Ю. Мозолева // Международный студенческий научный вестник. – 2015. – № 1. – С. 39.
5. Козлов А.В. Экологическая оценка влияния диа-томита на фитоценоз и состояние почвенно-биотического комплекса светло-серой лесной легкосуглинистой почвы: автореф. дисс. канд. биол. наук. – Москва, 2013. – 24 с.
6. Методика Государственного сортоиспытания сель-скохозяйственных культур. – М., 1985. – Вып. 1. – 270 с.
7. Методика исследований по культуре картофеля / Под ред. Н.С. Бацанова и др. – М.: НИИКС, 1967. – 256 с.
8. Писарев Б.А. Сортовая агротехника картофеля. – М.: Агропромиздат, 1990. – С. 5-9.
9. Садовникова Е.Н. Продуктивность и качество сортов картофеля в зависимости от агротехнических приемов воз-делывания в условиях Северо-Западного региона России: автореф. дисс. канд. с.-х. наук. – Москва, 2005. – 24 с.
10. Уромова И.П. Биологизированная система защиты картофеля от болезней / И.П. Уромова // Агрохимический вестник. – 2008. – № 6. – С. 38–40.
11. Уромова И.П. Влияние брассиностероидов на про-дуктивность микрорастений картофеля в защищенном грун-те / И.П. Уромова, Т.В. Грибановская // Вестник Мининского университета. – 2015. – № 2 (10). – С. 24.
12. Уромова И.П. Перспективные сорта для Нижего-родской области / И.П. Уромова // Картофель и овощи. – 2008. – № 2. – С. 6.
13. Уромова И.П. Урожай и качество картофеля при ис-пользовании биопрепаратов / И.П. Уромова // Плодородие. – 2009. – № 1. – С. 33.
14. Чекарчев П.А. Влияние способов подготовки клуб-ней к посадке на урожайность и показатели качества карто-феля / П.А. Чекарчев // Достижения науки и техники АПК. – 2008. – № 1. – С. 31.
15. Uromova I.P. Brassinosteroids in breeding tech- nologies healthcare potato / I.P. Uromova, O.V. Shtyrina, N.N. Koposova, A.V. Kozlov, D.A. Shtyrin // American Journal of Agricultural and Biological Science. – 2014. – Т. 9. – № 3. – Р. 445–449.

УДК 632.931.1:631.67

ИСТОЧНИКИ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ТЯЖЁЛЫМИ МЕТАЛЛАМИ ТЫКВЫ В УСЛОВИЯХ ФОНОВОЙ СРЕДЫ (ПРИАЗОВЬЕ)

Шумакова Г.Е.

*Новочеркасский инженерно-мелиоративный институт имени А.К. Кортунова
ФГБОУ ВО Донской ГАУ», Новочеркасск, e-mail: mr.chister2@mail.ru*

В условиях возрастающих антропогенных нагрузок на агроландшафты большое значение приобретает анализ источников загрязнения агрокультур микроэлементами и в том числе тяжёлыми металлами (ТМ). В качестве источников загрязнения рассматриваются подвижные формы водорастворимых соединений почвы: поливная вода и аэрозоли воздуха [2]. Предыдущими экспериментами установлено, что уровень накопления ТМ в вегетативных органах агрокультур выше, чем в репродуктивных, и зависит от биологических особенностей, физиологической роли элемента, доступности его для растений, содержания в почве. Настоящие исследования посвящены изучению содержания тяжёлых металлов Pb, Cd, Zn, Cu, Ni, Co, Fe в тыкве «Перехватка 69», вида *C. moschata*. Ряды подвижности тяжёлых металлов при переходе их от водорастворимых соединений почвы в плоды тыквы испытывают инверсию, что и определяет минимальное поступление ТМ в тыкву. Поэтому плоды тыквы, выращенные в условиях фоновой среды (вдали от автодороги и промышленных предприятий), имеют содержание тяжёлых металлов ниже кларка растений, то есть экологически чистые.

Ключевые слова: тыква, тяжёлые металлы, источники загрязнения, инверсия подвижности металлов, экспериментальная площадка, кларк

SOURCES OF HEAVY METALS' POLLUTION OF PUMPKIN IN CONDITION OF PRIAZOVIA

Shumakova G.E.

*Novocherkassk Engineering and Land Reclamation Institute of Don State Agrarian University,
Novocherkassk Agrarian University, Novocherkassk, e-mail: mr.chister2@mail.ru*

Under conditions of increasing anthropogenic pressure on agricultural landscapes, great importance is the analysis of the sources of pollution agricultures microelements, including heavy metals (TM). The mobile forms of water-soluble compounds in the soil, irrigation water and air sprays are considered as sources of pollution [2]. Previous experiments have established that the level of TM in vegetative storage organs agricultures higher than in reproduction and depends on the biological characteristics, the physiological role of the element of its availability for the plants in the soil. The present research focuses on the study of the content of heavy metals Pb, Cd, Zn, Cu, Ni, Co, Fe in a pumpkin «Perchvatka 69» type of *C. moschata*. The ranks of the mobility of heavy metals in the transition from their water-soluble compounds in soil pumpkin fruits inversion test, which determines the minimum TM flow into a pumpkin. Therefore, the fruits of pumpkin grown in a background environment (away from the highway and industrial enterprises) have a content of heavy metals below the clark plants, that is environmentally friendly.

Keywords: calabascha, heavy metal, pollution sources, inversion of heavy metal mobility, experimental platform, clark

Для проверки гипотезы о возможности прямого расчёта концентраций ТМ в составе ядер семян (не подвергая их анализу) на экспериментальной площадке Дача 1 в 2015 году выращена тыква Перехватка 69, вида *C. moschata*. Полив осуществлялся водой из артезианской скважины глубиной 15 м, количество поливов не учитывалось, удобрения, мелиоранты и пестициды не применялись. Отбор плодов тыквы осуществлялся согласно методике [5] в конце вегетационного периода. Плод тыквы разделили на составные части: кожура, мякоть, оболочка семян, ядра семян. Испытания образцов проводили в лаборатории ФГБУ ГЦАС «Ростовский», атомно-абсорбционным методом на спектрофотометре Спектр-5.

Актуальность проблемы состоит в получении экологически чистой продукции [4].

Научная новизна заключается в том, что в процессе поглощения растениями тяжёлых металлов из водорастворимых соединений почвы в вышеперечисленных частях плода тыквы составлены ряды подвижности элементов, которые в структуре ряда приобретают различные свойства подвижности [6].

Несмотря на то, что в составе разных культур уровень накопления элементов отличается, из аналитических данных следует, что методика расчёта концентраций в ядрах семян на основе вычета концентраций в валовом составе семян минус мякоть плода подтверждается близостью содержаний элементов в ядрах семян и мякоти плода в рамках чувствительности метода анализа. Это означает, во-первых, что концентрации элементов (в условиях отсутствия внешнего

источника загрязнения) в плодах и ядрах семян должны быть близки вне зависимости от вида выращиваемой культуры (табл. 1). Во-вторых, это также может означать, что в процессе вегетации растений в каждом последующем поколении зависимость концентраций в ядрах семян (именно там заложена генетическая информация) относится только к способности биологического накопления или поглощения элементов, участвующих во всём биологическом цикле (табл. 2) [3].

Ряды миграции тяжёлых металлов по принципу расчёта рядов миграции при выращивании томатов [8] выглядят следующим образом:

1. Кожура тыквы: мякоть тыквы:

Mn(0,02)–Fe(0,36)–Cu(0,65)–Ni(0,95)–Zn(1,08)–**Co(1,10)–Pb(1,19)–Cd(1,78)**

2. Кожура тыквы: семена тыквы:

Fe – Cu – Ni – Zn – Mn – **Co – Pb – Cd**

3. Кожура тыквы: оболочка семян:

Fe – Cu – Zn – Ni – Mn – **Co – Pb – Cd**

4. Кожура тыквы: ядро семян:

Fe – Cu – Ni – Zn – Mn – **Co – Pb – Cd**

То есть самые токсичные металлы Co, Pb, Cd сбрасываются в состав кожуры, а в составе семян остаются преимущественно биофильные элементы накопления и захвата. При этом полностью сохраняется структура рядов подвижности элементов в семенах, кожуре семян, ядрах семян. Как бы мы не срезали кожуру тыквы, в ней всегда содержится часть мякоти тыквы. Поэтому разница между составом мякоти и кожуры тыквы невелика. Тем не менее в составе кожуры тыквы концентрации Cd, Pb, Zn, Co выше при почти нулевых отличиях концентраций железа, меди, кобальта. Повышенные концентрации в мякоти меди и марганца относятся к группе элементов среднего биологического захвата в процессе вегетационного цикла тыквы. Так как по А.И. Перельману [9] степень биологического поглощения элементов оценивается на уровне от 10 до n единиц для Zn (элемент сильного биологического накопления), ассоциации элементов Mn, Fe, Ni, Cu, Co, Pb от n до $0,1n$ единиц (элементы среднего биологического захвата), а Cd – от 0,01 до 0,001 единиц (элемент слабого и очень слабого биологического захвата) (табл. 4).

В ядрах семян накапливается **кадмий и свинец. То есть эти элементы хоть в малых количествах, но участвуют в биохимическом процессе обмена веществ на клеточном уровне.** Но доля их

в ядрах семян в 2–2,5 раза меньше, чем в мякоти тыквы.

Превышение концентраций в ядрах семян характерно для биофильных элементов цинка и меди. Никель – является элементом захвата и также участвует в обменных процессах на клеточном уровне (табл. 3).

При этом более инертными оказались в ряду подвижности элементы, которые тяготеют к Fe. Ряды подвижности элементов в составных частях тыквы Перехватка 69 почти полностью совпадают с распределением элементов в плодах томатов, выращенных в 2014 г. на экспериментальном участке Дача 1 при тех же почвенных условиях, при поливе водой из артезианской скважины [9].

Ряды подвижности составлены в рамках отношения: подвижные водорастворимые соединения почвы: ядра семян; подвижные водорастворимые соединения почвы: оболочка семян; подвижные водорастворимые соединения почвы: мякоть тыквы; подвижные водорастворимые соединения почвы: кожура тыквы; подвижные водорастворимые соединения почвы: семена тыквы.

Ранжированные ряды от подвижных водорастворимых соединений почвы к инертным элементам в тыкве:

1. Подвижные: ядра семян: **Mn – Co – Pb – Zn – Cd – Ni – Cu – Fe**

2. Подвижные: оболочка семян: **Mn – Co – Pb – Zn – Ni – Cd – Cu – Fe**

3. Подвижные: мякоть тыквы: **Mn – Pb – Co – Zn – Ni – Cd – Cu – Fe**

4. Подвижные: кожура тыквы **Mn – Co – Pb – Zn – Ni – Cd – Cu – Fe**

5. Подвижные: семена **Mn – Pb – Co – Zn – Ni – Cd – Cu – Fe**

Предыдущими исследованиями был установлен миграционный ряд подвижности тяжёлых металлов на этой же площадке в одинаковых условиях мелиорирования. Ряд оказался аналогичным выше приведённым.

6. Подвижные: к плодам томатов:

Mn – Co – Pb – Zn – Ni – Cd – Cu – Fe

Таким образом, ряды миграции тяжёлых металлов в тыкве и томатах соответствуют одному и тому же закону миграции элементов на площадке Дача 1 [7]. Подвижность тяжёлых металлов **Co – Pb – Zn – Cd – Ni – Cu** определяется промежуточным их положением между наиболее подвижным **Mn** и инертным **Fe** [1].

Ни в одном из рядов подвижности *Zn* не меняет своего положения, являясь элементом сильного биологического накопления (см. табл. 4) во всех частях тыквы и томатов.

Pb и Co, относящиеся к элементам среднего биологического поглощения и элементам биологического захвата, являются наиболее подвижными из всех тяжёлых металлов, что явно указывает на то, что их источниками, как и Mn, являются водорастворимые соединения почвы. К тому же площадка Дача 1 расположена вне влияния автодорог и техногенного загрязнения.

Весьма показательно, что в ядрах семян наиболее токсичный Cd смещается в область Zn с сильным биологическим поглощением. А наличие незначительных концентраций Cd в ядрах семян указывает на то, что он участвует в биохимических процессах формирования семян плода и не может относиться к «запрещённым» элементам биологического обмена.

Таблица 1

Образцы тыквы Дача 1 для сравнительного анализа миграционных рядов, установленных в томатах [8]

Образцы	Элементы							
	Pb	Cd	Zn	Cu	Mn	Ni	Co	Fe
Кожица тыквы (предельные уровни накопления биофильных элементов и элементов захвата)								
	0,49	0,11	9,2	3,6	17	0,59	0,084	26,0
Мякоть тыквы (предельные уровни накопления биофильных элементов и элементов захвата)								
	0,41	0,062	8,5	5,5	26	0,62	0,076	72
Ядра семян (предельные уровни накопления биофильных элементов и элементов захвата):								
	0,23	0,024	9,4	8,1	15,5	1,1	0,041	67,6
Оболочка семян (предельные уровни накопления биофильных элементов и элементов захвата)								
	0,20	0,037	9,6	9	15,1	0,54	0,046	72,3
Семена	0,43	0,061	19	17,1	30,6	1,64	0,087	139,9
Кожица тыквы – мякоть	0,08	0,048	0,7	– 1,9	– 9	– 0,03	0,008	– 0,46
Превышение, раз	1,19	1,77	1,08	1,53	1,53	1,05	1,1	2,77
Среднее превышение кожица, раз: 1,28 Среднее превышение мякоть, раз: 1,72 Всего среднее превышение, раз: 1,5								
Семена – мякоть тыквы	0,02	0	10,5	11,6	4,6	1,02	0,045	67,9
Превышение, раз	1,05	1,0	2,23	3,11	1,18	2,64	1,14	1,90
Среднее превышение семян: мякоть тыквы: 1,78								
Мякоть – ядра семян	0,18	0,038	– 0,9	– 2,6	1,05	– 0,48	0,035	4,4
Превышение, раз	1,78	2,58	1,11	1,47	1,68	1,77	1,85	1,06
Среднее превышение мякоть, раз: 1,79 Среднее превышение ядра, раз: 1,45 Всего среднее превышение, раз: 1,62								
Оболочка семян: ядра семян	1,15	1,54	1,02	1,11	1,03	2,04	1,12	1,07
Среднее превышение оболочка семян, раз: 1,17 Среднее превышение ядра семян, раз: 1,4 Всего среднее превышение, раз: 1,28								
Общее среднее для всех превышений, раз: $1,55 = \sqrt{2,4}$ Формула перехода от одного уровня накопления к другому с накоплением биофильных или захватом тяжёлых металлов в процессе загрязнения в основном за счёт подвижных водорастворимых соединений: $x = \sqrt{2,4} \cdot t$ Ошибка: 0,1 = 6,5%. Находится в пределах ошибки (чувствительности) анализа								

Таблица 2

Относительные значения величин подвижности элементов в образцах тыквы

№ п/п	Pb	Cd	Zn	Cu	Mn	Ni	Co	Fe
1	1,19	1,78	1,08	0,65	0,02	0,95	1,10	0,36
2	1,14	1,64	0,48	0,21	0,55	0,36	0,96	0,18
3	2,45	2,97	0,96	0,40	1,13	1,09	1,83	0,36
4	2,13	4,58	0,98	0,44	1,13	0,54	2,05	0,38

Таблица 3

Концентрации тяжёлых металлов в плодах тыквы относительно их подвижных водорастворимых соединений в почве (мг/кг)

Образцы	Элементы							
	Pb	Cd	Zn	Cu	Mn	Ni	Co	Fe
Подвижные элементы в почве	1,255	0,0165	17,33	0,412	178,76	0,58	0,228	1,087
Ядра семян тыквы	0,23	0,024	9,4	8,1	15,5	1,1	0,041	67,6
Оболочка семян тыквы	0,20	0,037	9,6	9	15,1	0,54	0,046	72,3
Семена тыквы	0,43	0,061	19	17,1	30,6	1,64	0,087	139,9
Мякоть тыквы	0,41	0,062	8,5	5,5	26	0,62	0,076	72
Кожура тыквы	0,49	0,11	9,2	3,6	17	0,59	0,084	26,0
Подвижные ядра семян тыквы	5,45	0,69	1,84	0,051	11,53	0,53	5,5	0,016
Подвижные: оболочка семян тыквы	6,275	0,44	1,80	0,04	11,84	1,07	4,95	0,015
Подвижные: семена тыквы	2,92	0,27	0,91	0,024	5,84	0,35	2,62	0,007
Подвижные: мякоть тыквы	3,06	0,27	2,04	0,075	6,87	0,93	3,0	0,015
Подвижные: кожура тыквы	2,56	0,15	1,88	0,11	10,51	0,98	2,71	0,042

Таблица 4

Ряды биологического поглощения элементов по А.И. Перельману [6]

Характер поглощения	Степень поглощения	Коэффициент биологического поглощения				
		100n	10n	n	0,1n	0,0n–0,00n
Элементы биологического накопления	энергичного	P, S, Cl, Br, I				
	сильного		Ca, Na, K, Mg, Sr, Zn, B, Se			
Элементы биологического захвата	среднего			Mn, F, Ba, Ni, Cu, Ga, Co, Pb, Sn, As, Mo, Hg, Ag, Ra		
	слабого и очень слабого				Si, Al, Fe, Ti, Zr, Rb, V, Cr, Li, Y, Nb, Th, Sc, Be, Cs, Ta, U, W, Sb, Cd	

Ряды подвижности 2 и 4, 3 и 5 идентичны. В обоих случаях ряды миграции очень чувствительны к тому, в какой части культуры тыквы происходит избирательное накопление тяжёлых металлов относительно Mn и Fe.

Таким образом, в рамках полученного исследования основным источником таких тяжёлых металлов является почвенная влага, экстрагирующая под влиянием органических кислот металлы из почвы. Источником Cd и Fe может являться и поливная вода наряду с экстракцией их из почвы органическими кислотами. При этом самыми подвижными являются тяжёлые металлы Pb – Co – Zn, которые вместе с почвенной влагой мигрируют в состав плодов, семян, оболочку семян. Но большая их часть сбрасывается в состав кожуры тыквы и оболочку семян (ряд 2, 3).

В целом наличие тяжёлых металлов в составе плодов, семян тыквы и томатов ещё не означает, что тяжёлые металлы являются источником антропогенного загрязнения. Pb – Co – Zn – Ni могут экстрагироваться из минеральной составляющей почвы (см. табл. 3) под влиянием органических кислот.

Выводы

1. В составе ядрышек семян овощных культур могут накапливаться как элементы биологического поглощения, так и элементы захвата.

2. Биологическое поглощение и захват элементов в основном связан с составом поливной воды и водорастворимыми соединениями почвы.

3. Овощные культуры в процессе вегетации могут накапливать тяжёлые металлы

и сбрасывать их различные составные части растений в направлении от ядрышек к оболочке семян, от мякоти плодов к их кожуре по правилу $x = \sqrt{2,4 \cdot t}$, г/т.

Список литературы

1. Войткевич Г.В. Справочник по геохимии. – М.: Недра, 1990. – 480 с.
2. Ивонин В.М. Защита агроландшафтов от загрязнения тяжёлыми металлами // Докл. ВАСХНИЛ. – 1990. – № 5. – С. 42–45.
3. Кокин А.В. Региональная геохимия. – М.: Наука, 1999. – 432 с.
4. Кокин А.В. Агроэкобезопасность лесомелиорированных и открытых агроэкосистем Юга России // Вестник МАНЭБ. – СПб., 2015. – Т. 20, № 1. – С. 116–118.
5. Минеев В.Г. Практикум по агрохимии. – М.: Изд-во МГУ, 1989. – 304 с.
6. Перельман А.И. Геохимия. – М.: Высшая школа, 1979. – 430 с.
7. Шумакова Г.Е. Влияние запаса почвенной влаги на миграционные способности водно-растворимых соединений металлов в почве и агропродукции под влиянием загрязнения автотранспортной магистрали // Известия нижеволжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. – Волгоград: Волгоград ГАУ. – 2014. – № 4(36). – С. 84–94.
8. Шумакова Г.Е. Инверсия рядов подвижности микроэлементов водорастворимых соединений в почве при орошении томатов // Вестник АПК Ставрополя. – 2015. – № 2. – С. 166–170.
9. Шумакова Г.Е. Оценка источников загрязнения тяжёлыми металлами томатов в условиях фоновой среды и придорожного ландшафта Приазовья // Научный журнал РосНИИПМ. – 2015 – № 3(19). – С. 94–112.

УДК 711.424.7:911.52(470.325)

ПОСТСЕЛИТЕЛЬНЫЕ ГЕОСИСТЕМЫ БЕЛГОРОДСКОЙ ОБЛАСТИ: ФИЗИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА И ПЕРСПЕКТИВЫ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ РЕАБИЛИТАЦИИ

Артищев В.Е., Голёусов П.В.*ФГАОУ ВО «Белгородский государственный национальный исследовательский университет»,
Белгород, e-mail: wladimirart@yandex.ru, Goleusov@bsu.edu.ru*

В статье отражены результаты исследований ренатурационных процессов на постселитебных землях Белгородской области в 2013–2015 гг. Заброшенные населенные пункты Белгородской области после натурных обследований соотнесены с природными комплексами докультурного периода, что позволяет определить перспективные направления экологической реабилитации данных территорий. Идентифицировано и картографировано более 290 заброшенных и исчезающих сельских населённых пунктов. Общая площадь постселитебных земель оценена в 19234 га, 92 % их расположено в природных комплексах речных долин и только 8 % – на водораздельных участках. В настоящее время основная часть этих земель ренатурировала преимущественно в ходе сукцессий древесной растительности и формирует хорошие рефугиумы для дикой фауны. Проведённый анализ структурно-функциональных особенностей исследуемых участков необходим при планировании дальнейшего их хозяйственного или природоохранного использования.

Ключевые слова: заброшенные населённые пункты, постселитебные земли, экологическая ренатурация, восстановительные сукцессии, рефугиумы, экологическая реабилитация

ABANDONED SETTLEMENTS OF BELGOROD REGION: GEOGRAPHICAL CHARACTERISTICS AND PERSPECTIVES OF ENVIRONMENTAL REHABILITATION

Artischev V.E., Goleusov P.V.*Belgorod National Research University, e-mail: wladimirart@yandex.ru, Goleusov@bsu.edu.ru*

The article presents the researches results of renaturation processes on abandoned lands of Belgorod region in 2013–2015. Abandoned settlements of Belgorod Region after field surveys correlated with natural complexes of precultural period that allows to identify promising areas of ecological rehabilitation of these territories. More than 290 abandoned and endangered rural settlements identified and mapped. The total area of abandoned settlement lands estimated at 19234 hectares, 92 % of them are located in natural complexes of river valleys and only 8 % – on the watershed areas. Currently, most of these lands were recovered principally in the succession of forest vegetation and are good wildlife refugia. The analysis of structural and functional characteristics of the test sites is required when planning their further economic or environmental use.

Keywords: abandoned settlements, abandoned lands, ecological renaturation, restoration succession, refugia, environmental rehabilitation

Белгородская область является старо-освоенным и одним из самых густонаселённых регионов России. Климатогеографические условия области обуславливают интенсивное ведение сельского хозяйства. Так, распахка отдельных районов области превышает 80 %. В таких условиях природные экосистемы становятся фрагментированными, что снижает их устойчивость [7]. Согласно [3] в настоящее время в Черноземье существует острая проблема сохранения зональных ландшафтов, наблюдается заметное упрощение ландшафтной структуры, преимущественно в результате сельскохозяйственной деятельности, что приводит к нарушению ландшафтно-экологического равновесия, ослаблению устойчивости природно-территориальных комплексов и снижению их средовоспроизводящих функций. Этому, прежде всего, способствовали высо-

кая степень распахки земель, низкая степень облесённости территории, освоение пойменных ландшафтов, нерегулируемый выпас скота, несоблюдение норм геоэкологической допустимости упрощения ландшафтов в процессе создания мелиоративных систем и др.

Материалы и методы исследования

В Белгородской области на протяжении последних десятилетий активно высвобождаются земли селитебного использования вследствие стремительного сокращения численности сельского населения. По данным статистики, в области с 1960 по 2010 гг. численность сельского населения сократилась почти в 2 раза: с 990 тыс. до 510 тыс. человек, в то время как численность городского населения выросла в 4 раза (с 240 тыс. до 1 млн человек, соответственно). Глубокие территориальные различия в демографическом, социально-экономическом, урбанистическом развитии области наложили свой отпечаток на сельское расселение. Процессы обезлюдения российского села были заложены реконструкцией сельского расселе-

ния через укрупнение, т.е. сселение жителей мелких и мельчайших поселений в ближайшие крупные, ликвидация хуторской системы расселения, резкое сокращение общей численности населенных пунктов в 1970-х гг. [8]. Коренным образом меняется тип использования агроландшафтов, а это открывает возможности для повышения устойчивости землепользования в рамках концепции поляризации географической среды [5].

По нашим оценкам [1], постселитебные земли могут быть использованы в качестве территорий экологической компенсации, на которых протекают процессы активного воспроизводства биоресурсов. Концепция построения экологического каркаса подразумевает наличие компенсационных территорий, которые связаны между собой системой зеленых коридоров, в совокупности образующих экологическую сеть. Одной из преуспевающих стран в создании экологических сетей являются США. Наиболее известной работой по этому направлению является работа Р. Носса «Проект «Дикие земли». Стратегия сохранения дикой природы» [6]. Для рациональной организации землепользования на территории заброшенных сельских населенных пунктов необходимо исследовать структурно-функциональные особенности этих земель.

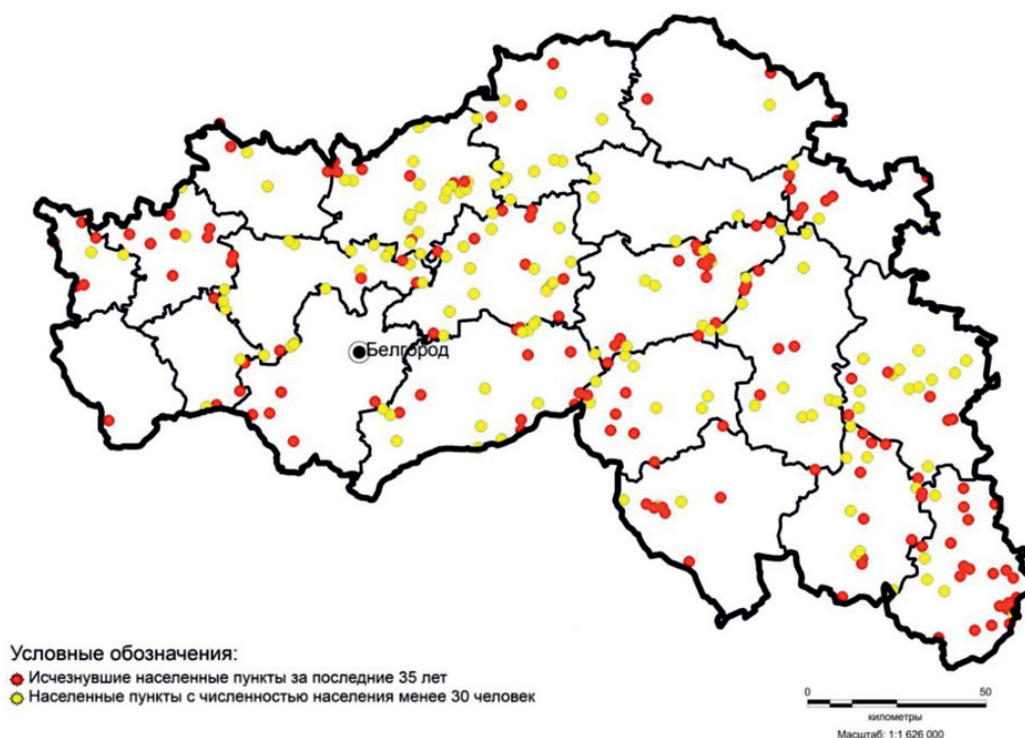
Нами проведена работа по идентификации и картографированию заброшенных и исчезающих населенных пунктов Белгородской области, с использованием данных статистики, картографических материалов и спутниковых снимков высокого разрешения, имеющихся в картографических сервисах Ян-

декса [9]. Работы по картографированию и определению площади, занятой бывшим населенным пунктом, проводили с использованием программы MapInfo Professional.

Результаты исследования и их обсуждение

Как показано на рисунке, наибольшая плотность исчезнувших населенных пунктов характерна для юго-западной части Белгородской области, однако в перспективе ожидается выравнивание распределения таких объектов по всей территории региона за счет населенных пунктов с численностью населения менее 30 человек. Объясняется это тем, что на протяжении более чем полувекового развития области в восточных, юго-восточных районах (периферия) по разным причинам сформировались факторы-ограничители демографического и социального развития.

В ходе полевых исследований была подтверждена правильность дистанционного определения зон селитебного использования населенных пунктов (строения, огороды, пастбища и сенокосы). Площадь постселитебных земель Белгородской области представлена в табл. 1.



Расположение заброшенных населенных пунктов в Белгородской области

Таблица 1

Площадь постселитебных земель Белгородской области
в разрезе административных районов

№ п/п	Район	Количество заброшенных населенных пунктов	Площадь постселитебных земель на 2014 г., га
1	Алексеевский	21	1832
2	Белгородский	7	440
3	Борисовский	5	409
4	Валуйский	10	494
5	Вейделевский	16	2115
6	Волоконовский	13	1010
7	Грайворонский	1	63
8	Губкинский	12	741
9	Ивнянский	5	120
10	Корочанский	25	756
11	Красненский	11	524
12	Красногвардейский	18	1163
13	Краснояржский	7	520
14	Новооскольский	21	1293
15	Прохоровский	31	1684
16	Ракитянский	10	468
17	Ровеньский	28	3085
18	Старооскольский	4	156
19	Чернянский	4	226
20	Шебекинский	24	967
21	Яковлевский	18	1168
	Всего:	291	19234

В постселитебных геосистемах экологическая ренатурация включает саморазрушение построек, зарастание огородов, в котором участвуют «ремонтные» виды, заполняющие регенерационные экологические ниши. Дальнейшее направление сукцессии определяется климатогеографическими условиями среды и может быть значительно ускорено при наличии слабоизменённых сообществ фоновых участков. Происходит также одичание искусственных группировок культурных видов садовых деревьев и кустарников, с их естественным распространением и постепенным замещением на дикие виды. Демутационные сукцессии на сенокосах и пастбищах проявляются в последовательной смене травянистых ассоциаций, но часто – с постепенным вселением древесных видов. Почвы на постселитебных землях имеют хорошо выраженные морфологические признаки расширенного воспроизводства (т.е. восстановления морфологического строения). В них чётко диагностируются новообразованные гумусовые горизонты, происходит восстановление структуры, в котором главную роль играют дождевые черви. На насыпях подвалов и от-

валах фундамента наблюдается рецентное почвообразование. Скорость формирования гумусовых горизонтов новообразованных почв достигает 4–6 мм/год. При этом происходит самоочищение новообразованных почв от накопленных в культурном слое поллютантов.

Бывшие населенные пункты быстро восстанавливают свою пригодность для заселения их дикой фауной, образуя зоны рефугиумов. Здесь уже отсутствует фактор беспокойства со стороны человека, а оставшиеся строения служат дополнительными местами для поисков пищи. Брошенные фруктовые сады, гниющие остатки деревянных построек, а также зарастающие молодой порослью территории являются отличными кормовыми угодьями и служат хорошим укрытием для птиц и млекопитающих. Благодаря мозаичности территории здесь встречаются и лесные, и полевые виды животных, а показателем сформированности трофических цепей является значительное присутствие хищников (лисица обыкновенная (*Vulpes vulpes*), каменная куница (*Martes foina*), лесная куница (*Martes martes*), обыкновенный канюк (*Buteo buteo*)).

Таблица 2

Распределение постселитебных земель по природным комплексам докультуртурного периода

Природный комплекс	Количество заброшенных населенных пунктов	Площадь постселитебных земель, га	% от общей площади природного комплекса
Лесостепная зона			
Нагорные и водораздельные дубравы на серых лесных почвах	16	701	0,17
Водораздельные дубравы на деградирующих черноземах	15	955	0,5
Водораздельные и байрачные дубравы на деградирующих черноземах и лугово-разнотравные степи на черноземах выщелоченных и типичных	97	5518	0,61
Сосновые и сосново-широколиственные леса на серых лесных почвах и деградирующих черноземах в сочетании с ольшаниками на перегнойно-глеевых почвах и разнотравно-злаковыми степями на черноземах	3	209	0,32
Ковыльно-разнотравные степи на черноземах выщелоченных и типичных с редкими байрачными лесами на деградирующих черноземах и серых лесных почвах	92	4859	0,73
Полоса перехода между лесостепью и степью			
Байрачные дубравы на деградирующих черноземах и разнотравно-ковыльные степи на черноземах выщелоченных, типичных и обыкновенных	3	344	1
Разнотравно-ковыльные степи на черноземах выщелоченных, типичных и обыкновенных с редкими байрачными лесами и березняками на деградирующих черноземах	30	2699	1,13
Степная зона			
Разнотравно-типчаково-ковыльные степи на черноземах обыкновенных	34	4065	2,23

Анализ космических снимков и натурные наблюдения показали, что территории бывших населённых пунктов зарастают преимущественно древесно-кустарниковой растительностью, независимо от некоторого различия зональных условий. Этому способствует простимулированное человеком распространение культурных садовых и декоративных видов. В составе сообществ преобладают плодовые деревья и ягодные кустарники (*Malus domestica*, *Pyrus domestica* и *P. communis*, *Prunus domestica* и *P. Cerasus*, *Rubus idaeus*), из диких видов, использованных в озеленении, – *Acer negundo*, *Betula pendula*. Антропогенные сукцессии постепенно включают местные древесные и кустарниковые виды – *Acer campestre*, *A. tataricum*, *A. platanoides*, *Prunus spinosa*, *Crataegus sanguinea*.

С целью оценки направленности процессов и природосообразного планирования эколого-реабилитационных мероприя-

тий нами проведён анализ приуроченности постселитебных геосистем к историческим (зональным) типам ландшафтов Белгородской области [2]. Из табл. 2 следует, что наибольший процент постселитебных земель от общей площади природного комплекса находится в степной зоне, которая представлена разнотравно-типчаково-ковыльными степями на черноземах обыкновенных. Здесь территория заброшенных населенных пунктов составляет более 4 тыс. га. Немного более 1 % (около 3 тыс. га) территории занимают постселитебные земли на полосе перехода между лесостепью и степью. В природных комплексах лесостепной зоны доля постселитебных земель невелика (меньше 1 %), хотя в отдельных случаях они занимают внушительные территории. Например, в водораздельных и байрачных дубравах на деградирующих черноземах и лугово-разнотравных степях на черноземах выщелоченных и типичных площадь заброшенных на-

селенных пунктов составляет около 5,5 тыс. га, но доля от общей площади природного комплекса всего 0,61 %.

Заброшенные населённые пункты Белгородской области расположены в четырёх основных типах местности: пойменный (11%), надпойменно-террасовый (24%), приречный (57%) и плакорный (8%). Распределение постселитебных земель по типам местности сильно различается, наименьший процент приходится на пойменный и плакорный типы местности. Доля первого невелика из-за вероятности разлива рек и подтопления жилых участков, исключения составляют небольшие реки и их притоки. Постселитебные земли располагаются преимущественно в средней и высокой пойме. В плакорном типе местности мало поселений в связи с подверженностью ветрам, такой тип более удобен для земель сельскохозяйственного использования (пашни). Таким образом, в природных комплексах речных долин находится 92 % освобождённых от селитебного использования земель, что во многом определяет их дальнейшее природоохранное использование. Наиболее перспективным, на наш взгляд, будет формирование на постселитебных землях ренатурационных элементов экологических сетей, обеспечивающих воспроизводство дикой фауны и одновременно – улучшающих экологическую защищённость гидрографической сети.

Согласно физико-географическому районированию центральных черноземных областей Ф.Н. Милькова [4], приречный тип местности включает в себя водораздельно-приречные участки, обладающие общим значительным уклоном поверхности выше 3°. В приречном типе местности широкое развитие получают процессы линейной и плоскостной эрозии, что находит свое выражение в наличии смытых почв, свежих оврагов и балок. В этих условиях на территории приречного типа местности возникает необходимость введения кормовых почвозащитных севооборотов, а наиболее крутые участки целесообразнее всего использовать под залужение и облесение.

Заключение

Проведенный анализ распространения постселитебных земель в Белгородской области показал, что они представляют собой довольно существенный резерв для наращивания площади природоподобных экосистем. Наибольшее природоохранное значение имеют постселитебные земли приречного типа местности. Расположение заброшенных населённых пунктов в речных долинах и лесное направление сукцессий позволяет рассматривать их как водоохранные ренатурационные элементы экологических сетей, являющиеся важными рефугиумами для дикой фауны. Создание охранных зон на постселитебных землях приречного типа местности позволит предотвратить развитие овражно-балочной эрозии, а также обеспечит экологическую реабилитацию местным природным сообществам после длительного антропогенного воздействия.

Исследования выполнены при поддержке гранта Президента РФ МД-6807.2015.5.

Список литературы

1. Артищев В.Е. Возможности формирования фонда земель экологической компенсации за счет постселитебных территорий в Белгородской области / В.Е. Артищев // Проблемы природопользования и экологическая ситуация в Европейской России и сопредельных странах: Материалы V Междунар. науч. конф. 28–31 октября 2013 г. – М.; Белгород: КОНСТАНТА, 2013. – С. 3–5.
2. Атлас «Природные ресурсы и экологическое состояние Белгородской области». – Белгород: Белгородская областная типография, 2005. – 180 с.
3. Горохова Е.А. Проблемы ландшафтной организации степных экосистем Курской области Е.А. Горохова, В.Б. Михно // Степи Северной Евразии: Материалы V международного симпозиума / Под ред. чл.-корр. РАН А.А. Чибилева. – Оренбург, 2009. – С. 230–233.
4. Мильков Ф.Н. Физико-географическое районирование центральных черноземных областей / Ф.Н. Мильков. – Воронеж: Воронежский университет, 1961. – 264 с.
5. Родоман Б.Б. Поляризованная биосфера: сб. ст. / Б.Б. Родоман. – Смоленск: Ойкумена, 2002. – 336 с.
6. Носс Р. Проект «Дикие земли». Стратегия сохранения дикой природы / Р. Носс. – Новосибирск, 1995. – 46 с.
7. Состояние окружающей среды и использование природных ресурсов Белгородской области в 2007 году: справочное пособие / П.М. Авраменко, А.И. Анисимов, А.Н. Анисов и др.; под ред. С.В. Лукина. – Белгород: КОНСТАНТА, 2008. – 208 с.
8. Чугунова Н.В. Социально-демографическое развитие Белгородской области изменяющейся России / Н.В. Чугунова. – М.: ГЕОС, 2011. – 140 с.
9. Яндекс.Карты: картографический веб-сервис [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://yandex.ru/maps/>

УДК 553.2

ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ СЕРЕБРЯНО-МЕДНОГО РУДОПРОЯВЛЕНИЯ «СИГУРД» НА ОСТРОВЕ ЗАПАДНЫЙ ШПИЦБЕРГЕН

Евдокимов А.Н., Сироткин А.Н., Коробова Г.А.

ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский горный университет», Санкт-Петербург,
e-mail: evdokimov48@list.ru

Обнаруженное в 1990 году российскими геологами серебряно-медное рудопоявление на горе Сигурдфеллет острова Западный Шпицберген является одним из крупнейших на архипелаге. Генезис первоначально связывали исключительно с гидротермальной миграцией рудного вещества из вмещающих песчаников и алевролитов девонского возраста, однако последующие работы по изучению руды и окорудных пород фундамента дали новый фактический материал по геохимическим особенностям потенциальных источников металлов и обнаружили новую для этого проявления золоторудную минерализацию. Определено сходство геохимических ассоциаций проявления «Сигурд» с близлежащими мраморами верхнего протерозоя, как первого вероятного источника рудного вещества и второго, обусловленного карбонат-содержащими прослоями в нижнедевонских отложениях. Рудообразование, вероятно, обусловлено многоактными гидротермальными процессами и завершилось в период тектономагматической активизации в конце девонского времени.

Ключевые слова: Шпицберген, медь, серебро, золото, геохимия

GEOCHEMICAL FEATURES OF SILVER-COPPER ORE MINERALIZATION «SIGURD» ON THE ISLAND OF WEST SPITSBERGEN

Evdokimov A.N., Sirotkin A.N., Korobova G.A.

Saint-Petersburg Mining University, Saint-Petersburg, e-mail: evdokimov48@list.ru

One of the largest in the archipelago silver-copper mineralisation at Mount Sigurdfellet in West Spitsbergen Island was found in 1990 by Russian geologists. Genesis originally was associated exclusively with hydrothermal ore migration of a substance from the enclosing sandstone and siltstone of the Devonian age, but subsequent work on the ore and nearest rocks of the basement gave a new factual material on the geochemical characteristics of potential sources of metals and found new for this manifestation – gold mineralization. Similarity of geochemical associations manifestations of Sigurd with nearby upper Proterozoic marble as the first likely source of ore substance and the second caused by carbonate-containing streaks in Low Devonian sediments. Ore-formation, probably due to repeated hydrothermal processes and was completed in a period of tectono-magmatic activity of Jurassic-Cretaceous time.

Keywords: Svalbard, copper, silver, gold, geochemistry

Арктические острова представляют собой выступы континентальной земной коры над поверхностью морей. К ним относится и архипелаг Шпицберген, расположенный в северо-западном обрамлении Баренцева моря. Одним из открытых нами в 1990 г. на севере центральной части острова Западный Шпицберген (рис. 1) является рудопоявление меди и серебра «Сигурд» [1]. Оно располагается на южном склоне горы Сигурдфеллет, имеет превышение над уровнем моря от 400 до 900 м и является наиболее крупным по площади из всех обнаруженных на архипелаге.

В результате последующих геологоразведочных работ ресурсы металлов, оцененные в совокупности по нескольким близлежащим рудным объектам этого района, дают основание говорить о наличии здесь промышленно значимого месторождения [4].

Рудный участок приурочен к субмеридиональной зоне разломов Брейбоген, обрамляющей западный фланг крупной

грабенообразной структуры того же простирания. В свою очередь формирование грабена обусловлено каледонскими тектоническими событиями, в ходе которых образовавшаяся рифтоподобная структура была заполнена конгломератами, песчаниками, алевролитами и маломощными карбонатными отложениями. Работы по геологическому картированию этого участка острова Западный Шпицберген позволили обнаружить еще несколько небольших рудопоявлений сульфидов меди, свинца, барита, флюорита, горного хрусталя, что позволило выделить здесь металлогеническую зону с рядом рудных полей в пределах терригенных отложений девонского возраста и обрамляющих грабен пород кристаллического фундамента [11].

На западном фланге рудопоявления «Сигурд» располагаются верхнепротерозойские кристаллические сланцы и мраморы, а центральная и восточная части сложены терригенным комплексом ниж-

недевонских песчаников и алевролитов с прослоями карбонатного состава (рис. 2). Контакт между протерозойскими и девонскими отложениями тектонический, фрагментарно карбонатизирован и дислоцирован с образованием брекчий.

Важно отметить, что рудная минерализация проявлена в основном в тектонических трещинах, разрывающих существенно карбонатные прослои в девонских песчаниках, при этом рудное вещество распространяется также и по напластованию карбонатных пород, что говорит о том, что карбонатные прослои служили геохимическими барьерами для разгрузки рудных гидротерм.

ца: блеклой руды, халькопирита, галенита в ассоциации с баритовой минерализацией. Главными жильными минералами являются кальцит, кварц, доломит, магнезит. Жилы выполняют трещинные рудоконтролирующие пространства, как правило, оперяющие главное – субмеридиональное направление зоны разломов Брейбоген. Поскольку рудовмещающие разломы пересекают нижнедевонские толщи, то очевидно, что рудообразование произошло уже в постраннедевонское время. Однако по находкам сульфидных оруденений в докембрийских метаморфических породах архипелага Б. Флуд в 1969 г. [9] предположил

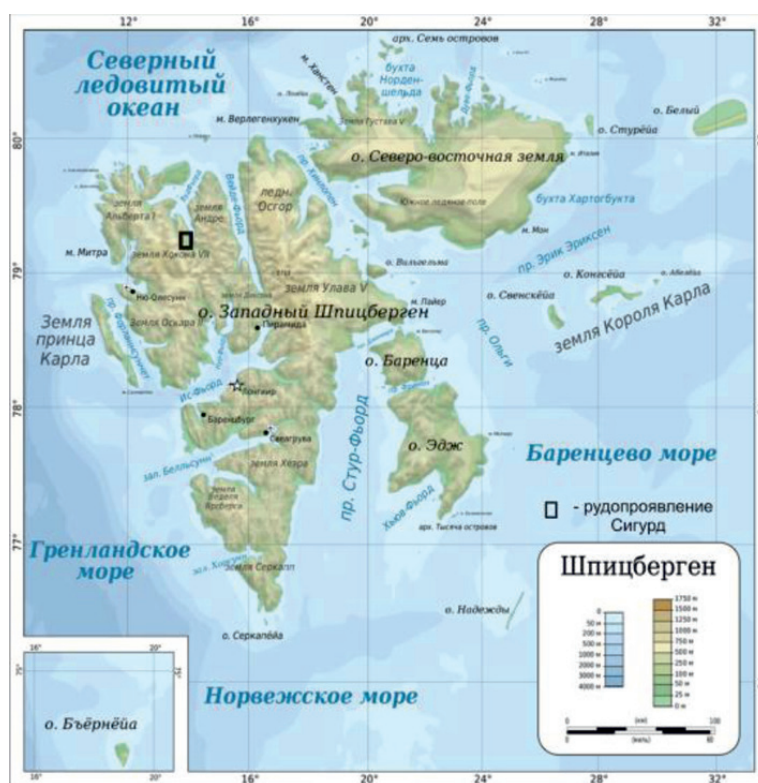


Рис. 1. Архипелаг Шпицберген и расположение рудопроявления Сигурд

Магматическая активность на ближайшем удалении от рудных тел проявилась в четвертичное время в виде трубок взрыва и даек щелочного оливинового базальта, слагающих вершину горы Сигурдфьеллет. Геологических оснований по влиянию четвертичного вулканизма на формирование рудного вещества не наблюдается.

Рудопроявление «Сигурд» представлено серией жил, выполняющих трещины в терригенных девонских отложениях и состоящие из сульфидов меди и свин-

цовой руды, халькопирита, галенита в ассоциации с баритовой минерализацией. Главными жильными минералами являются кальцит, кварц, доломит, магнезит. Жилы выполняют трещинные рудоконтролирующие пространства, как правило, оперяющие главное – субмеридиональное направление зоны разломов Брейбоген. Поскольку рудовмещающие разломы пересекают нижнедевонские толщи, то очевидно, что рудообразование произошло уже в постраннедевонское время. Однако по находкам сульфидных оруденений в докембрийских метаморфических породах архипелага Б. Флуд в 1969 г. [9] предположил

Анализируя изотопный состав серы из сульфидов, Т.В. Сигалстад и соавторы [2] установили, что включения сероводорода в сульфидах рудопроявлений на горе Сигурдфьеллет острова Западный Шпицберген и острова Медвежий имеют одинаково низкие значения содержаний изотопа серы 34, такие же, как в эвапоритах пермского возраста. Более ранняя публикация А. Елле,

в 1962 г. содержит предположение о третичном возрасте рудопоявлений на западном побережье Шпицбергена [5]. Определения изотопных соотношений свинца из образцов галенита из нашей коллекции дали поздне-триасовый возраст – (210 ± 10) млн лет [1]. Учитывая существенные погрешности этого метода, которые допустимы при определении абсолютного возраста, можно лишь утверждать, что датировка подтверждает постранинедевонский период рудообразования на горе Сигурдфьеллет, уже в собственно посткаледонское время. Вероятным тектоно-магматическим событием, с которым могли быть парагенетически связаны заключительные фазы гидротермальной

активности, – это внедрение на Шпицбергене даек щелочно-ультраосновных пород в D_3 - C_1 время.

Таким образом, возраст сульфидного жильного оруденения на архипелаге оценивается в довольно широком диапазоне, начиная от раннерифейского [4] и завершая началом позднего палеозоя. Однако, возраст рудопоявления «Сигурд», исходя из геологического взаимоотношения с вмещающими породами ограничивается девонским временем, а данные по геологии всей зоны девонского грабена Шпицбергена указывают в качестве временного интервала рудообразования средне-позднедевонское время.

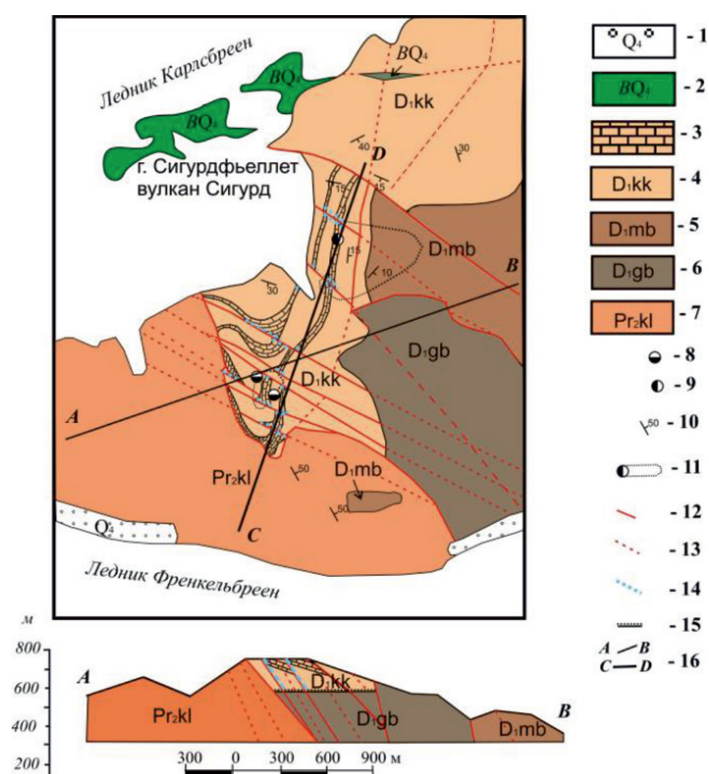


Рис. 2. Схема геологического строения серебряно-медного рудопоявления «Сигурд», где:
1 – современные моренные отложения ледников Френкельбреев и Вонбреен (Q_4); 2 – щелочные оливиновые базальты четвертичного возраста (вулкан Сигурдфьеллет – $Q_4\beta$); 3 – прослои карбонатного состава серо-зеленого цвета в девонских терригенных отложениях;
4 – красноватые песчаники, алевролиты с прослоями серо-зеленых известняков раннедевонского возраста, подсвита Кап-Кьелдсен серии Вуд-Бей (D_1kk); 5 – песчаники тонкозернистые серо-зеленые и конгломераты раннедевонского возраста, свита Монакобреев, серия Ред-Бей, нижний девон (D_1mb); 6 – конгломераты серые, полимиктовые, толща Германиябеккен, нижний девон (D_1gb); 7 – мраморы и кристаллические сланцы серии Кроссфьорд, свита Коллербреев, рифей (Pr_2kl); 8 – медная минерализация в коренных породах; 9 – свинцово-медная минерализация в делювиальных развалах; 10 – элементы залегания пород; 11 – ареалы рассеяния медно-серебряной минерализации; 12 – установленные тектонические нарушения; 13 – предполагаемые разломы; 14 – проявления жильной рудной минерализации; 15 – геологические границы несогласного залегания; 16 – положения профилей: AB – геологического и CD – геохимического на рис. 4

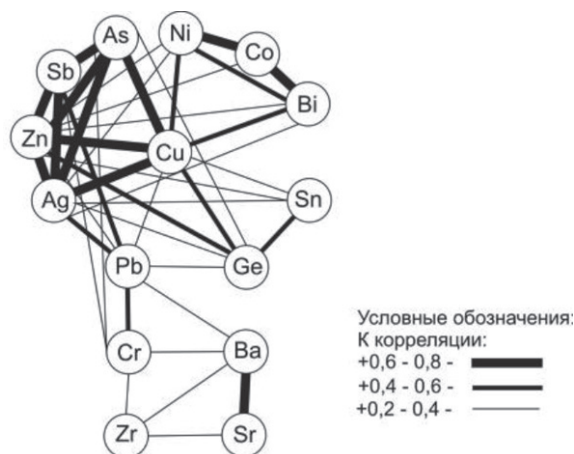


Рис. 3. Схема положительных корреляционных связей между макро- и микроэлементами рудопроявления «Сигурд»

Корреляционные связи между макро- и микрокомпонентами рудного вещества отражают схемы изоморфизма в кристаллических решетках рудных минералов, их парагенетические ассоциации, а также тенденции вторичных изменений. Корреляционный анализ был выполнен на группе из 53 образцов рудного вещества, а также вмещающих пород и околорудных метасоматических изменений. Его результаты приведены на схеме классификации положительных корреляционных связей (рис. 3).

Наиболее сильные связи между элементами показаны более жирными линиями. По этому признаку отчетливо выделяется шестиэлементная ассоциация: Cu, As, Ag, Sb, Zn и Pb. Её образование связано с распространенностью здесь главного рудного минерала меди – теннантита, крайнего мышьякового члена изоморфного ряда тетраэдрит-теннантит. Теннантит представляет собой сульфосоль меди – $\text{Cu}_{12}\text{As}_4\text{S}_{13}$ с примесями Sb, Bi, Fe, Zn, Ag, Hg, Co, Pb. Исследования взаимоотношений рудных минералов в аншлифах показали, что теннантит выделялся в ассоциации с халькопиритом (CuFeS_2), пиритом (FeS_2), галенитом (PbS) и сфалеритом (ZnS) на самой ранней стадии минералообразования. Отсюда установились устойчивые корреляционные связи между перечисленными элементами. Именно эти минералы выполняют основную рудную массу проявления, формируют первичный гипогенный минеральный комплекс.

Прочие ассоциации элементов связаны с главной рудогенной слабыми и умеренными положительными корреляционными свя-

зями и устойчивыми внутри каждой группы элементов. К ним можно отнести ассоциацию: Ba, Sr, Zr, Cr, Pb, характерную для баритовых жил (BaSO_4) и сопутствующей минерализации, в том числе серебросодержащего галенита, целестина (SrSO_4). Цирконий и хром изоморфно замещают катионы этих минералов. Баритовые и кальцитовые жилы с галенитом, как правило, располагаются в верхней части вертикального разреза рудопроявления, что вполне согласуется с общей закономерностью геохимической зональности в гидротермальных месторождениях полиметаллов.

В целом здесь надо обратить внимание на две важные особенности. Во-первых, это слабая связь Cu и Pb, что характерно для всех проявлений в зоне девонского грабена. Это может говорить о существовании двух или более стадий рудообразования, в которых эти элементы играли резко различную роль. Во-вторых, это слабая связь Cu и Ba, что является важным указанием на то, что баритовые проявления сформированы в отрыве от серебро-медных, вероятно позже и вместе с флюоритовыми. Это также может быть косвенным указанием о наличии разных источников вещества для рудных и нерудных проявлений.

Третья ассоциация образует группу из четырех элементов, в основе которой прочная связь между Ni и Co, а также Bi и Cu, связана с концентрацией халькозина (Cu_2S), замещаемого ковеллином (CuS). Изоморфные примесные элементы в халькозине: Ag, Co, Ni, As и Au. Эта ассоциация занимает самый нижний уровень в вертикальной

зональности гидротермального минералообразования, установленной В. Эммонсом и С.С. Смирновым [8].

Четвертая ассоциация представлена положительными связями между содержаниями: Zn, Ge, Cu и Sn. Германий присутствует в большинстве силикатных минералов и как изоморфная примесь содержится в сфалерите в некоторых случаях до 1000 г/т. Существуют сульфиды олова SnS и SnS_2 и природное соединение с медью и цинком в виде сульфида меди, цинка и олова, минерала кестерит – $\text{Cu}_2\text{ZnSnS}_4$. Представляется, что эта ассоциация элементов является родственной к первой – теннантитовой, но связана со сфалеритовым парагенезисом халькопирита.

Из структурных взаимоотношений рудных минералов в аншлифах из различных участков рудопоявления, а также с учетом установленных положительных корреляционных связей между минералообразующими элементами, намечается следующая последовательность кристаллизации главных рудных минералов: первыми кристаллизовались блеклые руды в ассоциации с халькопиритом, сфалеритом и галенитом, во вторую стадию формировались существенно борнитовые руды с подчиненным количеством пирита, халькопирита и халькозина и на третьем этапе минералообразования формировались халькозиновые, халькозин-ковеллиновые руды вторичного сульфидного обогащения, где халькозин замещается ковеллином; четвертый этап не имеет строгой временной привязки относительно первых трех, так как в разных частях проявления, особенно вблизи с мраморами рифейского возраста образуют жилы, выполненные баритом, и в меньшей степени celestином и кальцитом, пересекающие жильно-вкрапленные руды всех трех первых стадий минералообразования. Пятым и заключительным этапом минералообразования являются процессы зоны окисления, выражающиеся в нарастаниях на рудах азурита – $\text{Cu}_3(\text{CO}_3)_2(\text{OH})_2$ и малахита $\text{Cu}_2\text{CO}_3(\text{OH})_2$, соответственно, оба вторичных минерала меди не образуют самостоятельного комплекса корреляционных связей между рудными элементами. В зоне окисления также присутствует лимонит ($\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$), который развивается по пириту и халькопириту.

Наибольшим коэффициентом концентрации в рудопоявлении характеризуется серебро $K_k = 218$. Максимальные его содержания, оцененные методом полу-

количественного спектрального анализа, составили 500 и 617 г/т, а методом атомно-эмиссионной спектроскопии – 450,6 г/т. Отмечается постоянная сильная корреляционная связь серебра и меди во всех геохимических группах ассоциаций. Самое большое количество серебра обнаружено в бурноните (PbCuSbS_3) – 3920 г/т, меньше в галените (PbS) – 1940 г/т, а в блеклых рудах ($\text{Cu}_{12}(\text{AsSb})_4\text{S}_{13}$), борните (Cu_5FeS_4) и халькозине Cu_2S) от 488 до 1900 г/т. Средние содержания серебра и меди были рассчитаны по данным аналитических работ разных лет и с учетом разных видов анализов, спектрального полуколичественного и атомно-эмиссионного. Средняя концентрация $\text{Ag} = 124,9$ г/т, $\text{Cu} = 2,87\%$.

По ряду признаков рудопоявление «Сигурд» было отнесено [11] к колчеданно-полиметаллическому геолого-промышленному типу.

Типичными его представителями являются месторождения в Рудном Алтае и Казахстане: Орловское, Иртышское, Майкан и другие.

Как отмечалось выше, В. Эммонс [6] связывал зоны минералообразования с температурным режимом и впоследствии подвергся критике со стороны С.С. Смирнова, который выделял специализированные на руды интрузивные образования [8]. На примере ряда месторождений была установлена следующая последовательность концентраций элементов в ореолах от надрудной до подрудной частей: $\text{Sb} - \text{As} - \text{Ba} - \text{Ag} - \text{Pb} - \text{Zn} - \text{Cu} - \text{Bi} - \text{Sn} - \text{Co} - \text{Ni}$.

Разрез сложен тремя блоками пород, разделенными разломами. Южный представляет собой кристаллические сланцы и мраморы фундамента, пронизанные рудосодержащими жилами. Он отделен от центрального блока зоной разломов Брейбоген, ориентированный по азимуту 330° СЗ. Центральный блок сложен песчаниками, алевролитами и карбонатными прослоями свиты Кап-Кьелдсен нижнего девона. С карбонатными прослоями и участками брекчирования связаны основные проявления рудного вещества. Третий – северный блок является частью также терригенных и карбонатных отложений нижнего девона, включающие периферийный по отношению к рудопоявлению комплекс мелких рудосодержащих жил небольшой, в первые сантиметры, мощности.

Результаты спектрального полуколичественного анализа разных лет исследований, а также рентгено-флуоресцентный

в количестве 270 образцов показали хорошую степень сходимости, что позволило их использовать для построения трендовых поверхностей распределения главных и второстепенных рудных элементов в плоскости разреза, ориентированного в направлении 20°СВ, субвертикально. Последующее сопоставление положений аномальных содержаний анализируемых элементов дало обобщающую схему, которая представлена на рис. 4.

В полученном геохимическом разрезе на рис. 4 выделяется общая крупная зона меденности, располагающаяся в нижней части южного – докембрийского и центрального – девонского блоков, обозначенная синим цветом, она является ядром более крупной аномальной зоны содержания меди, серебра, мышьяка. Подстилающая серебряно-медную аномалию зона обогащена хромом, что связано с приуроченностью проявления к зоне глубинного разлома. Обогащение хромом отмечается как в породах фундамента, так и в девонских породах, что свидетельствует о глубинном источнике рудного вещества, которое поставлялось в зону оруденения вдоль этого разлома и последующего распределения по

трещинным дислокациям оперяющих Брейбогенский разлом, ориентированным по азимуту 50–70°СВ.

Наличие аномалии хрома может быть обусловлено также в целом повышенным содержанием хрома во всей терригенной толще красноцветов, где в тяжелой фракции присутствуют хромсодержащие минералы: хромшпинелиды, хромдиопсид, а также оливин-продукт разрушения ультраосновных пород, обнаруженных нами в виде маломощных даек на южном продолжении зоны разломов Брейбоген в Экманфьорде [7]. Аномалия содержаний хрома зафиксирована в ходе выполнения более ранних геологосъемочных работ в зоне глубинного разлома на восточном фланге девонского грабена, вблизи рудника Пирамида, в долине Мимердаллен, где выходят на поверхность отложения верхнего девона. Они содержат повышенные концентрации минералов тяжелой фракции ультраосновного парагенезиса. Кроме того, нельзя исключать наложенный характер хромовой аномалии, вызванный постмагматическими процессами перераспределения микроэлементов из вулканитов четвертичного возраста.

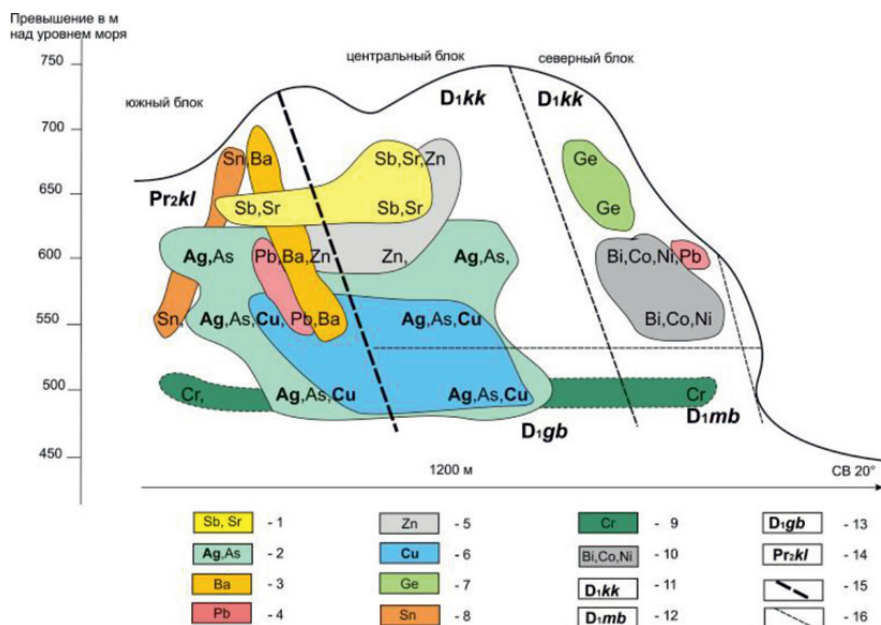


Рис. 4. Геохимическая зональность рудопоявления «Сигурд» по вертикали и по простиранию 20°СВ, где аномальные концентрации: 1 – сурьмы и стронция; 2 – серебра и мышьяка; 3 – бария; 4 – свинца; 5 – цинка; 6 – меди; 7 – германия; 8 – олова; 9 – хрома; 10 – висмута, кобальта и никеля; 11 – песчаники и известняки свиты Кан-Кьелдсен, нижний девон; 12 – песчаники и алевролиты свиты Монакобреен, серия Ред-Бей, нижний девон; 13 – конгломераты полимиктовые толщи Германиябеккен, нижний девон; 14 – мрамора и кристаллические сланцы свиты Коллербреен, верхний протерозой; 15 – глубинный разлом Брейбоген – тектонический контакт протерозойских и девонских отложений; 16 – тектонические дислокации в толще девонских пород

Особую позицию занимают аномалии содержаний висмута, кобальта и никеля в основании рудной зоны северного блока рудопрооявления. Она обозначена на схеме серым цветом, как отмечено выше, эта ассоциация элементов обусловлена существенно халькозиновым типом минерализации и, в меньшей степени, халькопиритом, пиритом и теннантитом.

Наряду с хромом, аномалии никеля и кобальта характерны для подрудных частей разрезов любых медных гидротермальных месторождений. Здесь, в северном блоке, эти аномалии могут быть обусловлены относительно большим удалением от зоны глубинного разлома, так как они ориентированы субвертикально и субпараллельно зоне разломов Брейбоген.

Выше по разрезу расположены аномалии содержаний цинка, отчетливо приуроченные к зоне глубинного разлома, концентрации которого обусловлены проявлениями сфалерита (ZnS). На этом же уровне, ближе к контакту с протерозойскими мраморами локализованы аномалии распределения стронция и сурьмы. Первый обусловлен целестиновой (SrSO_4) минерализацией, которая ассоциирует с баритом (BaSO_4), а второй обусловлен изоморфной примесью Sb в арсенопирите (FeAsS), замещающей мышьяк.

На севере участка выделяется зона обогащения германием, который в качестве изоморфной примеси входит в структуру сфалерита. Эта зона расположена на том же стратиграфическом уровне, что и аномалии цинка в центральном и южном блоках.

В целом распределение геохимической зональности по вертикали отвечает установленным ранее на известных в мире месторождениях гидротермального генезиса, наблюдается изменчивость составов руд по латерали, по мере удаленности от главного рудопроводящего глубинного разлома Брейбоген, северный блок отличается по составу аномалий от центрального и южного блоков по типичной подрудной ассоциации: висмут, кобальт и никель.

В истории тектонических событий района рудопрооявления происходили неоднократные перемещения отдельных блоков по вертикали с образованием зон брекчирования, участков взаимного пересечения рудных жил. Поэтому северный блок вполне мог испытывать относительное поднятие так, что зона халькозиновой минерализации из нижнего уровня была приподнята

вместе с блоком вмещающих песчаников девона на уровень главной рудной зоны центрального блока. Вторая, и возможно более вероятная, причина концентрации висмута, кобальта и никеля в северном блоке нижнедевонских отложений свиты Кап-Кьелдсен связана с процессом пропиллитизации, в ходе которого Ni и Co входят в состав первой стадии образования пирита, выделения которого на позднем этапе имеют ксеноморфный характер и в меньшей степени содержат примесные элементы.

Обнаруженная латеральная геохимическая зональность рудопрооявления дает основание утверждать, что главный разлом Брейбоген, по которому контактируют протерозойские мраморы и девонские песчаники (350°C) является рудоподводящим, а оперяющие, с простирающими в северо-восточных румбах, – рудовмещающими.

Южный и центральный блоки характеризуются ореолами распространения весьма сходных рудных элементов: Ag – Pb – Zn – Cu, при этом верхняя часть разреза обогащена минералами свинца, бария и мышьяка.

Одной из наиболее дискуссионных в гидротермальном рудообразовании является проблема источника рудных элементов. Ранее [1] мы считали, что источником меди и серебра, а также свинца, цинка и других элементов являлись вмещающие терригенные толщи девонского возраста с проявлением медной минерализации типа медистых песчаников. Однако более поздние работы [4, 11] свидетельствуют о вероятности докембрийских источников рудных элементов, которые широко проявлены в точках минерализации метаморфических пород кристаллического фундамента.

Для решения этой задачи были привлечены данные опробования и результатов химических анализов первичного рудного вещества рудопрооявления «Сигурд», представленного в основном блеклой рудой и халькопиритом. Второстепенными рудными минералами являются: галенит, сфалерит, барит, ассоциирующие с кальцитом и кварцем. Вторичные минералы широко представлены малахитом и азурином, как показано на рис. 4. В качестве потенциальных источников рудного вещества были привлечены данные химического и микроэлементного составов красно- и сероцветных песчаников и алевролитов нижнего девона, рудоносные мраморы метаморфических пород свиты Коллербреен рифей-

ского возраста, рудопроявления полиметаллов в других районах архипелага.

По результатам анализов содержаний основных и сопутствующих рудных элементов в упомянутых выше породах: Ag, Cu, As, Sr, Ba, Ti, Cr, Co, Ni, Mo, Sn, Pb, Zn – были подсчитаны их средние количества и выполнен корреляционный анализ между составами потенциальных источников рудного вещества и составом руды проявления Сигурд. Результат помещен в таблицу.

Из таблицы следует, что максимальная величина коэффициента корреляции между составом рудного вещества рудопроявления «Сигурд» равна 0,90 с составом мрамора протерозойского возраста, обогащенным рудными минералами. Вторым по степени снижения корреляции с рудой является известняк из прослоев в свите Кап-Кьелдсен нижнего девона. Здесь отмечается также высокая степень корреляции – 0,80, что не позволяет исключать терригенную толщу девонского возраста из числа источников рудного вещества. Девонские конгломераты и песчаник зеленого цвета коррелируются по составу с рудным веществом в меньшей степени – 0,66 и 0,69, чем карбонатные прослои, к которым и приурочено оруденение.

Необходимо отметить, что в процессе корреляционного анализа главное влияние на результат оказывают не абсолютные значения содержаний элементов, а их величины соотношений. Особо следует отметить концентрации Sr, Ba и Ti, возрастающие в перечисленном порядке во всех изученных породах. Высокие содержания титана обусловлены такими минералами, как рутил, анатаз, сфен и лейкоксен, присутствующие

в тяжелой фракции даже в карбонатных протерозойских и девонских толщах. Sr и Ba входят в состав минералов, выполняющих трещины и пронизывающих также все отложения, кальцит-баритовые с целестином жилы.

Минимальные коэффициенты корреляции между составами мрамора протерозойского возраста и девонскими конгломератами и зелеными песчаниками, что говорит о том, что при их формировании происходило не только и не столько за счет разрушения близлежащих рифейских метаморфитов.

Осложняющими реконструкцию истории становления рудопроявления «Сигурд» являются факторы, влияние которых необходимо учитывать:

1 – вероятный процесс многостадийности рудоотложения и 2 – влияние на динамику миграции рудного вещества геохимических особенностей каждого из рассматриваемых элементов.

На основании вышеизложенного можно сделать вывод о преимущественном сходстве геохимических ассоциаций рудного вещества проявления «Сигурд» с близлежащими мраморами верхнего протерозоя, как первого вероятного источника рудного вещества и второго, обусловленного карбонат-содержащими прослоями в нижнедевонских отложениях. Циркуляция рудоносных растворов по глубинной зоне разломов Брейбоген происходила многократно и завершилась, вероятно, на рубеже девона и карбона, в период тектоно-магматической активизации на архипелаге, выраженной образованием полей даек щелочно-ультраосновного состава и D_3 - C_1 возраста.

Результаты корреляционного анализа геохимических особенностей рудного вещества с потенциальными его источниками во вмещающих породах

Наименование пород	Количество проб	Коэффициенты корреляции				
		Рудное вещество	Известняк D_1kk	Песчаник зеленый D_1rb	Конгломерат D_1rb	Мрамор с рудным веществом Pr_2
Рудное вещество	31	1				
Известняк D_1kk	33	0,8	1			
Песчаник зеленый D_1rb	28	0,66	0,95	1		
Конгломерат D_1rb	10	0,69	0,97	0,99	1	
Мрамор с рудным веществом Pr_2	15	0,9	0,49	0,32	0,34	1

Список литературы

1. Евдокимов А.Н. Новое рудопроявление меди на Шпицбергене. Доклады АН СССР. – 1990. – Т. 314, № 4. – С. 915–918.
2. Евдокимов А.Н. Позднепалеозойский щелочно-ультраосновной магматизм архипелага Шпицберген / Евдокимов А.Н., Сироткин А.Н., Чебаевский В.С. // Записки горного института. – 2013. – Т. 200. – С. 201–209.
3. Евдокимов А.Н. Вулканы Шпицбергена. – СПб, Изд.: ВНИИОкеангеология, 2000. – 123 с.
4. Сироткин А.Н. Проблемы металлогении и перспективы рудоносности Центрально-Шпицбергенской полиметаллической зоны // Геолого-геофизические характеристики литосферы Арктического региона. – СПб.: ВНИИОкеангеология, 2006. – Вып. 6. – С. 241–254.
5. Смирнов С.С. Некоторые общие вопросы изучения рудных месторождений. Изв.АН СССР, сер.геол. – 1946. – № 5. – С. 17–34.
6. Твердые полезные ископаемые архипелагов и островов арктической континентальной окраины Евразии / Гл. редактор В.Д. Каминский, отв. редакторы: В.И. Ушаков, В.Д. Крюков; ВНИИОкеангеология. СПб.. Под. Ред.: В.Д. Каминского, В.И. Ушакова, В.Д. Крюкова. – СПб., ФГУП «ВНИИОкеангеология им. И.С. Грамберга», 2010. – С. 7–64.
7. Emmons W.H. Gold deposits of the World. New York – London. McGraw – Hill Book Company. 1937. – 562 p.
8. Flood B. Sulphide mineralizations within the Hecla Hoek complex in Vestspitsbergen and Bjornoya. Norsk Polarinstittutt Arbok 1967, 1969. –P. 109–127.
9. Hjelte A. Contribution to the geology of the Hecla Hoek formation in Nordenskjold Land, Vestspitsbergen. Norsk Polarinstittutt Arbok. 1961, Oslo, 1962. – P. 83–95.
10. Segalstad T.V. Stable isotope evidence for Ba-Pb-Zn vein mineralizations by fluid circulation in the sedimentary basin at Svalbard / Segalstad T.V., Sundblad K. & Kjærnet T. // Geological Survey of Finland Bulletin 2006, Special Issue 1. – P. 143.
11. Sundblad K. Source of lead in Mesozoic baryte-galenasphalerite mineralization at Svalbard / Sundblad K., Andersen T., Kjærnet T., Segalstad T.V., Aasum L. & Wernigsen C. // Geological Survey of Finland Bulletin 2006, Special Issue 1. – P. 157.

УДК 550.34.343

ОЦЕНКА СЕЙСМИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ НА ОСНОВЕ ДАННЫХ РЕГИОНАЛЬНОЙ СЕТИ СЕЙСМИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ И МЕТОДАМИ ИЗОТОПНОЙ ГЕОХИМИИ

Кужугет К.С., Рычкова К.М., Лебедев В.И., Монгуш С-С.С., Аюнова О.Д.

ФГБУН «Тувинский институт комплексного освоения природных ресурсов»
Сибирского отделения Российской академии наук, Кызыл, e-mail: tikopr@mail.ru

В статье рассматривается оценка сейсмической и тектоно-магматической активности на основе данных сети сейсмических станций и методами изотопной геохимии. Приведен анализ пространственно-временного распределения эпицентров землетрясений Тувы и прилегающих территорий. Приведен анализ химического состава и гелия источника озера Дус-Холь в связи с сейсмическими событиями 2013–2014 гг. Выявлены индикаторы сейсмогеодинамической активности в Центрально-Тувинской котловине Тувы. Отмечена необходимость создания эффективных систем мониторинга и прогноза землетрясений, обеспечивающих более высокий уровень безопасности населения и объектов инфраструктуры. Неустойчивое состояние литосферы диктует необходимость продолжения и расширения мониторинга подземных флюидов. Возрастающая сейсмоактивность, ввод в эксплуатацию ответственных инженерных сооружений и коммуникаций требуют обоснования выбора современного комплекса методов наблюдения сейсмической активности, проведения мониторинга.

Ключевые слова: сейсмическая активность, сейсмомониторинг, газогеохимические показатели, изотопный состав

EVALUATION OF SEISMIC SAFETY BASED ON REGIONAL NETWORK DATA OF SEISMIC STATIONS AND BY METHODS OF ISOTOPE GEOCHEMISTRY

Kuzhuget K.S., Rychkova K.M., Lebedev V.I., Mongush S-S.S., Ayunova O.D.

Tuvian Institute for Exploration of Natural Resources of Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Kyzyl, e-mail: tikopr@mail.ru

Evaluation of seismic and tectono-magmatic activity is examined in the paper which is based on network data of seismic stations and by methods of isotope geochemistry. The analysis of spatial and temporal distribution of earthquakes epicenters of Tuva and the surrounding areas is carried out. The analysis of chemical composition and helium as a source of Lake Dus-Khol are presented because of seismic events of 2013–2014. Seismogeodynamic activity indicators are identified in the Central-Tuvian basin of Tuva. The necessity of creating effective monitoring system and earthquake prediction system is outlined which guarantee high level safety of the population and infrastructure objects. The unstable state of the lithosphere necessitates continuation and expansion of underground fluids monitoring. Increasing seismic activity, setting to work responsible engineering constructions and utility services require choice substantiation of up-date complex methods of seismic activity monitoring.

Keywords: seismic activity, seismomonitoring, gas-geochemical indicators, isotopic composition

Республика Тыва среди регионов России отнесена к первой группе сейсмического риска с индексом 1,8. Высокая сейсмичность территории обусловлена сложным геологическим строением и активным проявлением многократных тектоно-магматических процессов в геологической истории формирования континентальной коры Тувино-Монгольского сектора Центрально-Азиатского подвижного пояса [2]. На территорию Тувы приходится около 26% от общего количества зарегистрированных сильных землетрясений в Алтае-Саянской области. Главной особенностью проявления здесь сейсмичности является многочисленность землетрясений энергетического класса $K > 10$ и линейно-узловое размещение эпицентров (рис. 1, 2).

Цель исследования

Целью исследования являлись параметрическая оценка сейсмической и тектоно-магматической активности региона. Анализ

уровня сейсмического контроля и мониторинга на территории Тывы.

Материалы и методы исследования

Одним из методов оценки сейсмической активности в настоящее время являются данные отдаленных региональных сейсмостанций. Созданная система сбора и обработки сейсмической информации направлена на изучение и анализ современной сейсмической активности территории.

Параметрическая оценка сейсмической и тектоно-магматической активности невозможна без инструментального изучения теплового поля и оценки геодинамического состояния этого сегмента литосферы, с 2003 г. для оценки теплового потока применялись современные методы газовой геохимии анализа проб из многочисленных очагов. термоминеральной разгрузки [1].

Результаты исследования и их обсуждение

С начала 1960-х гг. в данном регионе начала формироваться сеть сейсмологических станций, в результате работы которой к настоящему времени накоплен

экспериментальный материал об особенностях сейсмического процесса региона. В настоящее время на территории Тувы действуют 9 сейсмостанций: 3 станции – СО РАН (Новосибирск), 2 станции – КНИИГиМС (Красноярск), 4 станции – Центр мониторинга эндогенных источников чрезвычайных ситуаций (ЦМЭИ ЧС РТ) ТИКОПР СО РАН (г. Кызыл), расположенных в населенных пунктах Чадан, Туран, Эржей, Самагалтай в Республике Тыва (рис. 1). Установленные сейсмологические комплексы (ЦМЭИ ЧС РТ) оснащены цифровыми сейсмостанциями УГРА-2, промышленными компьютерами для сбора и обработки сейсмологических данных, терминалами спутниковой связи, работающими в стационарном режиме. Станции работают в постоянном режиме с 2010 г., за исключением аварийных ситуаций. По данным сейсмостанций (г. Кызыл) рассчитываются координаты, магнитуда (М), энергетический класс (К), результаты вносятся в единый каталог. Каталог содержит данные о сейсмических событиях региона начиная с 1960 г. Для доинструментального и раннеинструментального периода привлекаются архивные данные [5].

За период наблюдений на территории Тувы и близлежащих территориях произошло более 11000 сейсмических событий. В пространственном распределении землетрясений выделяются линейные и узловые зоны сгущения эпицентров, отражающие разломно-блоковое строение территории (рис. 1). Зоны, сейсмически активные в настоящее время, проявляются магнитудами более 4 (рис. 2).

Как сейсмически активные выделяются складчатые сооружения Восточно-Тувинского нагорья, Юго-Западной Тувы, Горного Алтая и Северо-Западной Монголии. Активизации тесно связаны с крупнейшими землетрясениями и в большей своей части протекают как афтершоковый процесс (рис. 3). Наиболее высокая сейсмическая активность отмечена в восточной Туве, связанная с проявлением Тайрисингольского и Билино-Бусийнгольского систем разломов глубинного заложения, примыкающих к юго-западному флангу Байкальской внутриконтинентальной рифтовой системы. Территория юго-западной Тувы представляет собой район сочленения крупнейших Шапшальского, Цаган-Шибетинского глубинных разломов, проявленных многочисленными землетрясениями и землетрясениями с магнитудами более 5,5 (рис. 3) [2].

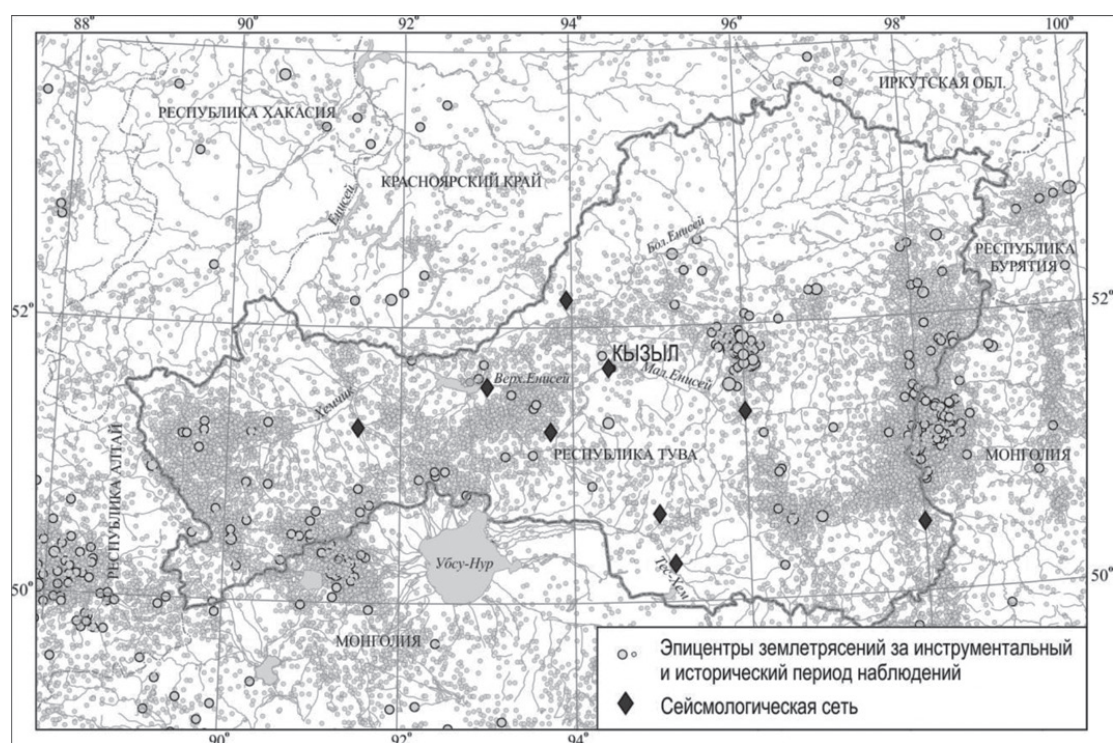


Рис. 1. Пространственное распределение эпицентров землетрясений за исторический и инструментальный период наблюдений. Схема размещения сейсмологической сети

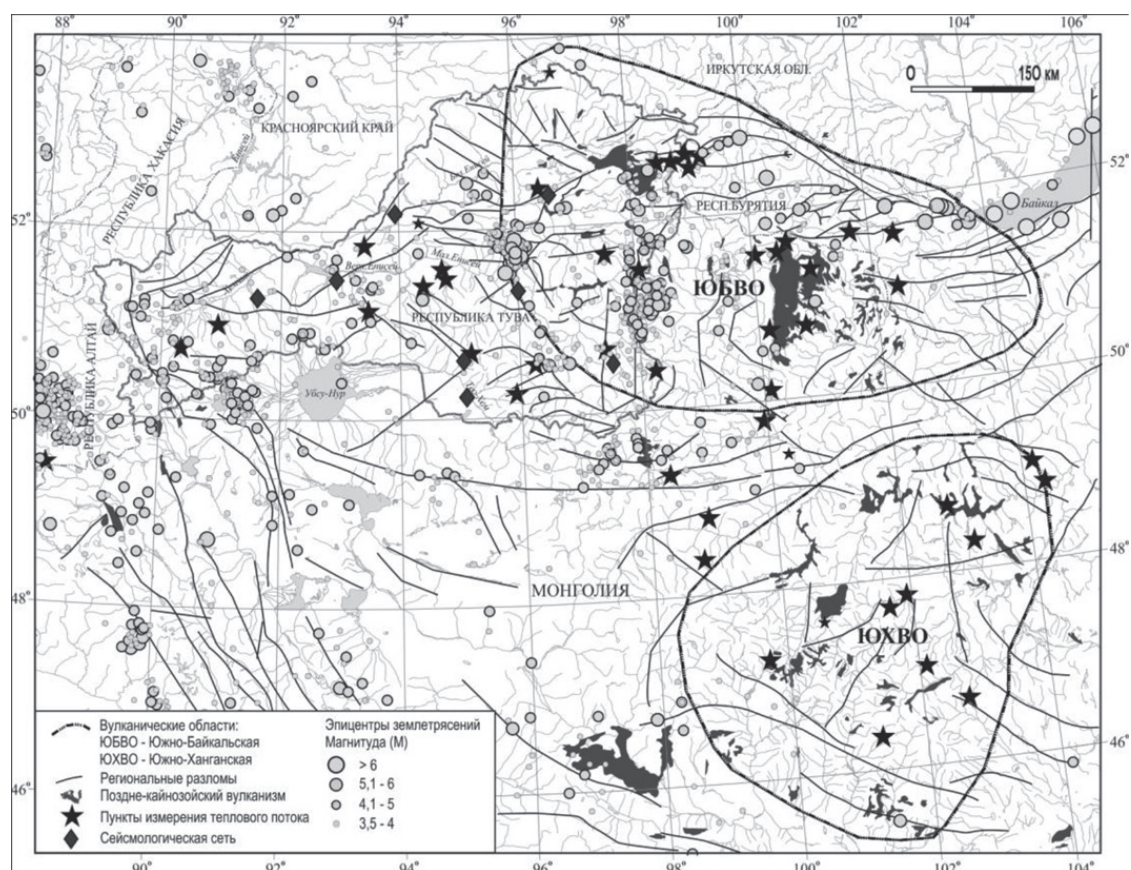


Рис. 2. Ареалы повышенных концентраций мантийного гелия и пункты измерений теплового потока

В последние годы исследованы 5 очагов современной геотермальной деятельности, приуроченных к активным разломам в бортовой части Билин-Бусийнгольского рифтогенного грабена и его горном обрамлении. Пробы отобраны из многочисленных горячих источников в центральной части рифта (в районе сезонного курорта Уш-Бельдир), из термальных источников Эми-Бусийнгольской зоны (Тарыс), из источников Салдам, приуроченных к зоне сопряжения Агардагского и Бусийнгольского разломов, из источников Маймалыш в срединной части хребта академика Обручева, из сероводородного источника Нарын в западной части Сангиленского поднятия (рис. 2). Новейшие данные по изотопному составу минеральных источников подтверждают ареальное распространение мантийного гелия, доля которого во флюидах термальных источников, выводимых как глубинными, так и оперяющими локальными разломами, достигает 12–20%, что указывает на высокую активность раз-

ломных структур Восточной Тувы, а также свидетельствует о расширении изотопно-гелиевой аномалии Байкальского рифта в западном направлении.

В центральной части Тувы в мониторинговом режиме проведены исследования химического состава и изотопов гелия гидроминеральных источников озера Дус-Холь. Наблюдаемый период с 08.08.2013 по 28.08.2014 г. характеризуется сейсмическим затишьем. Установлены отклики на землетрясение (26.04.14 г.) с магнитудой 2,0 на расстоянии 43 км от пункта наблюдения.

Практически все элементы, за исключением отдельных, вышли за пределы диапазона фонового изменения параметра. Аномалии имеют скачкообразный вид как положительного, так и отрицательного знака преимущественно постсейсмического характера. Исключения составляют катион Cl^- , анионы Na^+ , Mg^{2+} , K^+ , PH , Br , имеющие пред- и постсейсмические изменения, при этом предсейсмические

имеют положительный знак, по амплитуде уступающие постсейсмическим. Наиболее чувствительными предсейсмическими изменениями характеризуются хлор, натрий и минерализация. У Cl наблюдается предсейсмическое увеличение концентрации до 1100 мг/л; постсейсмическое уменьшение до 100 мг/л при среднем 701,9 мг/л. Na^+ характеризуется предсейсмическим увеличением концентрации до 540 мг/л и постсейсмическим уменьшением до 230 мг/л при среднем в 441 мг/л. Минерализация увеличилась до 2700 мг/л, а затем уменьшилась до 1800 мг/л при среднем 2389 мг/л. Предсейсмическое содержание Mg^{2+} незначительно увеличивается до 180 мг/л при среднем 135 мг/л.

Постсейсмические изменения характерны для катионов и анионов. SO_4^{2-} откликается постсейсмическим уменьшением концентрации до 200 мг/л при среднем 517 мг/л. Для HCO_3^- постсейсмическая концентрация достигает 1150 при среднем 449 мг/л. Концентрация Ca^{2+} уменьшается после землетрясения до 70 мг/л при среднем 152 мг/л. Постсейсмическое содержание водорастворенного газа CO_2 увеличилось до 65 мг/л при среднем в 16 мг/л.

Наиболее аномальным постсейсмическим изменением среди микроэлементов выделяется Fe(общ), которое при среднем содержании в 0,08 мг/л увеличилось более чем в 6 раз.

Среди микроэлементов выделяется аномальное постсейсмическое содержание железа общего до 0,49 мг/л при среднем 0,08 мг/л. Такие микроэлементы, как Br, F, Si, B, Sr, характеризуются незначительными постсейсмическими выходами как положительного, так и отрицательного знака за пределы диапазона фонового изменения параметра.

Скачкообразный вид аномалий обусловлен, по-видимому, первоначальным сжатием трещин, в результате чего на выходе увеличилась концентрация наиболее преобладающих в составе элементов, а затем расширением трещин и уменьшением их концентраций. Близость очага землетрясения и незначительная сила толчка, по-видимому, также объясняют скачкообразный характер изменений. Причиной реакции состава подземных вод на событие с $M = 2$ является наличие скрытого глубинного разлома север-северо-западного простирания, ограничивающего овалыные блоки ранних каледонид. Определялись следующие величины: C_{ϕ} – фоновая величина параметра; S_{ϕ} – среднее квадратичное отклонение в период фоновых вариаций; $C_{\phi} \pm 2S_{\phi}$ – диапазон фонового изменения параметра. По результатам детального изучения элементного состава проб воды за период исследований выделяются скачкообразные изменения (более двух стандартных отклонений) (рис. 3) [4].

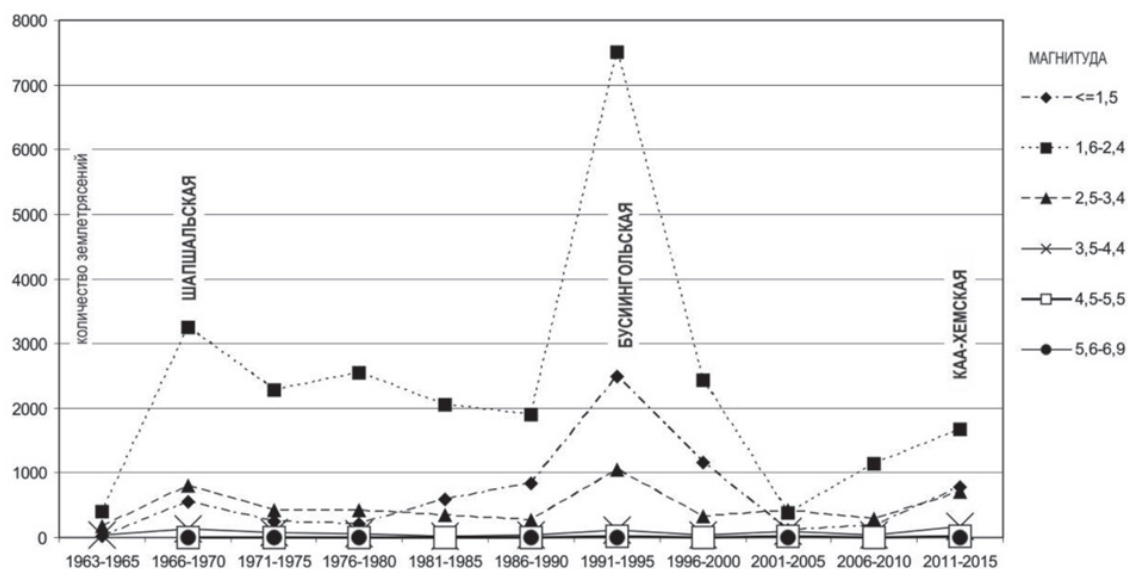


Рис. 3. График распределения магнитуд по интервалам времени

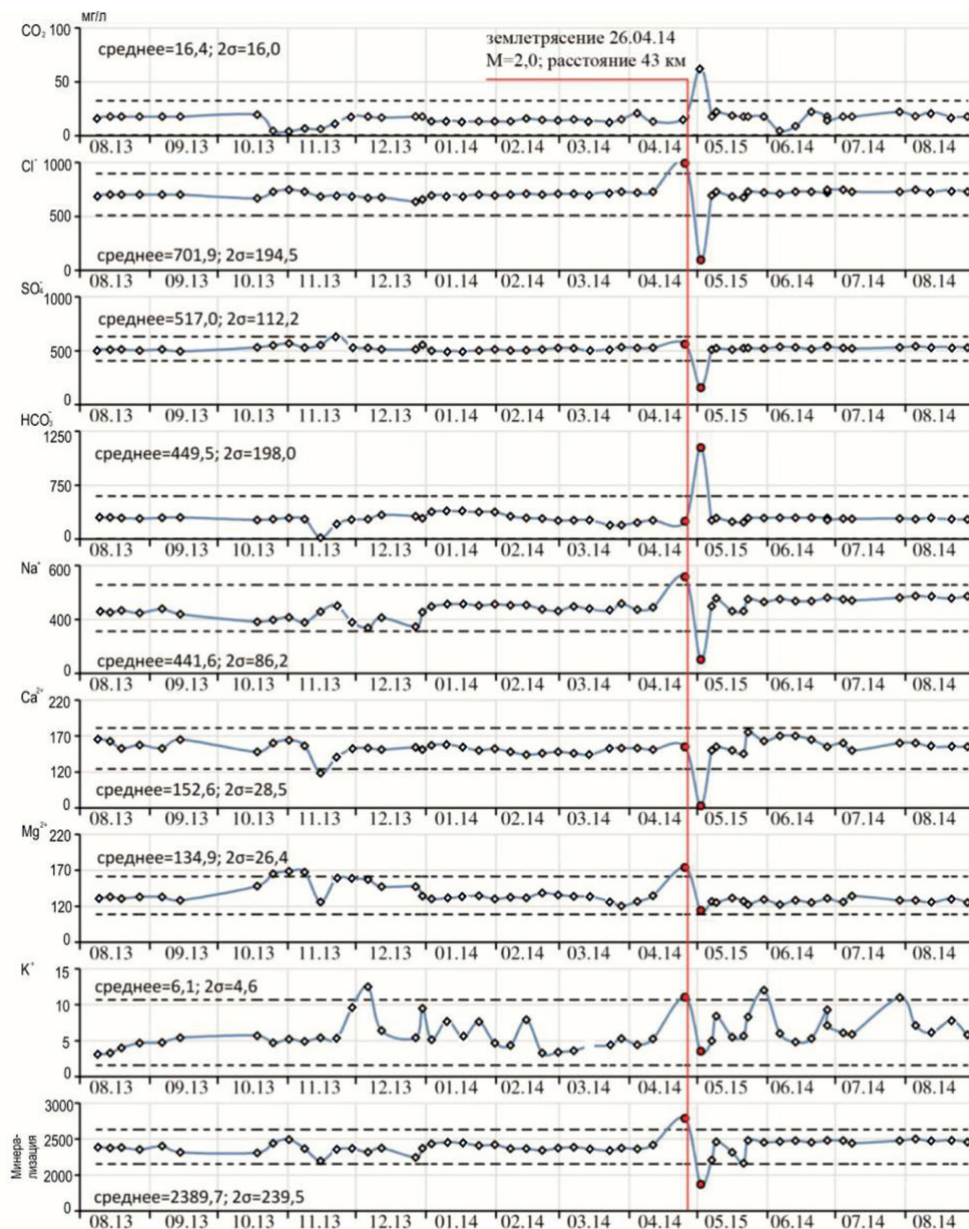


Рис. 4. Динамика изменения макроэлементного состава и минерализации проб воды Западного источника оз. Дус-Холь. Пунктирной линией отмечены два стандартных отклонения. Круглыми значками – до и после землетрясений магнитудой равной 2

Выводы

Регион Тувы обладает большим разнообразием геологических и тектонических условий. По обобщенным данным сейсмического мониторинга выделены основные сейсмоактивные зоны области [3]. Периодичность и частота сейсмических событий и событий с высоким классом опасности свидетельствуют о тектоно-магматической активизации региона. Проявления сильных

землетрясений приурочены к периодам возникновения максимальных аномалий геофизических и геохимических полей, отражающих критическое неустойчивое напряженно-деформированное состояние земной коры. Результаты свидетельствуют о необходимости продолжения и расширения наблюдения режима минеральных вод источников Западный и Восточный оз. Дус-Холь. Поиск и выявление газогеохимических показателей сейсמודинамической

активности земных недр, изучение гелионосности подземных вод горно-складчатых районов и переходных зон орогена имеет большое научное и практическое значение в прогнозе сейсмоактивности Тувы. Необходимо расширение автоматизированной цифровой сети непрерывного сейсмического мониторинга, создание геодинамических полигонов в сейсмоактивных районах Тувы. Необходима развернутая система связи и передачи соответствующих данных в информационно-обрабатывающие центры различных ведомств.

Список литературы

1. Дучков А.Д., Рычкова К.М., Лебедев В.И. и др. Оценки теплового потока Тувы по данным об изотопах гелия в термоминеральных источниках. Геология и геофизика. – 2010. – Т. 51, № 2. – С. 264–276.
2. Кужугет К.С., Монгуш С.С.С. Мониторинг землетрясений Центральной Тувы. – Вестник Тувинского государственного университета. Технические и физико-математические науки. – 2014. – № 3 (22). – С. 155–159.
3. Лебедев В.И., Рычкова К.М., Дучков А.Д., Каменский И.Л., Чуликова С.А. Сейсмическая и геотермальная активность на территории Тувы и сопредельных регионов. // Состояние и освоение природных ресурсов Тувы и сопредельных регионов Центральной Азии. Эколого-экономические проблемы природопользования: Вып. 13–14 / Отв. ред. докт. геол.-мин. наук В.И. Лебедев – Кызыл: ТувИКОПР СО РАН. – 2014. – С. 64.
4. Лебедев В.И., Ярмолук В.В., Сугоракова А.М. и др. Новейший вулканизм и вероятность тектономагматической активизации сейсмоопасных зон на территории Тувы // Состояние и освоение природных ресурсов Тувы и сопредельных регионов Центральной Азии. Геоэкология природной среды и общества: Научные труды ТувИКОПР СО РАН / Отв. ред.: д.г.-м.н. В.И. Лебедев. – Кызыл: ТувИКОПР СО РАН, 2001. – С. 46–52.
5. Рычкова К.М., Монгуш С.С.С., Копылова Ю.Г., Сат Х.Н. Газогеохимические показатели сейсמודинамической активности (Центральная Тува, оз. Дус-Холь). – Сейсмическая безопасность региона и воздействие сейсмологических и социально-экономических факторов на его развитие: Материалы Всероссийской научно-практической конференции (17–18 ноября 2015 г.). – Кызыл: РИО ТувГУ, 2015. – С. 87–91.

УДК 911.2:528.9 (571.5)

ИНФОРМАЦИОННО-КАРТОГРАФИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ КАК МЕТОД ИНТЕГРАЦИИ ИСТОРИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ ДЛЯ ОЦЕНКИ РАЗВИТИЯ ГЕОСИСТЕМ БАСЕЙНА ОЗ. БАЙКАЛ

Кузнецова Т.И.*Институт географии им. В.Б. Сочавы СО РАН, Иркутск, e-mail: kuznetzova@irigs.irk.ru*

Рассматриваются теоретические и методические основы географических исследований в области геосистемного картографирования. Решается задача разработки методов анализа многочисленных разрозненных данных о пространственно-временной дифференциации взаимодействия общества с окружающей средой и интеграции их в единые информационно-картографические системы. Разработана методика географического синтеза знаний, развивающая идеи совместного картографирования природы, населения и хозяйства на базе интерпретационного ландшафтно-экологического картографирования и использования ГИС-технологий, начиная от исследования общих принципов и логики исследования до решения конкретных задач геоинформационного картографирования. Определены принципы классификации природно-антропогенных геосистем в аспекте ландшафтно-интерпретационной экологической концепции и методы применения ее для анализа и картографирования пространственно-временной дифференциации взаимодействия общества и природы. Специфика исследования выражается в межотраслевой, межкомпонентной и динамической интерпретации географической информации, основанной на изучении ландшафтно-типологической дифференциации территории и выявлении свойственных разным уровням геосистем связей природных и антропогенных режимов.

Ключевые слова: геосистемный мониторинг, система специализированных классификаций, геосистемные признаки-индикаторы, структура ИКС, модификации информации

INFORMATION AND CARTOGRAPHICAL MONITORING AS A METHOD FOR INTEGRATION OF HISTORICAL AND GEOGRAPHICAL INFORMATION FOR ASSESSING THE DEVELOPMENT OF THE GEOSYSTEMS OF THE BASIN OF LAKE BAIKAL

Kuznetsova T.I.*V.B. Sochava Institute of Geography SB RAS, Irkutsk, e-mail: kuznetzova@irigs.irk.ru*

Theoretical and methodic fundamentals of historical and geographical research in the field of nature use and geosystem mapping are considered. An elaboration problem of analysis methods of numerous isolated spatial and temporal data and their integration into unified information and cartographical systems. We have devised the technique of geographical synthesis of knowledge in an effort to further develop the combined mapping of nature, the population and the economy on the basis of landscape-ecological interpretation mapping and using GIS technologies, starting from the exploration into general principles and research logic to solving concrete problems of geoinformation mapping. The classification principles of natural-anthropogenic systems have been defined in terms of the landscape-interpretation ecological concept, as well as the methods of its implementation in the analysis and mapping of the spatio-temporal differentiation of the society-nature interaction. The specific character of this study implies inter-sectoral, inter-component and dynamical interpretation of geographical information, based on studying the landscape-typological differentiation of the territory and revealing relationships of natural and anthropogenic regimes inherent in different levels of geosystems.

Keywords: geosystem monitoring, system of specialized classifications, geosystem indicators, the structure of DMS, modifications of the information

Назначение информационно-картографической системы

Исследование выполнено в лаборатории картографии, геоинформатики и дистанционных методов Института географии им. В.Б. Сочавы СО РАН в рамках электронного атласа бассейна озера Байкал. Оно направлено на решение фундаментальной проблемы, касающейся повышения качества информационной базы для целей управления крупными регионами.

Новейшие ГИС-технологии и развитие в географии информационно-системного

подхода, ориентированного на изучение природы и общества как единых геоинформационных систем, увеличили роль картографии как науки, обладающей специфическим логико-методологическим аппаратом структурирования географической информации в целостные программно-целевые информационно-картографические системы для совместного анализа, синтеза, оценки и географического прогнозирования.

В связи с этим была поставлена задача – разработать методические основы создания историко-географической информационно-картографической системы (ИКС) геоэкологического содержания. Целостная система

электронных сопряженных современных и историко-географических карт и структурированных междисциплинарных данных, отображающих различные стадии процессов изменения природной среды во взаимосвязи с освоением региона, может использоваться для определения территорий, подвергшихся различным антропогенным воздействиям на протяжении нескольких тысячелетий. На основе этой информации возможно выделение территорий, на которых совпадение особенностей многолетних антропогенных воздействий с тенденциями эволюции природной среды предопределило ухудшение современной ситуации. На практике эти данные могут быть использованы при разработке рекомендуемых режимов природопользования и мероприятий, обеспечивающих естественный ход восстановления природной среды.

Данное исследование обеспечивается наличием в ИГ СО РАН обширной базы данных, современной материально-технической базы, разработанностью фундаментальных теоретико-методических основ геосистемного картографирования и отображения пространственно-временных изменений структуры взаимодействия общества с природной средой.

Концепция создания ИКС

Известно, что вершиной интеграционно-го подхода в географии является учение о геосистемах, хотя сам термин «геосистема» изначально трактовался как понятие, не выходящее за пределы физической географии. В.Б. Сочава считал, что в результате объединения природы, населения и хозяйства получится чрезвычайно сложная, перегруженная показателями полисистема, фактически бесполезная как для природоведения, так и для экономической географии. Вместе с этим сформировались концепции, в которых геосистема выступает сразу в качестве двоякого отношения – как естественного, так и общественного: об «антропогенных и культурных ландшафтах», «антропогеосистемах», «экономических ландшафтах и интегральных ландшафтах», природно-антропогенных геосистемах (ПАГ)», «эколого-экономических системах».

Объект современной географии представляется как исследование цепочек взаимных связей и взаимообусловленности явлений материального мира земной поверхности, начиная с ландшафтов и их положения в системе глобальных координат и кончая системами формирования культуры, этносоциальных черт и даже духовного облика раз-

личных общностей людей [5], что обуславливает объединение в ИКС данных смежных дисциплин, характеризующих физические, энергетические, информационные отличия исследуемого объекта, определяющие его генезис, структуру и динамику.

Фактор времени, касающийся длительных и кратковременных изменений во взаимодействии общества с постоянно изменяющейся природной средой, всегда присутствует в историко-географических исследованиях, где для каждой категории размерности геосистем выделяются характерные закономерности и только им присущие концепции, учитывающие генезис и иерархичность геосистем. На этом основании в географии получили свое развитие концепции: «эколого-культурное районирование» [4], «геосистемный мониторинг» [11], «эколого-культурный мониторинг» [12].

В нашем случае для обобщения многочисленных географических данных о развитии крупных регионов наиболее приемлемой является концепция о «геоэкологических ситуациях» [10, 12]. Под геоэкологической ситуацией понимается длительновременное состояние природных геосистем как комплекса условий, обеспечивающих и лимитирующих жизнедеятельность человека на конкретной территории. Стремление к познанию причин формирования современных геоэкологических ситуаций и прогнозу дальнейшего развития, а не просто территориальных особенностей распределения диктует необходимость их картографирования в различных временных срезах. Требуются историко-географические карты, отражающие региональную структуру природных геосистем на разных этапах развития, характер их использования и антропогенного воздействия, природные ограничения видов жизнедеятельности человека и потенциальные возможности.

Геоинформационный мониторинг выступает как самостоятельное направление интеграции географической информации в единые программно-целевые информационно-картографические системы, как некий способ объединения природной и антропогенной сторон реальной действительности. Создание комплексной историко-географической ИКС представляет собой соединение традиционного картографического и геоинформационного принципов организации разновременной междисциплинарной географической информации [8, 13]. Это подразумевает сочетание методов информатики в организации баз данных по тематическим и пространственным направлениям с кар-

тографическими методами их анализа, построения изображения, его преобразований в целях представления и получения новых знаний об объекте и предмете картографирования. Исследование географической информации проводится посредством многоступенчатого сопряженного анализа природных и антропогенных факторов формирования геоэкологических ситуаций на основе принципов «геосистемного картографического мониторинга» [11] и «геосистемного эколого-культурного мониторинга» [4, 8].

Объектами геоинформационного мониторинга будут выступать геосистемы как продукт синтеза времени и пространства, олицетворяемый в неповторимом целостном облике взаимосвязанных элементов, которые реагируют на воздействие внешних факторов, в том числе деятельность человека в зависимости от своей организации. Геосистемы будут рассматриваться как особый класс управляющих систем, которые формируются и развиваются в пространстве и времени как единое, взаимообусловленное целое, где связи между природными и антропогенными факторами осуществляются через их общую принадлежность вышестоящей системе. На основе этой методологии станет возможным целенаправленный поиск, сбор и интерпретация данных, обеспечивающих всестороннюю характеристику современного состояния и возможных преобразований геосистем. В результате все данные, полученные в процессе многопланового изучения географических объектов, будут обобщаться на единой основе.

Геосистемный подход геоинформационного мониторинга обеспечивает: учет структуры, состава, динамики и эволюции природной, хозяйственной, демографической составляющих окружающей среды; анализ временных (исторических) характеристик изучаемых объектов, процессов и явлений в системе «природа – общество – производство»; выявление и исследование причинно-следственных отношений в геосистеме и ее отдельных блоках.

Геоинформационный геосистемный мониторинг дает возможность предоставления результатов мониторинга в форме картографических и цифровых моделей. Информационно-картографический мониторинг проводится по группам наблюдений:

- а) ретроспективные, выявляющие хронологию развития геосистем;
- б) инвентаризационные и реинвентаризационные, показывающие их начальное состояние и многолетние итоговые изменения;

в) режимные периодические наблюдения.

Важным блоком в ИКС является ретроспективный блок – пополнения знаний о прошлом для решения задачи управления и прогноза, в том числе с ожидаемыми последствиями. Создание этого блока связано с синтезом разнотипных данных, например классификационной модели современной геосистемы, представленной в виде иерархии типов ее частей, и динамической модели ключевого для нее элемента в единую систему. Данный синтез производится на основе анализа и взаимоувязывания показателей. Тем самым становится возможным отразить, как однородные части геосистемы расчленяются на разнородные, расширяющие классификационные построения, что в свою очередь поможет определить особенности развития и вклад тех или иных факторов в интеграцию геосистем.

Структура инвентаризационного блока в информационно-картографическом мониторинге способствует принятию решений по стабилизации экологической обстановки путем увязывания территориально-ориентированных информационных потоков, характеризующих ее развитие: структура развития производства, структура населения и его социальные характеристики, состояние окружающей среды и природных ресурсов, комплексность осуществления охранных мероприятий, направленных на ресурсосбережение, сохранение и восстановление геосистем.

Блок режимных наблюдений связан с перспективами расширения спектра проблем, обусловленных изменением самого предмета исследования, когда территория со сбалансированным развитием становится важнейшим экономическим ресурсом будущего – территорией «нового освоения». Это, в свою очередь, требует выработки новых подходов и методов анализа и принятия решений, в том числе и на альтернативной основе. Все это сопряжено с увеличением объема информации и расширением знаний о том, что действительно происходит на данной территории и концептуализацией полученных новых фактов для разработки и совершенствования эффективной системы информационно-картографического мониторинга и обеспечения управления территорией в самом широком смысле.

Согласование информации. Тематическое согласование данных о соотношении естественных и антропогенных факторов в эволюции геосистем и формировании

современных геоэкологических ситуаций проводится на основе данных мониторинговых исследований. Основными этапами исследования являются:

1) анализ хронологии историко-географического процесса развития природных геосистем,

2) анализ природных и антропогенных факторов поэтапного формирования состояния геосистем,

3) разработка принципов классификации геосистем,

4) разработка содержания и программы создания единой ИКС бассейна оз. Байкал.

Создание ИКС предполагает разработку:

1) хронологической шкалы картографирования, которая была опубликована ранее [7], хроноструктуры ИКС и содержания системы хронологических таблиц,

2) системы классификации геосистем,

3) тематической структуры ИКС,

4) содержания базовой картографической основы,

5) содержания тематических слоев ИКС.

Для проведения мониторинга в качестве исходных принимаются три основных предположения. Первое из них допускает существование в пределах исследуемых геосистем регионального иерархического уровня некоторой территориальной целостности геоэкологических условий на всех этапах развития и становления современной зональной и высотно-поясной структуры. Согласно второму предположению, общий характер распределения значений основных геоэкологических параметров в разные геологические эпохи был аналогичен современному значению. В связи с этим на основе установленных связей между современными геосистемными структурами и экологическими факторами их формирования и при обеспеченности данными о характере их изменений в разные периоды антропогена возможно создание ретроспективных и прогнозных карт геоэкологического содержания. Третье предположение касается исследования использования геосистем, характера и степени антропогенных воздействий и их последствий. Известно, что в каждый исторический период взаимодействие человека и природы, а также влияние общества на природу определялось геоэкологическими условиями территории, характером ее заселения и освоения, уровнем развития производства, этническими особенностями народов, некогда заселявших регион [5]. В связи с этим последнее предположение заключается в том, что на

более ранних этапах развития общества (доиндустриальный период) в сходных геоэкологических условиях формировались одинаковые хозяйственно-культурные типы (ХКТ), как результат исторического развития человечества в конкретных географических условиях [1, 2].

Хроноструктура мониторинга. Для упорядочения во времени множества различных состояний геосистем разрабатывается хронологическая шкала картографирования. Она показывает геохронологические этапы – последовательность и соподчиненность развития земной коры и органического мира, историко-археологические – развития материальной культуры, историко-географические – развития исторических ландшафтов, историко-этнографические – развития хозяйственно-культурных типов [6, 7].

Прогностическое значение в исследовании эволюции геосистем имеют особенности изменения климата. Наибольшие их изменения связаны с циклами оледенения, межледниковья, внутримежледниковыми и внутривековыми ритмами [3]. Для бассейна оз. Байкал они совпадают со следующими фазами формирования палеоклимата: 39–40 тыс. л.н. – малохетское потепление, 26–28 тыс. л.н. – фаза климатического оптимума межледниковья, 11–12 тыс. л.н. – начало улучшения климата после сарганского похолодания, 7–8 тыс. л.н. – дальнейшее потепление в бореальный климатический период, 5–6 тыс. л.н. – фаза климатического оптимума голоцена (атлантический климатический период), 2–4 тыс. л.н. – ксерофитизация климата в суббореальный климатический период, 2–1,5 тыс. л.н. в субатлантический климатический период – начало ухудшения климата, XVI–XIX вв. – «малая ледниковая эпоха», XIX–XXI вв. – относительное потепление климата [2].

Степень и характер антропогенного воздействия на природные геосистемы определяются посредством анализа продолжительности и характера использования территории, существующих способов производства, этнических особенностей населения. Естественно, что для разных историко-географических образований региона интервалы каждого периода значительно отличаются. Обобщая историко-географический материал по региону, можно выделить следующие хронологические периоды развития процесса природопользования:

1) *природопотребление*:

а) узколокальное минимальное воздействие присваивающего хозяйства при пол-

ном приспособлении к природной среде (35–15 тыс. л.н.);

б) минимальное воздействие в условиях полукочевого образа жизни при занятии охотой, рыбной ловлей, собирательством (пожог, незначительные изменения видов, являющихся объектом охоты и собирательства) (15–5 тыс. л. н.);

2) доиндустриальное природопользование:

в) скотоводство с локальным проявлением антропогенных модификаций геосистем (3–2 тыс. л. н.);

г) скотоводство с элементами земледелия и ремесел со значительным увеличением площади антропогенных модификаций геосистем, локального проявления антропогенного фактора в эволюции геосистем (1 тыс. л. н.),

д) подсечное земледелие с использованием тягловой силы животных со значительным расширением площади производных антропогенных ландшафтов (XVII–XIX вв.);

3) индустриальное природопользование:

е) интенсивное промышленное освоение с максимальным преобразованием природы, появлением антропогенных геосистем крупного ранга и повсеместным

распространением производных антропогенных ландшафтов (XIX–XXI вв.).

Для наиболее значительных в историческом прошлом региона периодов развития геоэкологических ситуаций создаются ретроспективные геоэкологические карты. При этом следует отметить, что для более ранних этапов количество и достоверность информации минимальные. По мере углубления в прошлое приходится восстанавливать картину по косвенным данным, опираясь на наиболее общие закономерности развития.

Хронологические таблицы. Вне всякого сомнения, что лучше всего, если данные ретроспективного исследования находят выражение в наборе историко-географических карт, каждая из которых отображает геосистемы определенного среза времени. Но, как показывает опыт, имеющиеся картографические, статистические, текстовые материалы дают ограниченные возможности для картографирования наиболее ранних этапов историко-эволюционного развития геосистем. В этом случае целесообразно отразить необходимые сведения в хронологической таблице (табл. 1).

Таблица 1

Основные классификационные признаки геосистем

Хронология	Хроноструктура				
	геосистемы		антропогенное воздействие		
	Хронотипы	Экологическое состояние, природные условия, биологическая продуктивность	типы использования	изменения	последствия

Таблица 2

Тематическая структура ИКС

Структурно-функциональные типы карт	Тематика карт	Масштаб
I. Базовые II. Базовые интерпретационные	Карты современного состояния геосистем: 1. Модифицированная общенаучная ландшафтная 2. Ландшафтно-экологическая 3. Комплексная геоэкологическая 4. Геоэкологического зонирования	1:5 000 000
III. Ретроспективные интерпретационные	5. Историко-географические карты геосистем (по выделенным этапам развития)	
IV. Производные	6. Комплексные историко-географические карты 7. Карты эколого-культурного районирования	
V. Индикационные карты	8. Топонимическая 9. Ландшафтно-археологическая 10. Истории заселения и освоения	
VI. Независимые карты. Хронологические таблицы	11. Ранее изданные историко-географические карты из разных источников	Разный

Основными признаками классификации геосистем в разные периоды исследования (хронотипов) могут выступать сходство и различие их природных режимов, характеристики продуктивности, особенности хозяйственного использования, а также характер антропогенного воздействия, предполагаемые изменения и их относительная оценка.

Тематическая структура информационно-картографической системы

Своеобразной мерой согласования междисциплинарной географической информации является разработка тематической структуры ИКС природопользования. Через внутреннее единство своих тематических слоев она обеспечивает свойства, характерные для всех картографических систем: целостность, наглядность, проблемную ориентированность, практическую ценность.

Основной принцип создания ИКС – отражение в определенной хронологической последовательности историко-эволюционного процесса формирования современного состояния геосистем бассейна оз. Байкал. Каждая карта ИКС выполняет определенную структурно-функциональную роль (табл. 2). В процессе согласования системы карт создаются базовые, индикационные, интерпретационные, производные и независимые карты.

В качестве базовой основы для согласования информации используется модифицированная общенаучная ландшафтная карта [9, 12]. На ее основе создаются интерпретационные и производные карты, жестко согласованные с ней. Кроме этого, в состав ИКС входят хронологические таблицы и наиболее информативные ранее созданные исторические карты. Они имеют индикационное значение для исследования процесса взаимодействия общества и природы и формирования геосистем. Это независимые карты, они могут быть графически и содержательно не связаны с другими картами.

ИКС бассейна оз. Байкал будет представлять собой блок согласованных электронных карт геоэкологического содержания, объединенных общим замыслом и созданных на основе научной концепции историко-географического картографирования. Кроме этого, в ее состав будут включены ранее созданные картографические произведения и структурированные в виде таблиц междисциплинарные историко-географические данные.

Многочисленность объектов исследования, их разнокачественность и многоуровненность диктуют необходимость историко-географического картографирования на разных территориально-иерархических уровнях. Региональный уровень предполагает создание блока цифровых карт территории бассейна оз. Байкал в масштабе 1:5 000 000 – 1:7 000 000. Районный уровень будет представлен в масштабе 1:1 000 000 – 1:200 000 набором карт для наиболее освоенных в историческом плане территорий. Локальный уровень картографирования предполагается для районов «нового» освоения в масштабах 1:100 000 – 1:25 000.

Основной методологический принцип создания ИКС состоит в признании глубокой системной зависимости развития геоэкологических ситуаций бассейна озера Байкал от эволюционного изменения природных геосистем под воздействием глобальных изменений климата, а также от характера и степени антропогенного воздействия. Исследуются историко-генетические ряды геоэкологических ситуаций, крайние звенья которых – современные, ныне существующие геоэкологические ситуации, с одной стороны, и восстановленные исторические – с другой [6, 8, 10].

Особенности геоэкологических ситуаций бассейна озера Байкал определяются:

- 1) своеобразием развития природных геосистем,
- 2) историей заселения и традициями природопользования,
- 3) характером и степенью антропогенного воздействия.

Объектами системного картографирования выступают геосистемы разных периодов времени, которые рассматриваются как пространственно-временные природные образования разного генезиса и иерархического уровня, характеризующиеся определенным, детерминированным совокупностью территориальных условий и факторов, типом природопользования и характером антропогенного воздействия [1, 4]. Состояние геосистем, характер использования и антропогенного воздействия на них определяют геоэкологическую ситуацию на каждом этапе историко-эволюционного развития исследуемого региона.

Базовая ландшафтная карта. На первом этапе исследования посредством модификации общенаучной ландшафтной карты юга Восточной Сибири масштаба 1:1 500 000 [9] разрабатывается базовая ландшафтная карта. Исходный масштаб кар-

ты уменьшается до необходимого значения (1:5 000 000) и проводится картографическая генерализация путем перехода от таксономических единиц ландшафтной классификации низшего ранга к более высоким единицам. Каждый ландшафтный контур объединяет территории, близкие по материально-энергетическому обмену, структурным и динамическим особенностям, биологической продуктивности, гидроклиматическим условиям, что свидетельствует об однородности комплекса природных условий и о возможности единых способов их использования.

Интерпретационная геоэкологическая карта. На основе модифицированной ландшафтной карты с использованием данных различных ранее изданных тематических карт и карт атласов разрабатывается интерпретационная геоэкологическая карта. Ее основное назначение заключается в том, чтобы показать экологический потенциал современных природных геосистем как комплекса условий, обеспечивающих и лимитирующих жизнедеятельность человека на конкретной территории. Картографируется не только ландшафт сам по себе как природное явление, но и характер использования, а также мера адекватности его освоения исходным природным предпосылкам. При этом геоэкологическая нагрузка карты сводится к трем позициям: структурному содержанию геосистем, элементам антропогенной нагрузки, характеристике экологического состояния природной среды.

Карты геоэкологического зонирования. На основе комплексной геоэкологической карты посредством геоэкологического комплексирования информации осуществляется геоэкологическое зонирование территории бассейна оз. Байкал. На основе функционально-ценностного подхода устанавливается экологический и хозяйственный потенциал территории. Выделяются территории по экологическим функциям геосистем (средоформирующие, средозащитные и пр.), по степени эксплуатации и заселения территории, по рекомендуемым режимам природопользования. Таким образом, тематическая нагрузка карт геоэкологического зонирования отражает три относительно самостоятельные, но тесно взаимосвязанные составляющие геосистем:

- 1) ландшафтно-экологическую,
- 2) эколого-производственно-техническую,
- 3) эколого-социальную.

Первая характеризует ландшафтно-экологический потенциал исследуемой

территории. Вторая – преобразующую деятельность человека, направленную на обеспечение населения необходимыми природными благами. Третья сторона отражает специфические отношения, складывающиеся между людьми и окружающей средой, направленные на сохранение природы.

Ретроспективные карты. Для каждого периода времени в разработанной хронологической последовательности создается историко-географическая карта. Картированию подлежат историко-генетические ряды геосистем, отражающие их вероятную смену во времени. Карты жестко согласуются с базовой картой и между собой. При их создании огромную роль приобретает глубина интерпретации междисциплинарной разновременной информации, зависящая от квалификации составителя. Это делает каждую карту индивидуальной. Согласование карт проводится посредством соблюдения единых принципов построения классификаций и типологий карт, контурной увязки взаимосвязанных или идентичных объектов картографирования, содержательного и терминологического соответствия легенд.

Производные карты. Картографический анализ разновременных реконструкций ландшафтов позволит создать комплексную историко-географическую карту, отображающую особенности и закономерности процесса развития геосистем в определенной хронологической последовательности. Жестко согласованные историко-географические тематические карты обеспечат эколого-культурное районирование исследуемой территории. Оно рассматривается как процесс вычленения объективно формирующихся и функционирующих природных географических образований, характеризующихся детерминированным совокупностью территориальных условий и факторов способом природопользования. Операционные единицы такого типа районирования концентрируют сведения об общих природных, социально-экономических условиях территории и отражают реакцию геосистем на однотипное антропогенное воздействие.

Выделение индивидуальных эколого-культурных районов основывается на анализе территориальной дифференциации типов геосистем с учетом того, что направленность их развития в известной мере определяется конкретной природной и социально-экономической средой. Территориальной дифференциации соответствует набор районообразующих факторов как по вертикали (по иерархическим уровням),

так и по горизонтали (в пространственном аспекте). Эколого-культурное районирование распадается на ряд этапов: предварительное вычленение природно-антропогенных образований, эколого-культурная параметризация территории, позволяющая скорректировать сетку районов в соответствии с особенностями эколого-культурной обстановки.

Индикационные карты. Они имеют большое значение в исследовании историко-эволюционного процесса развития ландшафтов. *Комплексная топонимическая карта* отражает миграционные процессы, языковую принадлежность народов, некогда заселявших регион, этнические особенности хозяйства и культуры. Исследование топонимов предполагает:

- 1) изучение массовоповторяющихся элементов топонимики;
- 2) сравнительный анализ топонимической системы различных территорий;
- 3) анализ связей этнических миграций населения с особенностями топонимики;
- 4) анализ топонимов, отражающих историко-эволюционный процесс взаимодействия общества и природы.

Ландшафтно-археологическая карта отражает основные особенности динамики освоения и использования территории, сложившиеся в течение длительного исторического периода и вместе с этим характеризует особенности воздействия человека на окружающий ландшафт в разные отрезки времени. Историко-этнографические и археологические материалы позволяют исследовать вопросы развития земледелия и размещения земельных угодий, границы распространения скотоводства и виды ремёсел. При этом рассматриваются вопросы преемственности в природопользовании, исторические традиции, возникновение и развитие прогрессивных его форм, нарушающих прошлый экономический уклад и оказывающих влияние на формирование современного культурного ландшафта. Карта *Истории заселения и освоения территории* имеет большое индикационное значение при изучении проблем размещения коренного населения, этнического природопользования и сохранения его форм на исследуемой территории.

Отдельную группу представляют ранее изданные историко-географические карты из разных источников (независимые карты). Они имеют индикационное значение в исследовании формирования современного облика ландшафтов бассейна оз. Байкал.

Заключение

Разработанная на основе комплексных мониторинговых палеогеографических и историко-географических исследований информационно-картографическая система бассейна оз. Байкал сможет обеспечить информацией все звенья анализа соотношения естественных и антропогенных факторов в эволюции ландшафтов и формировании современных геоэкологических ситуаций. Анализ и интерпретация заложенной в ней информации открывают перспективы для различных теоретических обобщений и географических прогнозов в области природопользования. Кроме научной ценности информационно-картографическая система будет иметь практическое значение. Ее содержание ориентировано на использование материалов при разработке геоэкологических приоритетов и нормативов.

Работа выполнена при финансовой поддержке Всероссийской общественной организации «Русское географическое общество» по договору 172014 / РГО – РФФИ от 13 июля 2015 г. и проекта РФФИ № 16-05-00902.

Список литературы

1. Андрианов В.В., Чебоксаров Н.Н. Историко-географические аспекты хозяйственно-культурного развития народов мира (конец 19 – начало 20 вв.) // Историческая география. – М., 1976. – С. 7–11.
2. Белова В.А. Растительность и климат позднего кайнозоя юга Восточной Сибири. – Новосибирск: Наука, 1985. – 152 с.
3. Герасимов И.П. Экологические проблемы в прошлой, настоящей и будущей географии мира. – М.: Наука, 1985. – 246 с.
4. Дружинин А.Г. Эколого-культурный анализ территориальных систем. Теория и опыт регионального исследования. – Ростов-на-Дону: Изд-во Рост. ун-та, 1991. – 170 с.
5. Ишмуратов Б.М. Территориальная организация природопользования в таежных регионах // География и природ. ресурсы. – 1994. – № 4. – С. 114–120.
6. Кузнецова Т.И., Снытко В.А. История и картографирование природопользования Верхояленя // География и природ. ресурсы. – 1997. – № 2. – С. 25–31.
7. Кузнецова Т.И. Формирование структуры природопользования Верхояленя // Территориальная организация природопользования при газопромысловом освоении Верхояленя. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2000. – С. 72–89.
8. Кузнецова Т.И., Снытко В.А. Картографо-информационная база для ГИС эколого-культурного развития регионов // ГИС для устойчивого развития территорий. Материалы международной конференции, Хельсинки – С-Пб., 2002. – С. 154–159.
9. Ландшафты юга Восточной Сибири: Карта м-ба 1:1 500 000 / Михеев В.С., Ряшин В.А. – М.: ГУГК, 1977. – 4 с.
10. Мельник А.В. Геоэкологические кризисы в историческом прошлом Байкальского региона // Историко-географические исследования Южной Сибири / Ред. Воробьев В.В., Рюмин В.В. – Иркутск, 1991. – С. 86–100.
11. Принципы и методы геосистемного мониторинга / Грин А.М., Мухина Л.И. – М.: Наука, 1989. – 166 с.
12. Рюмин В.В. Пространственно-временной анализ истории ландшафтопользования в Южной Сибири // Историко-географические исследования Южной Сибири / Ред. Воробьев В.В., Рюмин В.В. – Иркутск, 1991. – С. 86–100.
13. Сербенюк С.Н. Картография и геоинформатика – их взаимодействие / ред. В.А. Садовничий. – М.: МГУ, 1990. – 159 с.

УДК 550.361

ИЗОТОПЫ ГЕЛИЯ И ТЕПЛОВОЙ ПОТОК КАК ОТРАЖЕНИЕ СОВРЕМЕННОЙ СЕЙСМОТЕКТОНИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ (ЦЕНТРАЛЬНО-ТУВИНСКАЯ КОТЛОВИНА, ОЗ. ДУС-ХОЛЬ)

Лебедев В.И., Рычкова К.М., Монгуш С-С.С.

ФГБУН «Тувинский институт комплексного освоения природных ресурсов» СО РАН, Кызыл,
e-mail: tikopr@mail.ru

Озеро Дус-Холь находится в Центрально-Тувинской котловине, входящей в межгорный Тувинский прогиб на юго-востоке Алтае-Саянской складчатой области. Изотопное отношение гелия (R) источников оз. Дус-Холь превышает фоновое для пород фундамента и составляет в среднем $69 \cdot 10^{-8}$. Значения R превышают таковые в термоминеральном источнике Уш-Бельдыр ($54 \cdot 10^{-8}$), расположенном в сейсмогенерирующем Билин-Бусийнгольском грабене. Глубинные продукты в среднем представлены коровым гелием на 88,7%, гелием мантии на 5,3%. Высокое содержание изотопного отношения гелия, наличие мантийной составляющей однозначно указывают на проявления скрытого тепломассопотока, т.к. поверхностные проявления кайнозойского вулканизма в Центральной Туве не выделены. Содержания гелий-неонового отношения и водорастворенного гелия значительно превышают соответствующие атмосферные. Это свидетельствует о глубинном характере полученных величин. Измерения после землетрясений показали возросшие величины гелий-неонового отношения и водорастворенного гелия в среднем в 5–6 раз. При этом сейсмотектонические события не повлияли на величину изотопов гелия, что говорит о региональном характере распределения R.

Ключевые слова: Центрально-Тувинская котловина, подземные флюиды, изотопы гелия, общий гелий, мантийный гелий, глубинные разломы, тепловой поток, напряженно-деформированное состояние земных недр

HELIUM ISOTOPES AND HEAT FLOW AS A REFLECTION OF MODERN SEISMOTECTONIC ACTIVITY (CENTRAL TUVA BASIN, OZ. DUS-KHOL)

Lebedev V.I., Rychkova K.M., Mongush S-S.S.

*Tuvian Institute for the Exploration of Natural Resources Russian Academy
of Sciences Siberian Branch, Kyzyl, e-mail: tikopr@mail.ru*

The lake Dus-Khol is located in the Central basin of Tuva, the Tuva part of intermountain trough in the South-Eastern part of the Altai-Sayan region. The ratio of helium isotopes (R) lake source. Dus-Khol exceeds the background for the basement rocks and an average of $69 \cdot 10^{-8}$. The values of R are higher than in thermal mineral springs ush-Beldir ($54 \cdot 10^{-8}$), located in bilin Busiyngolskom seismogenic Graben. Deep the products presented in average crustal helium at 88,7% mantle helium is 5,3%. The high level of the isotope ratios of helium, the presence of a mantle component clearly indicate teplomassopotoka hidden behind the surface manifestations of Cenozoic volcanism in Central Tuva is not highlighted. The ratio of the content of helium-neon and helium significantly exceeds atmospheric water. It shows the profound nature of values received. Measurements showed that increased after the earthquake of a magnitude relationship of helium-neon and helium-water average 5–6 times. At the same seismotectonic events does not affect the number of isotopes of helium, which indicates the regional nature of the distribution of R.

Keywords: Central Tuva Basin, underground fluids, helium isotopes, the total helium, mantle helium, deep faults, heat flow, the stress-strain state of the Earth's interior

Для уточнения и распределения теплового потока на территории Тувы был использован косвенный метод по изотопно-гелиевому отношению в минеральных источниках. Он позволил существенно улучшить геотермическую изученность Тувы на востоке Тувы, где проявлена позднекайнозойская тектоно-магматическая активность. В Центральной Туве оценить тепловой поток по изотопам гелия не получилось, т.к. практически все источники формируются в зоне верхнего активного водообмена и не несут глубинной компоненты. Исключение составили источники оз. Дус-Холь, где косвенные оценки теплового потока значительно превышают измеренные в скважинах.

В предлагаемой статье рассматриваются причины несоответствия косвенных и прямых оценок теплового потока

Цель исследования

Тепловой поток – одна из важнейших физических характеристик глубинных недр. Первые геотермические измерения теплового потока в скважинах Центральной и Западной Тувы на 7 участках показали его низкое значение в среднем 41 при вариациях от 33 до 50 мВт/м² [6]. На северо-востоке и востоке Тувы в двух пунктах по измерениям в скважинах были определены высокие оценки q_T от 60 до 74 мВт/м². Неразбуренность территории затормозила дальнейшее

изучение распределения теплового потока, поэтому нами был использован изотопно-гелиевый метод [5]. Региональные вариации значений изотопов гелия ($^3\text{He}/^4\text{He} \sim R$) подземных флюидов совпадают с вариациями теплового потока, т.к. тепло и гелий из мантии поступают в земную кору согласованно. Зависимость между ними выражена уравнением: $q = 18,231 \lg(^3\text{He}/^4\text{He}) + 181,82$ [4]. Исследования изотопов гелия в минеральных источниках позволили уточнить и расширить представления о тепловом режиме Прихубсугуля, Хангая, Байкальской рифтовой зоны. В настоящее время косвенный метод определения теплового потока широко применяется во всем мире.

Для Восточной Тувы на данный момент получено 18 значений высокого теплового потока в среднем 73 мВт/м^2 , рассчитанных по изотопам гелия и идеально совпадающих с измеренными в скважинах в трех пунктах на северо-востоке и юго-востоке. Полученные значения q_R подтверждают и свидетельствуют о значительной погрешности земных недр на востоке. В Западной и Центральной Туве определить тепловой поток q_R по изотопам гелия не удалось. Источники этой территории формируются в зоне активного водообмена; изотопное отношение гелия не содержит глубинной компоненты и представлено атмосферной составляющей, за исключением двух пунктов: источники – Шуйский и Дус-Холь. Высокие значения изотопов гелия источников оз. Дус-Холь не отвечают измеренному низкому q_T в этом районе.

По измерениям 2013–2014 гг. выявлено двухкратное возрастание гелий-неонового отношения и вариативные до аномальных значения общего гелия; при этом величина отношения изотопов гелия оставалась постоянной. В предлагаемой статье рассматриваются результаты изотопно-гелиевых исследований источников оз. Дус-Холь как показателей сейсмотектонической активности Центрально-Тувинской впадины.

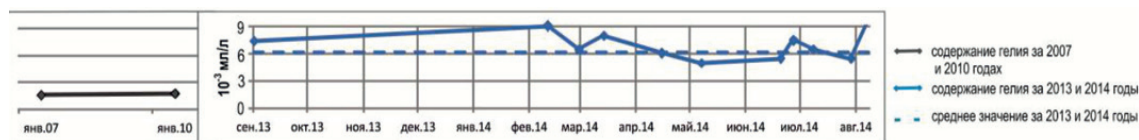
Материалы и методы исследования

Рассматриваемый район расположен в Центрально-Тувинской котловине на границе Тувинского прогиба, ограниченного с северо-востока и юга отрогами хр. Восточный Танну-Ола. Породы прогиба представлены вулканогенно-осадочными толщами палеозоя. С юга Тувинский прогиб ограничен тектонической зоной, проходящей параллельно хребту Восточный Танну-Ола. По мнению многих исследователей, Восточный Танну-Ола геоморфологически сравнительно молодое образование, которое на первоначальном этапе характеризовалось активными блоковыми движениями, захватывающими и Тувинский прогиб. На современном этапе Восточный Танну-Ола выделяется стремитель-

ным поднятием с глубоким эрозионным расчленением, в то время как Тувинский прогиб испытывает опускание. Разнонаправленные движения двух соседних структур разграничены тектонической зоной, проходящей вдоль северных склонов хребта. Активные движения в Тувинском прогибе связаны с блоковыми перемещениями фундамента, которые во многих случаях происходили в результате обновления разломов, существовавших на более ранних этапах развития территории. В результате этих движений сформировались депрессии, к которым относится и оз. Дус-Холь. Преобладают разломы северо-западного и северо-восточного направления с преобладанием круто-наклонных и вертикальных, доходящие до среднепалеозойского фундамента. Работами Гидрогеологической партии Института курортологии и физиотерапии выявлена глубокая циркуляция подземных вод, которая «...весьма заметно увеличивается в зонах тектонических нарушений Тувинской котловины» [3]. По результатам комплексных геолого-геофизических исследований установлено, что Центрально-Тувинская котловина характеризуется сменой блоков с резко изменяющимися скоростными параметрами, свидетельствующими о повышенной сейсмической активности; на глубине 35–40 км выделены аномалии суммарной электрической проводимости. Авторы этой работы предполагают «...вздымание корово-мантийной границы до 35–40 км» [7].

Зимой 2011–2012 гг. на хр. Академика Обручева произошли землетрясения. Они находились в 150 км к северо-востоку от источников оз. Дус-Холь. По данным КНИИГиМС и ЦМЭИ ЧС РТ первое сильное событие, произошедшее 27 декабря 2011 г., имело $M_s = 6,0$. Расчётная интенсивность в эпицентре составила $I_0 = 8$ баллов. Второе, случившееся 26 февраля 2012 г., имело $M_s = 6,4$. Расчётная интенсивность в эпицентре – $I_0 = 8$ баллов. Глубины гипоцентров обоих событий составили 10 км.

Два источника оз. Дус-Холь, Восточный и Западный, расположены в прибрежной зоне озера на восточном и юго-западном бортах на расстоянии около 700 м. Они вытекают из юрских песчаников, залегающих несогласно на средне-верхнепалеозойских гранитах. Мощность отложений юрского возраста, достигающая максимальных 1,5 км в центральной части Тувинской котловины, в районе оз. Дус-Холь участками выклинивается. Источники приурочены к скрытому глубинному разлому север-северо-западного простирания. Озеро бессточное, находится на высоте 700 м над уровнем моря. Восточный источник негазирующий. В газовой фазе Западного источника содержится до 80% азота, кислорода – до 18 и углекислого газа до 3%; температура в обоих источниках не превышает 3 °С. Пробы на изотопы гелия отбирались согласно общепринятой методике. Анализ проб производился в лаборатории геохронологии и геохимии изотопов Геологического института КНЦ РАН (г. Апатиты). Измерения изотопного отношения гелия в 2007, 2010 и 2013, 2014 гг. показали устойчивость этой величины во времени. Постоянство высоких содержаний отношения изотопов гелия на протяжении 7 лет указывает на возможность суждений о региональных закономерностях в распределении значений R [4]. Был проведен отбор проб на общий гелий в 2013 г. с интервалом в 20 дней. Пробы анализировались в Иркутске и Новосибирске на приборе ИНГЕМ–1 (индикатор гелия магниторазрядный). Получено 15 результатов по определению водорастворенного гелия.



Аномальные вариации водорастворенного гелия

Изотопное содержание гелия и его составляющих

№ п/п	Название источника	Год, тип флюида	$R_{изм} \cdot 10^{-8}$	$^4\text{He}/^{20}\text{Ne}$	$\text{He}_{общ} \cdot 10^{-8} \text{ см}^3/\text{см}^3$	$\text{He}_{общ} 10^{-4} \text{ моль/л}$	$R_{исп}$	$\text{He}_m \%$	$\text{He}_k \%$	$\text{He}_a \%$
1	Восточный	2007 водн	65	11,9	160		65	5	93	2
2*	Восточный	2010 водн	82,8	10,1	174		81			
3	Восточный	2013 водн	62	25	741		61	5	94	1
4	Западный	2013 водн	76	22	617		75	6	93	1
5	Западный	2013 газ	71	3,8		56 ppm	65	5	88	7
6	Западный	2013 газ	76	2,5		41 ppm	67	5	84	11
	Восточный	2014 в	60	54	980		60	5	83	12
	Западный	2014 водн	76	36	778		75	6	86	8
Среднее по источникам оз. Дус-Холь							69	5,3	88,7	6
Средний тепловой поток q_R равен 70 мВт/м ²										

Примечание. * – значение не принималось во внимание при расчете $R_{исп}$.

В результаты измерений ($R_{изм}$) вводилась поправка ($R_{испр}$), указывающая на истинную величину изотопного отношения гелия в глубинном газе. Как оказалось, практически для всех проб $R_{изм}$ равна $R_{испр}$. Это говорит о глубинном происхождении гелия проб и о слабом заражающем влиянии атмосферы.

Результаты исследования и их обсуждение

Измерения изотопов гелия источников Восточный и Западный в 2007, 2010, 2013, 2014 гг. показали постоянные и высокие значения $R = (60 - 76) \cdot 10^{-8}$ при фоновом для палеозоя, равном $\sim 10 \cdot 10^{-8}$ (таблица).

При этом значения R несколько превышают таковые в термоминеральном источнике Уш-Бельдыр ($54 \cdot 10^{-8}$), расположенном в сейсмогенерирующем Билин-Бусийнгольском грабене. Содержания гелий-неонового отношения, варьирующие от 10 до 54, также значительно превышают атмосферное, равное 0,3. Глубинные продукты в среднем представлены коровым гелием на 88,7%, гелием мантии на 5,3%; атмосферной составляющей на 6%.

Содержание мантийного гелия остается постоянным (5%) на протяжении всего периода 2007–2014 гг. Сейсмотектонические события не повлияли на величину изотопов

гелия, что говорит о региональном характере распределения R . Высокое содержание изотопного отношения гелия, наличие мантийной составляющей однозначно указывают на проявления скрытого теплового потока, т.к. поверхностные проявления кайнозойского вулканизма в Центральной Туве не выделены.

Высокие содержания водорастворенного гелия в $160 \cdot 10^{-5}$ мл/л при фоновом атмосферном $5,2 \cdot 10^{-5}$ мл/л определены в 2007 году. В 2013 г. выявлены и продолжаются в настоящее время аномальные вариации этого элемента от 617 до $980 \cdot 10^{-5}$ мл/л (рисунок).

Общеизвестно, что гранитные массивы содержат низкие концентрации гелия, а повышенные его концентрации характерны для глубинных разломов, причем максимумы концентраций наблюдаются в местах пересечений последних [9]. Высокие содержания гелия указывают на наличие узла пересечения глубинных разломов, а его увеличение до аномальных свидетельствует о повышении проницаемости и флюидонасыщенности, об увеличении дегазации подземных флюидов из низов коры после землетрясений 2011–2012 гг. Полученные данные подтвержда-

ют, что водорастворенный гелий является одним из самых надежных и чувствительных индикаторов сейсמודинамических изменений земной коры.

Рассчитано [10], что при гелий-неоновом отношении ($^4\text{He}/^{20}\text{Ne}$) более 10 возраст воды исчисляется тысячами и более лет. В наших пробах это содержание, измеренное в 2007 г., составило 10,1–11,6. Поэтому воде источников оз. Дус-Холь тысячи и более [2], а по данным [3] до миллиона лет. Во всяком случае, воды источников довольно «древние», что позволило им набрать глубинные компоненты. Гелий-неоновое отношение в 2007 и 2010 гг. оставалось практически постоянным (10,1 и 11,9), а в 2013 г. оно увеличилось до 22–25, что свидетельствует об «удревнении» воды после землетрясений. Увеличение гелий-неонового отношения и водорастворенного гелия свидетельствует о более глубокой дегазации, об усилении миграции глубинных флюидов после землетрясений 2011–2012 гг. Вследствие землетрясений узел разлома, выводящий источники, был обновлен, произошли подвижки и увеличилась проницаемость, что привело к увеличению потока флюидов.

Приведенные данные свидетельствуют о высокой чувствительности указанных компонентов подземных флюидов источников оз. Дус-Холь на землетрясения 2011–2012 гг.

Измерения в скважинах Центрально-Тувинской котловины дают величину теплового потока (q_T) в среднем 40–44 мВт/м² [1]. Это значение хорошо соответствует раннекаледонскому возрасту складчатого фундамента прогиба. Тепловой поток (q_R), рассчитанный по изотопам гелия, в источниках оз. Дус-Холь намного выше и составляет 70 мВт/м² (таблица). Полученная величина q_R отражает тепломассоперенос, приуроченный к проницаемому узлу в породах фундамента. Землетрясения 2010–2011 гг. увеличили проницаемость узла, что повлекло дегазацию подземных флюидов из низов коры; увеличение глубинных коровых компонентов: общего гелия и гелий-неонового отношения, но при этом содержания отношений изотопов гелия, следовательно мантийного гелия и теплового потока остались на прежнем уровне. Это указывает на глубинный тепломассоперенос, на наличие глубинной магматической активности.

Известно, что в тектонически подвижных прогибающихся структурах значения q_T намного меньше q_R , т.к. на величину те-

плового потока, измеренного в верхней части, оказывают влияние тектонические процессы и активная циркуляция подземных вод, уменьшающие его величину [4, 8]. По геолого-геофизическим характеристикам Центрально-Тувинская котловина является тектонически подвижной прогибающейся структурой с повышенной сейсмической активностью. Об этом говорит ее блоковое строение с резко изменяющимися скоростными параметрами, наличие на глубине 35–40 км аномалий суммарной электрической проводимости, глубокая циркуляция подземных вод, которая «...весьма заметно увеличивается в зонах тектонических нарушений». На величину изотопов гелия, а следовательно, и на q_R тектонические движения не влияют, поэтому рассчитанная величина в 70 мВт/м² в источниках оз. Дус-Холь осталось постоянной и отвечает глубинному тепловому потоку не только в этом пункте, но и имеет региональный характер.

Заключение

1. Установлена высокая чувствительность подземных флюидов источников оз. Дус-Холь на изменение напряженно-деформированного состояния земных недр.

2. Выявленные аномальные вариации водорастворенного гелия свидетельствуют о наличии узла пересечения глубинных разломов, обновлении и активизации после землетрясений 2011–2012 гг.

3. Исследования изотопных отношений гелия позволили определить глубинные компоненты в источниках оз. Дус-Холь, установить наличие скрытого тепломассопотока.

4. Причиной некоррелируемости значений q_R и q_T в районе оз. Дус-Холь является сейсмотектоническая активность Центрально-Тувинской котловины.

5. Флюидонасыщенность, высокая проницаемость, сопряженность глубинных разломов, идущих на значительную глубину, повышенная сейсмическая активность указывает на неустойчивое напряженно-деформированное состояние литосферы Центрально-Тувинской котловины и диктует необходимость изучения зон повышенной проницаемости, прослеживания активности геодинамических процессов, мониторинговые наблюдения индикаторов сейсмической активности Тувы.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (р_Сибирь_а_№ 13-05-98058).

Список литературы

1. Дучков А.Д., Рычкова К.М., Аюнов Д.Е. Тепловой поток Центрально-Тувинской котловины // Состояние и освоение природных ресурсов Тувы и сопредельных регионов Азии. Геоэкология природной среды и общества. – Кызыл: Тув ИКОПР СО РАН. – 2012. – С. 46–52.
2. Каменский И.Л., В.И. Скиба. Возраст воды родников Тувы и Алтайского края // Материалы Всероссийской научной конференции, посвященной 80-летию кафедры гидрогеологии, инженерной геологии и гидрогеоэкологии Томского политехнического университета // под ред. С.Л. Шварцева. – Томск: Изд-во НТЛ. – 2011. – С. 720.
3. Отчет Комплексной гидрогеологической партии «ГЕОМИНВОД» Института курортологии и физиотерапии. Гидрогеологическое обоснование возможности и выведения минеральных вод для бальнеологического использования в пределах Тувинской котловины. – М., 1970.
4. Поляк Б.Г. Тепломассопоток из мантии в главных структурах земной коры. – М.: «Наука», 1988. – С. 192.
5. Рычкова К.М. Тепловой поток территории Тувы по изотопно-гелиевым и геотермическим данным: дис....к. г.-м. н.: Специальность 25.00.10. – Новосибирск, 2009. – С. 117.
6. Тепловое поле недр Сибири // Э.Э. Фотиади (ред.) / Новосибирск: Наука. – 1987. – С. 185.
7. Тойб Р.Е., Мищук О.В., Михайленко В.Г., Кириленко В.А. Комплексные геолого-геофизические исследования глубинного строения и сейсмичности Алтае-Саянской складчатой области: методика, результаты, прогноз // Геология и минеральные ресурсы Центральной Сибири. – Красноярск: КНИИГиМС, 2004. – С. 172–186.
8. Хуторской М.Д.. Геотермия Центрально-Азиатского складчатого пояса. – М.: Изд-во Росс. ун-та др-бы нар-ов, 1996. – С. 289.
9. Янитский И.Н. Гелиевая съемка. – М.: «Недра», 1979. – 96 с.
10. Kamensky I.L., Tokarev I.V., Tolstikhin I.N. $^3\text{He}/^4\text{He}$ dating: A case for mixing of young and old groundwaters // *Geochimica et Cosmochimica Acta*. – 1991. – V. 55. – P. 2895–2899.

УДК 553.982

ЛАНДШАФТНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В РАЙОНАХ ДОБЫЧИ НЕФТИ И ГАЗА (ОТ ТЕОРИИ К ПРАКТИКЕ)**¹Лысенкова З.В., ²Рудский В.В.**¹*Российский университет дружбы народов, Москва, e-mail: zoya.lysenkova@mail.ru;*²*Университет Мартина Лютера Галле-Виттенберг, Галле (Заале), e-mail: rudsky@mail.ru*

Лучшее понимание экологических и социальных последствий деятельности добывающих отраслей требует соответствующих концепций, среди которых особое место занимает ландшафтная. Ландшафтная концепция объединяет различные составляющие окружающей среды и общества, находящиеся во взаимодействии в процессе природопользования. Оценка изменений ландшафтов, находящихся под влиянием нефтедобывающей промышленности, важна для оценки перспектив развития хозяйства России в целом и отдельных регионов в частности. Разработка месторождений и добыча нефти и газа считаются одним из наиболее прибыльных и в то же время экологически неблагоприятных видов человеческой деятельности. Специфика добывающих отраслей – шахтный, карьерный, скважинный способы добычи сырья, использование опасных и токсичных веществ для извлечения полезных компонентов и др. – обуславливает серьезное влияние горного производства на окружающую среду, продолжающееся и после прекращения добычи сырья. Загрязнение воды, почвы, воздуха, уничтожение растительности и животного мира, изменение геоморфологических характеристик территории (которые приводят к образованию оползней и наводнений) и условий жизни местного населения, а также трансформация ландшафтов в целом – наиболее общие последствия добычи минерального сырья. Комбинация физических и химических изменений окружающей среды, вызванных добывающим производством, может привести к образованию непродуктивных, а также в целом опасных ландшафтов. Необходимость развития добывающего производства, с одной стороны, и необходимость сохранения базовых ресурсов для жизнедеятельности местного населения районов добычи минерального сырья – растительности, промысловых животных, почв, пригодной для сельского хозяйства воды, с др. стороны предполагают переход к более качественному управлению добывающими отраслями. В связи с данной установкой изучение различных воздействий горного производства является очень важным условием для точной диагностики изменений ландшафтов, связывающих население и окружающую среду в единое целое, и поиска верных решений эколого-социально-экономических проблем.

Ключевые слова: ландшафт, нефть, газ, экологические проблемы, социально-экономические и экологические последствия

LANDSCAPE RESEARCH IN THE AREAS OF OIL AND GAS PRODUCTION (FROM THEORY TO PRACTICE)**¹Lysenkova Z.V., ²Rudskiy V.V.**¹*Peoples' Friendship University of Russia, Moscow, e-mail: zoya.lysenkova@mail.ru;*²*Martin Luther University Halle-Wittenberg, Halle (Saale), e-mail: rudsky@mail.ru*

A better understanding of the environmental and social impacts of extractive industries requires appropriate concepts, among which a special place is the landscape. The landscape concept integrates the various components of the environment and society, which interact in the process of environmental management. Evaluation of changes in the landscape under the influence of the oil industry, important to assess the prospects of development of economy of Russia and separate regions in particular. Field development and production of oil and gas are considered one of the most profitable and, at the same time, environmentally unfriendly human activities. The specificity of the extractive industries – mining, quarrying, underground mining of raw materials, use of hazardous and toxic substances for the extraction of useful components, etc. – leads to a major impact of mining on the environment, and continuing after the cessation of mining. Pollution of water, soil, air, destruction of vegetation and wildlife, the changing geomorphological characteristics of the territory (which lead to the formation of landslides and floods) and the living conditions of the local population, as well as the transformation of landscapes in General – the most common consequences of the extraction of mineral raw materials. The combination of physical and chemical environmental changes caused by mining production, can result in unproductive and even sterile, as well as overall threat landscape. The necessity of development of mining production, on the one hand, and the need to preserve the resource base for livelihoods of the local population of mining areas of mineral raw materials – vegetation, game animals, soils suitable for agriculture water, suggesting a transition to a better management of the extractive industries. In connection with this installation to study various impacts of the mining industry is a very important condition for accurate diagnosis of changes of landscapes, linking the population and environment into a coherent whole, and finding the right solutions to ecological and socio-economic problems.

Keywords: landscape, oil, gas, environmental issues, socio-economic and environmental impacts

Цель исследования

Ландшафтные исследования – это широкие и комплексные действия, направленные на изучение дифференциации природной среды и оценку состояния выделенных,

объективно существующих природных образований (ландшафтов). Существуют различные подходы к формулировке ландшафта. Обычно ландшафт понимается как материально измеряемое исследовательское поле, которое является результатом

взаимодействия между обществом, его культурными традициями и конкретными для данной территории физико-географическими условиями. Понятие ландшафта включает также и ментальное измерение, основанное на восприятии и интерпретации обществом физической реальности своего существования. Эта интерпретация отражает ценности, которые приняты в данном обществе по отношению к их окружающей среде. Таким образом, целью наших исследований является оценка ландшафтных изменений, происходящих на территориях, находящихся под влиянием человека в целом и отдельных отраслей хозяйства (нефтедобывающих отраслей).

Теоретические основы исследования

Объект изучения географии может быть рассмотрен по различным направлениям. Одна из основных перспектив географии связана с изучением отношений между обществом и окружающей средой. В географической традиции *окружающая среда* понимается по двум противоположным сторонам. С одной стороны, окружающая среда не обращает внимания на индивидуальные представления о ней (т.е. ОС существует объективно, она не обладает индивидуальностью в зависимости от воспринимающего ее), с другой стороны, окружающая среда – понятие субъективное, существующее в понимании человека. Существуют и «промежуточные» точки зрения, в которых ОС называется пространством, местом, регионом или ландшафтом. Тем не менее термин ландшафт широко применяется и за пределами географии – в других науках, искусстве, повседневной жизни.

Результатом истории развития представлений о ландшафте стало понятие о нем и как материальном элементе окружающей среды, и как ментальном образе. В гуманитарной географии ландшафт стал выражением человеческой мощи и силы приписывать определяющие характеристики окружающей среде, создавая границы и дифференцируя территории. В физической географии ландшафт понимался как пространственная форма, которая будет определять экологические процессы. Обе трактовки ландшафта в качестве объекта имели материальное пространство, в котором выделялось либо антропогенное начало, либо его (пространства) влияние на экологические ситуации.

В отечественной литературе ландшафт понимается как реальное материальное

образование, состоящее из природных компонентов и их антропогенных изменений. Очевидно, что в ландшафте можно изучать его природные и антропогенные составляющие. Говоря о природном ландшафте, часть исследователей акцентирует внимание на абиотическом аспекте и изучает ландшафт как морфологию (речь идет о формах рельефа). Последователи ландшафтной экологии изучают физико-географические и биологические единицы, их функционирование. Современные тенденции в ландшафтных исследованиях отражены в подходе, согласно которому ландшафт в целом – это культурная сущность, этимологически означающая «то, что на поверхности земли», т.е. «созданная человеком земля». И новые тенденции в экологических исследованиях выступают против концепции природы как противоположности культуры, поддерживая вышеприведенную точку зрения. Со всех точек зрения на ландшафт как материальное интегральное образование возможно его реальное изучение, т.к. он имеет пространственное измерение и, как следствие, может быть классифицирован, отображен на картах и проанализирован.

Важное место в науке о ландшафте уделяется классификациям. Классификация рассматривается как методологическая неизбежность (потребность) изучения ландшафта. Она основывается на трех подходах:

- 1) тематический подход, который сосредотачивается на анализе и поиске взаимосвязей между различными компонентами;
- 2) региональный подход – изучение ландшафта как иерархических единиц;
- 3) пространственный подход – анализ геометрических характеристик ландшафта и его экологического функционирования.

Любой ландшафт изменяется со временем под влиянием природных и (или) антропогенных факторов и их взаимодействия. Главными природными факторами ландшафтных изменений являются геоморфологические процессы в совокупности с климатом и освоением территории организмами, а также особенностью почв и топографии ландшафта.

Человеческий фактор рассматривается как мощнейший фактор ландшафтных преобразований, т.к. человек всегда адаптирует окружающую его среду под свои нужды, согласно своим потребностям, в результате чего ландшафт приобретает другие формы. Антропогенные изменения (их содержание, масштабы, скорость) связаны с численно-

стью населения, его потреблением и технологическими возможностями. В настоящее время считается, что основное давление человека на ландшафты связано с застройкой территории (здания и дороги), сельским хозяйством, развитием различной инфраструктуры и рекреацией.

Существуют различные методы ландшафтных исследований и изучения происходящих изменений. Один из наиболее традиционных – сравнение разновременных карт на одну и ту же территорию. Работа с материалами дистанционного зондирования предполагает анализ различных документов: аэрофото- и космоснимков, почвенных анализов, интервью с местными жителями и т.д.

Процесс выбора соответствующих методов и методик требует внимательного обращения к географической науке, в рамках которой выполняется исследование. Как следует из обзора представлений о ландшафте, ландшафтная теория и ее методы являются частью географической традиции и являются частью обсуждений между пониманием мира как реальности или ментальной конструкции. Задача понять ландшафт как физическую реальность требует понимания (изучения) окружающей среды как реальности. Проблема восприятия ландшафта связана с интерпретацией этой среды местным населением, промышленниками и др. действующими лицами. Всё это затрудняет нахождение единственного методологического подхода, в результате чего напрашивается вывод об использовании как качественных, так и количественных методов, чтобы собрать данные и дополнить найденное.

Для изучения влияния добычи нефти и газа на ландшафты мы обратились к новым методам исследования окружающей среды – географическим информационным системам и снимкам территории, которые дают возможность использования разновременной информации и ее сравнения.

Полученная база данных не является конечным продуктом исследования. Сбор данных – это постоянный процесс принятия решений, который высвечивает определенные аспекты объекта и интерпретирует его в процессе ландшафтного картографирования.

Первый шаг в ландшафтном картографировании – организовать реальность, найти категории, которые соответствуют нашему исследованию, при этом понимая, что они (категории) – абстрактны и способны отразить лишь часть сложной реальности.

Определение пространственных категорий ландшафта тесно связано с субъективными знаниями ситуации. Задачей является найти пространственные категории, которые соответствуют особенностям изучаемого ландшафта – района добычи нефти и газа. Эти пространственные категории представлены на карте природопользования района.

На этой карте категории земельного покрова ассоциируются с землепользованием, которое отражает «занятость» территории различными антропогенными и природными ландшафтами. На практике категории природопользования и ландшафтов должны быть разделены.

Основной вывод: главный фактор происходящих изменений и возникающих экологических проблем связан с добычей углеводородного сырья, которая приводит к изменению самой поверхности. Добыча нефти и газа трансформировала территорию традиционного природопользования с низкой плотностью населения, социально и организационно структурированную, со своими ландшафтными особенностями и их восприятием.

Проблемную область развития нефтегазодобывающих районов при условии сохранения благоприятной экологической ситуации можно разбить на три группы (категории) задач (проблем).

1. Задачи федерального уровня, которые не могут быть решены на муниципальном и региональном уровнях. Прежде всего, это проблема институциональных дефицитов и государственной политики. Их влияние на свою судьбу нефтегазодобывающие районы Западной Сибири разделяют со всеми муниципальными образованиями страны и ничем особым в этом плане не выделяются. В качестве примера можно указать на серьезные проблемы и противоречия в ресурсном и экологическом законодательстве страны (водное, земельное, лесное, экологическое право) и регулировании гражданских отношений (в частности, Гражданский кодекс). Максимум, что здесь может сделать любой административный район, это в рамках существующего законодательства попытаться компенсировать недостатки государственной политики на своем уровне.

2. Задачи преимущественно федеральной и региональной власти, в которых район может влиять на принятие решений. У всех муниципальных образований есть проблемы, которые связаны с формированием бюджетных отношений, уточнением

круга полномочий администраций, утверждением места и роли района в регионе и т.д.

3. Задачи муниципального уровня, которые обычно обсуждаются как прерогатива муниципального уровня управления. Имеющиеся у нас материалы позволяют сделать вывод о том, что региональные власти занимают активную, профессиональную и хорошо продуманную позицию. Фактически сформирована программа развития большинства нефтегазовых районов, в которой нашли место почти все «узкие места» и «больные точки» территории. Эта группа задач на сегодняшний день представляется относительно структурированной. Обобщенно выделим в ней три главных аспекта:

- поиск новых ресурсов и путей развития,
- обозначение задач и направлений (собственно концепция развития) с мерами их поддержки,

- выработка и реализация своей экономической политики, включающей инициацию, поддержку, устранение препятствий для реализации и анализ выполнения ключевых решений.

Географические аспекты проблемы предполагают выявление функций и свойств ландшафта, а также разработку предложений по сохранению ландшафта и его компонентов – почв, воды, воздуха, растений и животных, так и эстетических свойств ландшафта. При этом перед географами ставятся следующие задачи:

- 1) экспедиционное изучение компонентов природы и ландшафтов как целостной динамической системы;

- 2) определение особенностей влияния природной системы на производственную деятельность людей и различные формы природопользования;

- 3) оценка качества природной среды, служащие ключевыми моментами планов территориального развития, а также регулирования воздействий на окружающую среду и проведения экспертизы проектов;

- 4) определение концептуальных положений развития территории на основе географических критериев (структура ландшафта, плотность населения, особенности хозяйства);

- 5) формулировка мер, направленных на совершенствование процесса природопользования и сохранение природной среды.

Существенно важным с географических позиций остается вопрос о том, какой уровень экологической опасности (экологического риска) можно считать приемлемым с точки зрения устойчивости природ-

ных и социально-экономических систем и в каких единицах следует его измерять? Это определяется целым комплексом субъективных и объективных факторов. Прежде всего, степень опасности зависит от компромисса между государственными службами, решающими вопросы экологической безопасности, специалистами научной сферы и широкой общественностью. Все они по-разному оценивают степень природной и техногенной опасности, существующей в каждом конкретном регионе. По всей видимости, как такового компромисса между этими структурами быть не может, но иметь свою точку зрения и при этом вырабатывать общие подходы необходимо [9, 11, 14].

Таким образом, сбалансированное развитие природы и общества вряд ли возможно, особенно в условиях добычи нефти и газа. Человеческий фактор будет всегда доминирующим, однако ориентация его в направлении поиска компромисса между природными и технологическими системами целесообразна и может минимизировать негативные последствия антропогенного и техногенного воздействия на природную среду [5].

Выводы

На территории, связанной с добычей нефти и газа в Западной Сибири произошли значительные изменения, которые особенно сильно затронули примерно 45% площади. Наибольшие изменения затронули северную тайгу и лесотундру, а также места собственно добычи, площади которых соответственно уменьшились и возросли. Основные изменения – это трансформация лесных, луговых, болотных и водных экосистем. Изменения за пределами ареалов добычи коснулись 32% территории (связаны в основном со строительством дорог и населенных пунктов), следовательно, практически все ландшафтные изменения в той или иной степени вызваны активизацией добывающей деятельности.

Перед началом современного этапа нефтегазового освоения данная территория воспринималась местным населением как место, где было обилие водных и пастбищных ресурсов, позволявших разводить огромные стада северных оленей, КРС, овец и др. животных и птиц. Добыча углеводородного сырья привела к трансформации и разрушению территории, гибели животных и возникновению целого комплекса экологических проблем.

Весте с тем нельзя не учитывать и позитивную роль процесса освоения данной территории. Применение методов ландшафтных исследований поможет в дальнейшем найти рациональные пути совмещения экологических и экономических факторов развития данной территории.

Таким образом, при изучении ландшафта уместно использовать качественные и количественные методы исследований [3]. Изменения ландшафтов – это часто (если не всегда) изменения природно-ресурсного потенциала. Поэтому ресурсы можно считать ключевой идеей в изучении ландшафтов в социально-экологической тематике будущего. С точки зрения (восприятия) местного населения, ландшафт сам является ресурсом для жизни. Ландшафт как ресурс – вполне подходящая характеристика отношений между материальной и ментальной сущностью ландшафта применительно к географическим исследованиям любых территорий, в том числе и районов нефтегазового освоения.

Список литературы

1. Рудский В.В. Категория экологического риска в географических исследованиях // Фундаментальные исследования. – 2013. – № 10–14. – С. 3153–3156.
2. Рудский В.В. Применение ландшафтной концепции при оценке воздействия горных работ на природную среду (по материалам зарубежных исследований) // Современные проблемы науки и образования. – 2013. – № 6; URL: <http://www.science-education.ru/113-11817> (дата обращения: 24.01.2014).
3. Рудский В.В., Лысенкова З.В. Количественные показатели оценки состояния антропогенных ландшафтов // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – № 3; URL: <http://www.science-education.ru/117-13426> (дата обращения: 10.06.2014).
4. Antrop M. Background concepts for integrated landscape analysis. Agriculture, Ecosystems and Environment. – 2000. – № 77. – P. 17–28.
5. Antrop M. Why landscapes of the past are important for the future. Landscape and Urban Planning. – 2005. – № 70. – P. 21–34.
6. Bastian O. Landscape Ecology – towards a unified discipline? Landscape Ecology. – 2001. – № 16. – P. 757–766.
7. Conzen M.P. Cultural Landscape in Geography. In Smelser N.J. and Baltes P.B. (Eds.): International Encyclopaedia of the Social and Behavioural Sciences. Pergamon. – 2001. – P. 3086–3092.
8. Haase G. Ziele und Aufgaben der geographischen Landschaftsforschung in der DDR. – «Geograph. Berichte». – 1977. – № 1. – P. 1–19.

УДК 911.2(571.64)

ЛАНДШАФТНО-КЛИМАТИЧЕСКИЕ ИЗМЕНЕНИЯ НА ОСТРОВАХ ЗАЛИВА ПЕТРА ВЕЛИКОГО (ЯПОНСКОЕ МОРЕ) ЗА ПОСЛЕДНИЕ 20 000 ЛЕТ

Лящевская М.С.*ФГБУН «Тихоокеанский институт географии Дальневосточного отделения
Российской академии наук», Владивосток, e-mail: lyshevskaya@mail.ru*

Проведенные палеопалинологические исследования осадочных отложений островов залива Петра Великого показали, что потепление в начале раннего голоцена, которое продолжалось и во второй половине раннего и в начале среднего голоцена, привело к возникновению здесь формаций широколиственных лесов. Похолодание в конце среднего голоцена привело к увеличению роли мелколиственных пород в составе лесной растительности. В позднем голоцене на ряде островов развиваются хвойно-широколиственные леса. В первой половине позднего голоцена происходит кратковременное потепление, в составе растительного покрова распространяются дубово-широколиственные леса. Начавшееся после этого существенное понижение температуры, достигшее экстремальных значений в малый ледниковый период, способствовало увеличению луговых сообществ в прибрежных ландшафтах и развитию мелколиственных лесов. Наблюдаемое в XX в. стабильное потепление и значительное антропогенное влияние привели к сведению хвойных ассоциаций, распространению широколиственных лесов, послепожарных сукцессий и лугово-кустарниковых сообществ.

Ключевые слова: климатические изменения, растительность, голоцен, спорово-пыльцевые данные, острова

LANDSCAPE-CLIMATE CHANGES OF THE ISLANDS OF PETER THE GREAT BAY (SEA OF JAPAN) DURING LAST 20 000 YEARS

Lyashevskaya M.S.*Pacific Geographical Institute FEB RAS, Vladivostok, e-mail: lyshevskaya@mail.ru*

Our paleopalynological researches of the island sediments have shown the early Holocene climate warming which continued into the second half of the early Holocene and the early mid-Holocene and resulted in expansion of broad-leaved vegetation. The mid-Holocene climate cooling caused small-leaved species to spread in forests. Coniferous-broad-leaved forests grew on several islands in the late Holocene. A short warming took place in the first half of the late Holocene; oak-broad-leaved forests expanded in the vegetation cover. A period of considerable cooler weather followed this warming, with extremely cold weather during the Little Ice Age contributed to expansion of coastal grasslands and small-leaved forests. Global warming occurring throughout XX century as well as strong anthropogenic influence have since then resulted in the destruction of coniferous communities, expansion of broad-leaved forests, shrub-grass communities and pyrogenic succession.

Keywords: climate changes, vegetation, Holocene, spore-pollen data, islands

В акватории залива Петра Великого, омывающего юго-западную оконечность Приморского края, находится около 40 островов. Архипелаг императрицы Евгении является продолжением полуострова Муравьев-Амурский и протягивается в юго-западном направлении. Он состоит из пяти крупных островов (Русский, Попова, Рикорда, Рейнеке, Шкота) и пары десятков более мелких островков. Архипелаг Римско-Корсакова расположен в западной части залива Петра Великого. Архипелаг состоит из 6 крупных островов и десятка мелких островков и скал, является частью территории Дальневосточного государственного морского заповедника. Наикрупнейшим из них является остров Большой Пелис. Несколько также достаточно значительных островов (Антипенко, Сибиряково, Герасимова и др.) расположено возле побережья Хасанского района Приморского края. Самым южным является остров Фуругельма.

Два других крупных острова зал. Петра Великого – Аскольд и Путятин – находятся в его восточной части, в пределах другой структурно-формационной подзоны [4].

Климат залива Петра Великого определяется муссонной циркуляцией атмосферы, географическим положением района, положением траекторий циклонов, эпизодическим выходом тайфунов, воздействием холодного Приморского и теплого Цусимского (на юге) течений. Среднее годовое количество осадков в районе г. Владивостока достигает 830 мм, 85% из них приходится на летний период. Средняя годовая температура воздуха равна примерно 6°C, самым холодным месяцем является январь (–16 – –17°C), теплым – август (+20 – +21°C) [19].

Растительность островов характеризуется полидоминантными широколиственными лесами кустарниково-разнотравными с лианами из актинидии острой (*Actinidia*

arguta), лимонника китайского (*Schisandra chinensis*), винограда амурского (*Vitis amurensis*), но есть и долинныя леса, липовые леса, на склонах обычны преимущественно дубняки, часто паркового типа, на приморских скалах и у полосы прибоя – густые, нередко прижатые к камням, заросли. Кустарниково-полукустарниково-травяные сообщества в основном имеют постпиrogenное происхождение.

Растительный покров островов отличается от сопредельного материкового побережья. На ряде островов (Наумова, Большой Пелис, Стенина, Клыкова и др.) выявлены очень своеобразные сообщества тиса острожного (*Taxus cuspidata*), стелющиеся леса из яблони маньчжурской (*Malus mandshurica*) (о. Рейнеке и др.), дубняки с подлеском из прибрежно-морского шиповника (*Rosa rugosa*), липовые леса. Древесные породы, которые на материке не играют большой роли в лесной растительности, на островах могут быть доминантными.

Острова являются хранилищем эталонов своеобразных растительных сообществ, конкретных флор и уникальных популяций. Их положение обуславливает специфику флористического состава и особенности участия отдельных видов в сложении сообществ. Некоторые представители флоры региона и даже России известны только на этих островах: низмянка малая (*Centunculus minimus*), ситовник многоколосый (*Pycreus polystachya*), дубровник верониковидный (*Teucrium veronicoides*) и др. На островах залива Петра Великого ярко выделяются две группы видов сосудистой флоры – восточноазиатские лесные и северопацифические прибрежноморские, что связано с положением района на стыке Великого океана и Азиатского материка. Таксономический состав флоры островов представляют 1162 вида из 501 рода и 130 семейств: это практически половина видового состава сосудистой флоры Приморского края [23].

Информация по развитию природной среды и проявлению климатических изменений на островах залива Петра Великого имеет большое значение для понимания особенностей формирования современной растительности, ее устойчивости и выявления естественных долговременных процессов изменения современной природной обстановки, что в свою очередь дает возможность более основательно предвидеть ее изменения в будущем и имеет важное значение для планирования хозяйственной деятельности.

Цель настоящей работы – изучить этапы становления природной среды островов в голоцене, провести реконструкцию палеоландшафтов и выявить роль природных и антропогенных факторов в формировании современных островных геосистем. Полученные результаты станут основой для построения карт палеосреды островов залива Петра Великого на различные временные срезы голоцена и помогут в определении ближайших палеоаналогов. Например, реконструкцию растительности и климата в оптимум голоцена можно рассматривать как ближайший палеоаналог глобального потепления на 0,7–1 °C.

В период 2009–2016 гг. осуществлялись полевые работы с отбором проб для спорово-пыльцевого, диатомового и радиоуглеродного анализов, всего было изучено 35 разрезов, заложенных на 17 островах.

Результаты исследования и их обсуждение

В результате ранее проведенных палеогеографических исследований на островах залива Петра Великого [1, 13, 14, 15, 16, 18, 22] и полученных новых данных удалось проследить развитие природной среды на разных возрастных срезах за последние 20 000 лет, сопоставить ход и тенденции в изменении процессов в регионе в результате изменений климата и колебаний уровня моря.

В последнюю холодную стадию позднего плейстоцена, когда уровень Японского моря был ниже современного на 110–130 м [6], все острова залива Петра Великого были объединены с материком и имели общую флору и фауну. В это время (18–20 тыс. ¹⁴C лет назад) береговая линия залива Петра Великого проходила по краю шельфа, а реки выработали здесь глубокие долины с крутыми склонами.

Западное обрамление Японского моря находилось в умеренно теплой ландшафтно-климатической области [20], что удалось установить при реконструкции ландшафтов хвойных и широколиственных лесов в районе островов залива Петра Великого по спорово-пыльцевым данным. Именно к этой области приурочена граница систематического сезонного промерзания грунтов. Среднегодовая температура в районе островов залива Петра Великого была ниже современной, по некоторым оценкам на 5 °C (т.е. + 1 °C), условия были более сухими (до 400 мм в южном Приморье [11]), вследствие усиления действия зимнего муссона, вечная мерзлота отсутствовала.

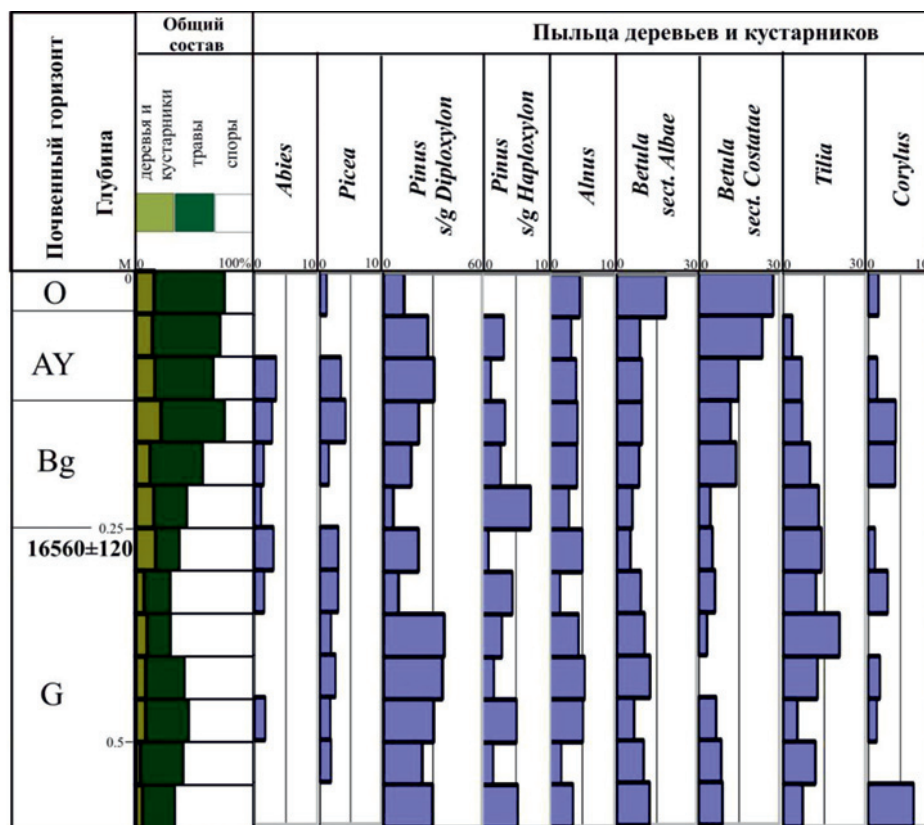


Рис. 1. Спорово-пыльцевая диаграмма почвенного разреза острова Рикорда (начало)

Вдоль побережья на сухих каменистых склонах произрастала сосна густоцветковая (*Pinus densiflora*), спорово-пыльцевые спектры содержат до 37% ее пыльцы в группе древесной растительности (рис. 1). Она является достаточно морозостойкой и способна расти в условиях морских туманов и засоления почвы морской водой, переносит сильные ветра и на ветродуйных участках принимает причудливые формы кроны. Сосна густоцветковая легко воспламеняется, что явилось одной из причин сокращения ее ареала в историческое время. Наиболее крупные массивы реликтовых лесов из сосны густоцветковой с берёзой Шмидта (*Betula schmidtii*) и рододендром Шлиппенбаха (*Rhododendron schlippenbahii*) сохранились на полуострове Гамова – до 1000 га сосняков и до 5 тыс. га, считая дериваты с «азалией» в верховьях р. Пойма и в верховьях р. Барабашевка [17]. Единичные экземпляры произрастают в окрестностях Владивостока и на о-вах Шкота, Фуругельма. Из других лесообразующих пород на побережье были распространены липа, береза, дуб, небольшая примесь ели и пихты.

Около 18 тыс. лет назад началось постепенное потепление климата. В составе растительности доля хвойных и мелколиственных пород начала снижаться, а доля широколиственных увеличиваться (^{14}C -возраст 16560 ± 120 лет, ЛУ-7564) (рис. 1). Медленный подъем уровня моря привел к затоплению прибрежной суши и образованию островов около 8–10 тыс. лет назад [3].

В голоцене температурный тренд возрастал, достигнув максимума в оптимум голоцена (около 6000 ^{14}C лет назад), когда среднегодовая температура была на 3–5 °C выше современной, количество атмосферных осадков составляло до 1000–1200 мм [9, 10]. На спорово-пыльцевых диаграммах (рис. 2) можно видеть самые высокие показатели суммы пыльцы широколиственных, пик которых приходится на температурный оптимум среднего голоцена в районе 6000 лет (6262 ± 32 , D-AMS 011550; 6329 ± 34 , D-AMS 011549). Другими индикаторами тепла могут служить высокие значения количества пыльцы граба сердцелистного (*Carpinus cordata*) (до 18%) по сравнению с современным (2%) (рис. 2), что говорит о распространении на

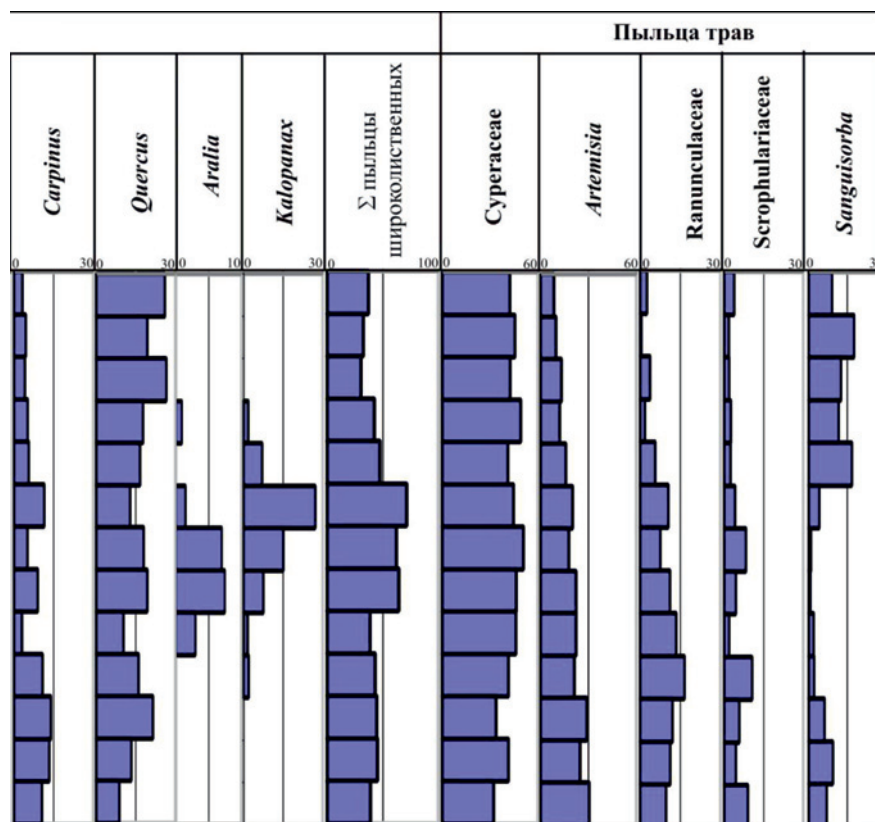


Рис. 1. Спорово-пыльцевая диаграмма почвенного разреза острова Рикорда (окончание)

островах залива Петра Великого широколиственных дубово-грабовых лесов (о-ва Стенина, Русский [18] и др.), и присутствие пыльцы бука (*Fagus* sp.) в спорово-пыльцевых спектрах (рис. 2), хоть и единичной, но свидетельствующей о расширении его ареала на север.

На о-вах Шкота, Энгельма, Лаврова поддоминантный широколиственный лес состоял из бархата амурского (*Phellodendron amurense*), липы амурской (*Tilia amurensis*) с примесью березы плосколистной (*Betula platyphylla*) и подлеском из лещины маньчжурской (*Corylus mandshurica*), представителей сем. аралиевых, винограда амурского с папоротниковым покровом (4470 ± 140 , ЛУ-7528). На скалистых вершинах островов произрастал смешанный лес из сосны густоцветковой, дуба монгольского (*Quercus mongolica*), березы плосколистной с участием ели, подлеском из лещины маньчжурской (*Corylus mandshurica*) и разнотравно-папоротниковым покровом.

На ряде островов хвойно-широколиственный лес из дуба, ясеня, граба, ореха маньчжурского (*Juglans mandshurica*) с уча-

стием сосны густоцветковой и березы покрывал большую их часть (о. Фуругельма).

Кроме того, важным событием среднего голоцена была трансгрессия Японского моря (+ 2–3 м), затопившая прибрежные низменные участки [7, 8], что привело к образованию теплых мелководных заливов и лагун.

В течение среднего голоцена также происходили короткоамплитудные разнонаправленные флуктуации климата. Так, например, перед температурным максимумом могло иметь место небольшое коротковременное похолодание, зафиксированное также при изучении торфяников Нижнего Приамурья [24]. Сумма пыльцы широколиственных и отдельных ее таксонов: дуба, граба, ильма, ореха и т.д. – в спорово-пыльцевых спектрах, соответствующих отложениям данного периода, уменьшается (с 68 до 43%). Возможно, что среднегодовые температуры все же были выше современных, т.к. сумма пыльцы широколиственных в субфосильном палиноспектре на 10% меньше (рис. 2). После максимума среднего голоцена температурный тренд начал сни-

жаться. В это время (4020 ± 110 , ЛУ-7127; 3520 ± 90 , ЛУ-7562), на склонах островов произрастал липово-широколиственный лес с калопанаксом семилопастным (*Kalopanax septemlobus*), ясенем, ильмом горным (*Ulmus laciniata*), грабом сердцелистным, березой даурской (*Betula davurica*) и другими породами с папоротниково-пыльно-разнотравным покровом. На побережье был развит дубово-широколиственный лес с калопанаксом, березой, липой и другими породами с папоротниково-пыльно-разнотравным покровом. Снижение среднегодовых температур на $1,5\text{--}2,0^\circ\text{C}$ ниже современных на границе атлантик – суббореал [11] сопровождалось регрессией Японского моря (до 3–4 м [5]), что привело к осушению части лагун и усилению эрозии в устьях рек. На прибрежных низменностях начали накапливаться торфяники мощностью до 2–4 м.

Снижение температуры продолжалось и в начале позднего голоцена, около 2000

лет назад, достигло своей кульминации. Сумма пыльцы широколиственных (дуба, ореха, ильма, лещины и др.) в спорово-пыльцевых спектрах падает, пыльца клена исчезает, в составе лесной растительности островов увеличивается роль мелколиственных пород, в том числе появляется береза кустарниковая (*Betula fruticosa*) (1640 ± 90 , ЛУ-7563) (о-ва Рикорда, Попова). На побережье видовой состав дубняков становится более бедным, возможно в древостое присутствовала сосна густоцветковая, о чем свидетельствует высокий процент содержания ее пыльцы в спорово-пыльцевых спектрах (о. Рикорда). На о. Путятин были развиты пыльно-разнотравно-папоротниковые сообщества, в лесных фитоценозах преобладала береза плосколистная с примесью кустарниковой и даурской, дуба монгольского, липы амурской, ольхи волосистой (*Alnus hirsuta*) и других пород.

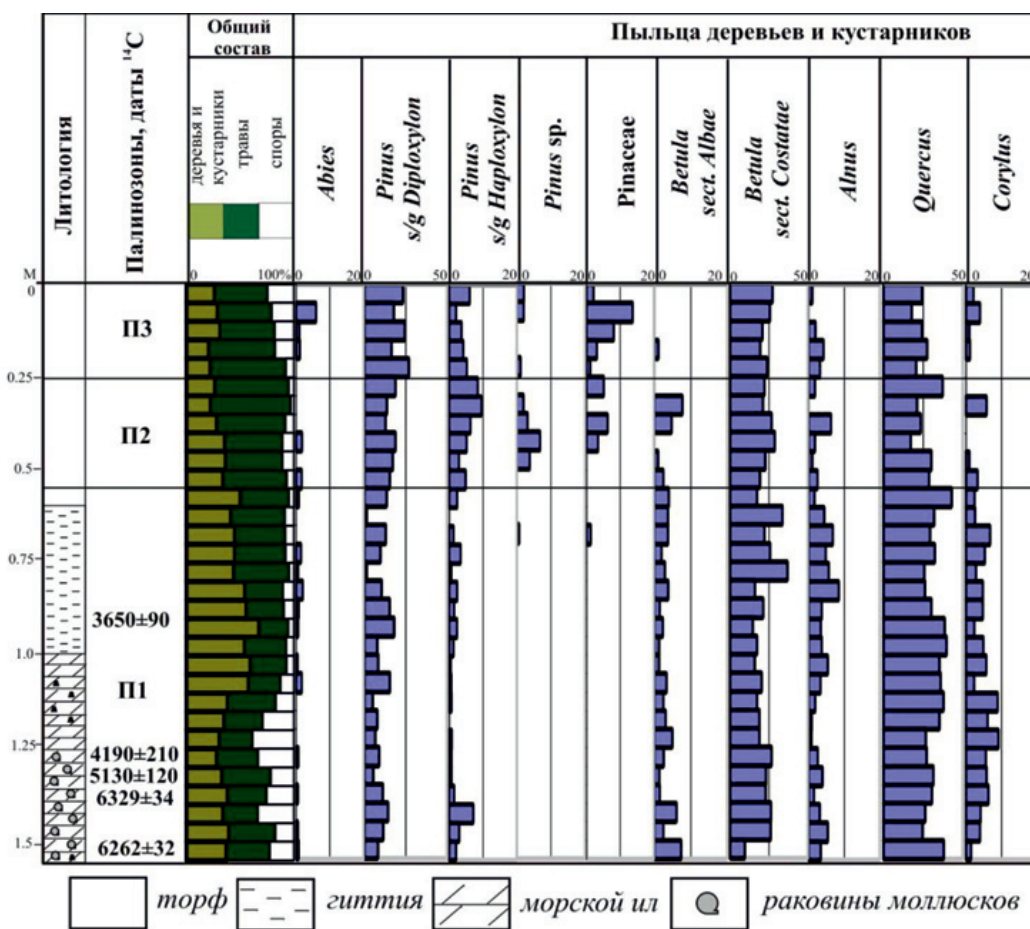


Рис. 2. Спорово-пыльцевая диаграмма торфяника острова Стенина (начало)

На ряде островов развивается хвойно-широколиственный лес: на о. Наумова он состоял из сосны густоцветковой и липы амурской с участием березы, пихты, можжевельника, хвойника односемянного (*Ephedra monosperma*), тиса остроконечного, лещины разнолистной (*Corylus heterophylla*), калопанакса семилопастного с папоротниково-травяным покровом.

Это же кратковременное похолодание около 1920–1820 ^{14}C л.н. было зафиксировано при изучении торфяника в бухте Кит (Восточное Приморье) [21] и в зал. Ольга (2,2–,8 ^{14}C л.н.), когда уровень моря был ниже современного на 0,8–1,2 м [10].

Характерной чертой начала позднего голоцена является усиление фронтально-циклонической деятельности, что фиксируется в увеличении суммы заносной пыли, особенно хвойных пород. Далее опять температурный тренд

устремляется вверх, среднегодовая температура, возможно, была даже немного выше современной (сумма пыльцы широколиственных и особенно дуба возрастает). Кратковременное потепление в первой половине позднего голоцена привело к распространению дубово-широколиственных лесов на островах залива Петра Великого.

В середине позднего голоцена, около 1,2 тыс. лет назад, наступает еще один пик кратковременного похолодания, хорошо проявившийся в высоких широтах [2] и зафиксированный в разрезе торфяника бух. Кит (юго-восточное побережье Приморского края) по значительному сокращению широколиственных пород и увеличению доли кедра корейского [21]. На спорово-пыльцевых диаграммах, полученных для островов залива Петра Великого, он определяется по сокращению пыльцы широколиственных, особенно дуба.

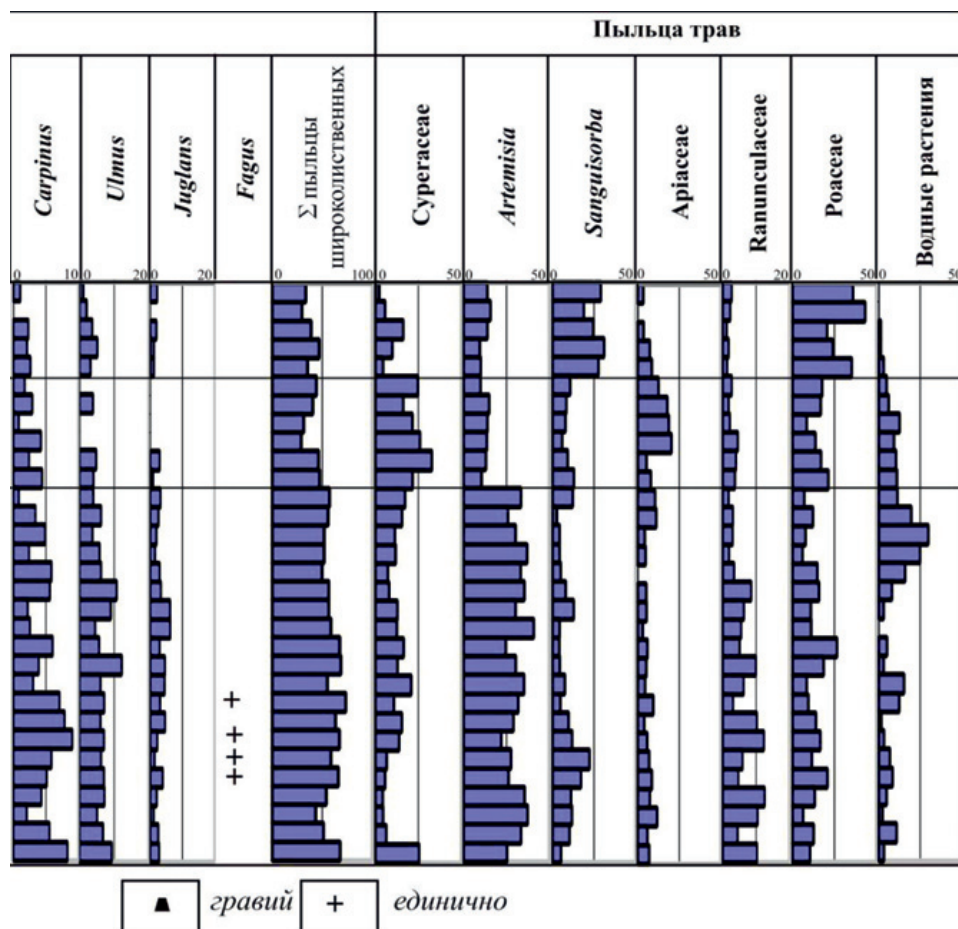


Рис. 2. Спорово-пыльцевая диаграмма торфяника острова Стенина (окончание)

Кратковременное потепление малого оптимума голоцена (VIII–XIII вв.) проявилось в увеличении пыльцы широколиственных в составе спорово-пыльцевых спектров: дуба, ясеня, липы, ильма, лещины, калины, аралиевых, лимонника. Распространение получили широколиственные леса с преобладанием дуба и большим участием граба. Увеличение участия широколиственных пород в лесной растительности в этот период фиксируется и в бух. Кит [21].

После малого оптимума голоцена температура снова начинает понижаться и достигает своего минимума в малый ледниковый период (XII–XIX вв.). По оценкам Т. Yamamoto [25, 26], температура и лета, и зимы была на 1–2 °С ниже, чем в настоящее время. Летние сезоны были более дождливыми. Эти изменения были связаны с ослаблением субтропического тихоокеанского антициклона и смещением климатических зон к югу. Число широколиственных пород в этот период уменьшается (до 29%): пыльцы дуба – 18%, отсутствует пыльца ореха, граба и др. Происходит некоторое остепнение прибрежных ландшафтов и развитие мелколиственных лесов. На восточном побережье, подверженном действию сильных ветров, расширялись площади кустарниково-полынно-разнотравных сообществ. На о. Русском в это время широко распространялись ольховники, снижалась роль широколиственных лесов с преобладанием дуба [18].

В XX в. наблюдалось повышение среднегодовой температуры, что выразилось в увеличении численности широколиственных пород (особенно дуба монгольского, граба сердцелистного в составе растительности всех островов. Тенденция сокращения хвойных и увеличения широколиственных пород в составе лесной растительности побережья Приморского края началась приблизительно (720 ± 150) (МГУ-759) л.н. [12].

Антропогенное влияние отражается в послепожарных сукцессиях: так на о. Путятина развиты вторичные дубняки паркового типа, на других островах расширяются площади занятые мелколиственными породами, гмелинополынниками, леспедечниками и лугово-кустарниковыми сообществами (о-ва Фуругельма, Энгельма и др.). На некоторых таких участках наблюдается поросль древесной растительности, свидетельствующая о благонадежном восстановлении леса.

Заключение

Послойное изучение отложений позднего плейстоцена и голоцена и их корреляция на основе радиоуглеродного датирования привели к выводу о быстрой реакции природной среды островов залива Петра Великого на небольшие и непродолжительные флуктуации климата. Эта реакция проявлялась в изменении структуры растительности, степени заболоченности прибрежных равнин, характере их залесенности.

Потепление в начале раннего голоцена, которое продолжалось и во второй половине раннего и в начале среднего голоцена, привело к возникновению здесь формаций широколиственных лесов. Похолодание в конце среднего голоцена привело к увеличению роли мелколиственных пород в составе лесной растительности. В позднем голоцене на ряде островов развиваются хвойно-широколиственные леса. В первой половине позднего голоцена происходит кратковременное потепление (малый оптимум голоцена), в составе растительного покрова распространяются дубово-широколиственные леса. Начавшееся после этого существенное понижение температуры, достигшее экстремальных значений в малый ледниковый период, способствовало увеличению луговых сообществ в прибрежных ландшафтах и развитию мелколиственных лесов. Наблюдаемое в XX в. стабильное потепление и значительное антропогенное влияние привели к сведению хвойных ассоциаций, распространению широколиственных лесов, послепожарных сукцессий и лугово-кустарниковых сообществ.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ (проект 15-05-01419).

Список литературы

1. Борзова Л.М., Семкин Б.И., Ковалюх Н.Н. Развитие островных растительных сообществ в голоцене (на примере острова Большой Пелис) // Развитие природной среды в плейстоцене (юг Дальнего Востока). – Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1981. – С. 127–134.
2. Борисова О.К. Ландшафтно-климатические изменения в голоцене // Изв. РАН. Сер. Географ. – 2014. – № 2. – С. 5–20.
3. Велижанин А.Г. Время изоляции материковых островов северной части Тихого океана // ДАН. – 1976. – Т. 231, № 1. – С. 205–207.
4. Геология СССР. – М.: Недра, 1969. – Т. 32. – 695 с.
5. Климатические смены на территории юга Дальнего Востока в позднем кайнозое (миоцен–плейстоцен) / А.М. Короткий, Т.А. Гребенникова, В.С. Пушкарь и др. – Владивосток: ДВО РАН, 1996. – 57 с.
6. Короткий А.М. Типы берегов Японского моря и их эволюция в плейстоцене // Прибрежная зона дальневосточных морей в плейстоцене. – Владивосток: ДВО АН СССР, 1988. – С. 3–25.

7. Короткий А.М. Колебания уровня Японского моря и ландшафты прибрежной зоны (этапы развития и тенденции) // Вестник ДВО РАН. – 1994. – № 3. – С. 29–42.
8. Короткий А.М., Караулова Л.П., Троицкая Т.С. Четвертичные отложения Приморья: стратиграфия и палеогеография. – Новосибирск: Наука, 1980. – 234 с.
9. Короткий А.М., Волков В.Г., Гребенникова Т.А., Разжигаева Н.Г., Пушкарь В.С., Ганзей Л.А., Мохова Л.М. Дальний Восток // Изменение климата ландшафтов за последние 65 миллионов лет (кайнозой: от палеоцена до голоцена). – М.: ГЕОС, 1999. – С. 146–164.
10. Короткий А.М., Вострецов Ю.Е. Особенности развития природной среды в позднем вюрме – голоцене в нижнем течении реки Аввакумовки и сопредельных территориях // Синие скалы – археологический комплекс: опыт описания многослойного памятника. – Владивосток: Дальнаука, 2002. – С. 45–2.
11. Короткий А.М., Скрыльник Г.П., Коробов В.В. Тенденции изменения природной среды и возможные сценарии ее развития на юге Дальнего Востока // Вестник ДВО РАН. – 2010. – № 6. – С. 3–16.
12. Кузьмина Н.Н., Шумова Г.М., Полякова Е.И., Недешева Г.Н. Палеогеографические реконструкции голоцена северо-западного побережья и шельфа Японского моря // Изв. АН СССР. Сер. геогр. – 1987. – № 4. – С. 78–89.
13. Лящевская М.С. Динамика растительного покрова островов залива Петра Великого // Известия РАН. Серия географическая. – 2015. – № 3. – С. 143–150.
14. Лящевская М.С., Киселёва А.Г., Родникова И.М., Пшеничникова Н.Ф. Почвенно-растительный покров материкового побережья бухты Табунной и близлежащих островов залива Петра Великого // География и природные ресурсы. – 2013. – № 3. – С. 91–99.
15. Лящевская М.С., Киселёва А.Г., Родникова И.М., Пшеничникова Н.Ф., Ганзей К.С. Развитие почвенно-растительного покрова острова Путятина в позднем голоцене (Японское море) // География и природные ресурсы. – 2014. – № 1. – С. 124–133.
16. Лящевская М.С., Ганзей К.С. Картографирование палеоландшафтов островов залива Петра Великого (на примере острова Попова) // Фундаментальные проблемы квартера, итоги изучения и основные направления дальнейших исследований: Материалы IX Всероссийского совещания по изучению четвертичного периода (г. Иркутск, 15–20 сентября 2015 г.). – Иркутск: Издательство Института географии им. Сочавы СО РАН, 2015. – С. 286–288.
17. Майоров И.С., Урусов В.М., Варченко Л.И. К уникальности береговых экосистем залива Петра Великого // Вестник КрасГАУ. – 2009. – № 2. – С. 57–66.
18. Микишин Ю.А., Гвоздева И.Г. Палеосреда острова Русский (Южное Приморье) в среднем-позднем голоцене // Фундаментальные исследования. – 2014. – № 3. – С. 516–522.
19. Научно-прикладной справочник по климату СССР. Многолетние данные. Приморский край. – Л.: Гидромеиздат, 1988. Сер. 3. Вып. 26. – 416 с.
20. Палеоклиматы и палеоландшафты внетропического пространства Северного полушария. Поздний плейстоцен – голоцен. Атлас-монография. Под ред. проф. А.А. Величко. – М., 2009. – 120 с.
21. Разжигаева Н.Г., Ганзей Л.А., Гребенникова Т.А., Мохова Л.М., Кудрявцева Е.П., Арсланов А.Х., Максимов Ф.Е., Старикова А.А. Изменения ландшафтов побережья и горного обрамления бухты Кит (восточное Приморье) в среднем-позднем голоцене // География и природные ресурсы, 2016 (в печати).
22. Родникова И.М., Лящевская М.С., Киселева А.Г., Пшеничникова Н.Ф. Состояние и динамика почвенно-растительного покрова малых островов залива Петра Великого (Японское море) // География и природные ресурсы. – 2012. – № 1. – С. 96–103.
23. Сосудистые растения островов залива Петра Великого в Японском море (Приморский край) / Н.С. Пробатова, В.П. Селедец, В.А. Недолужко, Н. С. Павлова; Отв. ред. В.Ю. Баркалов; РАН. Дальневост. отд-ние. Биол.-почв. ин-т. – Владивосток: Дальнаука, 1998. – 112 с.
24. Bazarova V.B., Klimin M.A., Mokhova L.M., Orlova L.A. New pollen records of Late Pleistocene and Holocene changes of environment and climate in the Lower Amur River basin, NE Eurasia // Quaternary International. – 2008. – Vol. 179. – P. 9–19.
25. Yamamoto T. On the climatic change in the XV and XVI centuries in Japan // Geophysical Magazine. – 1971a. – № 35. – P. 187–206.
26. Yamamoto T. On the nature of climatic change in Japan since the Little Ice Age around 1800 AD // Journal of the Meteorological Society of Japan. – 1971b. – № 49. – P. 798–812.

УДК 622.013:553.2

**ОБОСНОВАНИЕ ЗАМЕЩЕНИЯ ЭКОНОМИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ
ПОТЕНЦИАЛЬНЫМИ РЕСУРСАМИ НЕДР****Михайлов А.Г., Брагин В.И., Вашлаев И.И., Харитонов М.Ю.***Институт химии и химической технологии СО РАН, Федеральный исследовательский центр
«Красноярский научный центр СО РАН», Красноярск, e-mail: mag@icct.ru*

Сохранение роста потребления минерального сырья возможно с привлечением прорывных технологий, основанных на преобразовании недр геологическими процессами, использующих физический и химический потенциал недр как движущую силу переноса рудного вещества. Сформулированы условия инициирования протекания заданных геологических процессов. Описаны основные процессы управления ресурсозамещения, механизм перевода полезного компонента в раствор и его осаждение на геохимическом барьере. Дана классификация направленных геологических процессов. Дополнительные неиспользуемые в традиционных геотехнологиях ресурсы делятся на две группы: потенциальные и непотенциальные. Показана роль замещения дорогостоящих экономических и трудовых ресурсов потенциальными техногенными геологическими процессами по направленному структурному и вещественному преобразованию участка недр. Радикальное повышение эффективности и экологической безопасности освоения недр возможно только при условии конструктивного управления техногенно инициированными геологическими процессами.

Ключевые слова: ресурсозамещение, недра, минеральные ресурсы, техногенно инициированный геологический процесс, формирование месторождений

**THE SUBSTANTIATION OF REPLACEMENT OF ECONOMIC RESOURCES
BY POTENTIAL OF SUBSOIL RESOURCES****Mikhaylov A.G., Bragin V.I., Vashlaev I.I., Kharitonova M.Yu.***Institute of Chemistry and Chemical Technology SB RAS, Federal Research Center Krasnoyarsk Science
Center SB RAS, Krasnoyarsk, e-mail: mag@icct.ru*

This growth in consumption of mineral raw materials may retain only attraction of advanced technologies, based on the transformation of subsurface geological processes which use physical and chemical potential of the subsoil as a driving force for the transfer of ore material. Conditions of initiation of course of the given geological processes are formulated. Basic processes of management of a resource replacement the mechanism of the translation of the useful component in solution and its deposition on a geochemical barrier are described. Classification of directional geological processes is given. The padding resources which are not used in traditional geotechnologies, are divided into two groups: potential and not potential. The role of replacement expensive economic and a manpower by potential technogenic geological processes on directional structural and real transformation of the subsoil plot is shown.

Keywords: resource replacement, subsoil, mineral resources, the geological process tekhnogenno initiated, formation of fields

Высокие темпы роста использования минерального сырья и постоянное снижение содержания полезных компонентов в рудах влекут за собой экспоненциальный рост объемов добычи и переработки. За последние 50 лет объем добычи увеличился почти на порядок при снижении среднего содержания металлов в руде в 3–7 раз [3, 4, 6]. Подход к освоению недр не изменился и по-прежнему аналогичен «собираательству». Предпосылками к смене подхода к освоению недр служат не столько стагнация минерально-сырьевой отрасли, сколько наметившиеся серьезные противоречия между экстенсивным характером недропользования и ужесточением требований к сохранению окружающей среды. Новая парадигма освоения недр, идущая на смену существующей, заключается в преобразовании недр посредством инициирования природных геологических процессов, использующих потенциальную энергию

недр как движущую силу преобразования и переноса рудного вещества с целью последующего эффективного извлечения необходимых минеральных ресурсов. Образно говоря, речь идет о формировании или «выращивании» месторождений с условиями для существующей технологии параметрами, позволяющими существенным образом снизить масштабы извлекаемой и перерабатываемой горной массы при их разработке [3, 6].

Геологические преобразования в недрах протекают постоянно. Их направленность – равновесное состояние. Для условий «далеких» от равновесного состояния, процессы протекают с более высокой интенсивностью, в отличие от процессов в участках земной коры, где состояние является близким к равновесному. Масштаб и направление геологических процессов зависят от многих факторов, прежде всего от наличия и пространственного расположения потен-

циальных ресурсов недр, которые могут быть задействованы в этих процессах. Интенсивность направленного геологического процесса, проходящего в участке недр, близком к равновесному, по-видимому, зависит от величины, на которую можно сместить это равновесие [1]. К примеру, большая часть техногенно инициированных геологических процессов, к сожалению, не создает положительных эффектов для геологической среды и для недропользования. Наоборот, эти процессы требуют компенсации вреда, причиненного природной среде, что происходит, как правило, уже после завершения горных работ [5].

Любое вмешательство в состояние близкое к равновесному влечет за собой привнесение того или иного потенциала. Разность физических и геохимических потенциалов недр служит основой направленности и интенсивности протекания процессов. В минерально-ресурсной сфере деятельности следует обратить внимание на возможность использования геологических процессов (интенсивности и направленности) для повышения эффективности освоения. Для этого, на наш взгляд, необходимо выполнение следующих условий:

1) локализация направленного геологического процесса в заданном участке недр и во времени;

2) протекание геологического процесса в направлении повышения концентрации полезного компонента, снижения содержания вредных примесей и преобразования участка недр к виду, который наиболее приемлем для возможной последующей разработки вновь создаваемого месторождения;

3) затраты на инициирование и управление геологическим процессом не должны превышать затраты на поиск, разведку и подготовку нового месторождения аналогичного качества и масштаба традиционными способами.

Очевидно, что геологические процессы, даже при их инициировании в нужном направлении, являются трудно управляемыми. Поэтому в первую очередь следует обратить внимание на процессы, направление которых надежно прогнозируемо и которые в силу этого требуют минимального управления. Как правило, это процессы, направление которых контролируется одним или двумя факторами, к примеру гидравлическим градиентом или перепадом высот. Вариантом технологического примера могут служить схемы извлечения забалансовых запасов с использованием гидрогеологическо-

го ресурса. Так, водоотлив при разработке месторождений полезных ископаемых, необходимый для извлечения объемов горной массы и создания производственных условий в рабочей зоне, создает в недрах депрессионную воронку вокруг месторождения, ниже поверхности которой потоки подземных вод не нарушены. Наличие депрессионной воронки является одним из условий для запуска и протекания направленного геологического процесса. Следующим условием является наличие в бортах выработок некондиционных руд. Не менее важным условием объемного геологического процесса является также механизм перевода полезного компонента в раствор и последующее осаждение его на геохимическом барьере. При соблюдении вышеприведенных условий может быть запущен направленный геологический процесс посредством использования потенциала недр в форме склона гидравлического градиента депрессионной воронки. Для инициирования геологического процесса в зоне размещения забалансовых запасов руд следует разрыхлить массив (взрывным дроблением) с целью увеличения коэффициента фильтрации. Повышение коэффициента фильтрации приводит к перераспределению водных потоков с направлением их основной массы через этот участок. В область скопления забалансовых запасов подаются реагенты, инициирующие реакции окисления рудных минералов. Направленный поток подземных вод с раствором полезного компонента попадает в выработанное пространство карьера. В карьере раствор проходит через природный или техногенно созданный геохимический барьер, где полезный компонент осаждается. В данном примере используются два механизма техногенного инициирования геологического процесса: механический и физико-химический. Проведение направленного геологического процесса в таком варианте попутно с действующим производством имеет существенное преимущество, которое заключается в том, что затраты на инициирование, перераспределение водных потоков, перенос и осаждение компонентов могут быть отнесены на основное производство и при этом увеличивается сырьевая база предприятия.

Для процессов, которые могут быть организованы на поверхности, инициирование и сам процесс, по всей видимости, будут наиболее управляемыми. Примером тому может служить вариант формирования аллювиального месторождения, создаваемого, например, с использованием потен-

циала перепада высот. Для золотоносного массива коры выветривания или техногенных отвалов технологический вариант может выглядеть следующим образом. Выше массива (по уровню), который предполагается переотложить, накапливают запас воды, одновременно оформляют русловый подвод потока воды к массиву, и на начальном участке массива создают пионерный котлован с той целью, чтобы через фронтальную часть поток захватил весь участок. Запас воды за минимально короткий период выпускают по созданному руслоотводу. Используя потенциальную энергию, водный поток разрушает материал массива, взвешивает твердые частицы и уже в виде селевого потока перемещает, например, к озеру. При разрушении и перемещении происходит дезинтеграция частиц, а в водной среде озера происходит расслоение частиц по плотности и крупности. При осаждении частиц гравитационного золота с плотностью, значительно превышающей плотность вмещающих пород, может быть сформировано месторождение с содержанием золота как минимум в 3–4 раза выше среднего содержания в месторождениях, находящихся в разработке в настоящее время. Приведенный вариант направленного геологического процесса формирования аллювиального месторождения показывает, что инициирование и управление процессом на современном уровне технологического развития и знаний о геологических механизмах может быть относительно надежным. Для процессов, протекающих в недрах, его результат может быть не столь очевидным. Это обусловлено сложностью полного учета всех условий как непосредственно в исследуемой части объема недр, так и его связей с окружающими участками.

Однако даже при неполном знании условий в преобразуемом участке недр адекватное инициирование процесса может достаточно надежно задавать его направление. Примером может служить направленный геологический процесс гидротермального окисления сульфидов. Запуск этого процесса может быть осуществлен следующим образом. В нижнюю часть сульфидного оруденения, на котором проведено предварительное разрыхление, создают высокую температуру и подают окислитель. Сульфиды начинают интенсивно окисляться, перемещая ядро процесса вверх. После полного завершения окисления будет сформировано новое рудное тело окисленных руд в приповерхностной части, где отсутствуют ус-

ловия для интенсивного протекания процесса. Неполный учет всех факторов может не привести к ожидаемому результату. Так, перемещение рудного вещества в процессе окисления сульфидов может отклониться в сторону при смене, например, направления исходного оруденения или вовсе прекратиться из-за прерывания сплошности сульфидного оруденения на пути движения ядра процесса. Масштабность направленного геологического процесса и вектор основного направления зависят от метода инициирования. Интенсивность же процесса зависит от исходного потенциала среды.

Отсутствие широкой промышленной практики инициирования направленных геологических процессов не позволяет детально классифицировать как сами процессы, так и соответствующие им методы инициирования. Тем не менее в обобщенном виде можно выделить четыре главных механизма: **механический, физико-химический, термодинамический и комбинированный.**

Концепция ресурсозамещения в геотехнологиях основана на использовании природных геологических и техногенных процессов. В своем полном масштабе она предполагает подключение дополнительных ресурсов недр к имеющимся технологическим возможностям. Дополнительные не используемые в традиционных геотехнологиях ресурсы делятся на две группы – потенциальные и непотенциальные. Потенциальные ресурсы представлены потенциальной энергией первичного, неизмененного состояния участка недр по отношению к равновесному состоянию, к которому недра приходят в результате осуществления направленного геологического процесса. Составляющие потенциальной энергии – химическая (химический потенциал сульфидов и других минералов), механическая (энергия водных потоков, напряженного состояния массива и пр.) и тепловая. Потенциальные ресурсы являются движущей силой направленного геологического процесса и в ходе его потребляются. Непотенциальные ресурсы представляют собой условия или предпосылки благоприятного протекания направленного геологического процесса и могут сохраняться после его завершения. К непотенциальным ресурсам можно отнести, например, обводненность массива горных пород, благоприятствующую гидрохимическим процессам, или наличие трещиноватости. Направленный геологический процесс, инициированный в недрах, приводится в дви-

жение потенциальными ресурсами геологической среды, осуществляется в условиях, задаваемых непотенциальными ресурсами, и, таким образом, дополнительные ресурсы недр становятся необходимым компонентом функционирования всей технологической системы. Использование дополнительных ресурсов недр в процессах активной геологии приводит к ресурсозамещению, т.е. к снижению потребления экономических ресурсов, по сравнению с вариантом освоения данного участка недр традиционными геотехнологиями.

Выделение в дополнительных ресурсах недр группы потенциальных ресурсов позволяет теоретически обосновать наиболее подходящий тип направленного геологического процесса для данного участка недр. Этот выбор осуществляется в соответствии с принципом геотехнологического продолжения рудообразования, представляющим собой необходимое условие эффективности подготовки месторождения методами активной геологии.

Предлагаемый подход к определению дополнительных ресурсов недр в рамках активной геологии позволяет наполнить это понятие корректным экономическим содержанием, определив стоимость дополнительных ресурсов как эффект от замещения экономических ресурсов. Исходя из этого, проведены оценки перспективных технологических решений в области активной геологии и определены условия их применения. В частности, установлена возможность значительного повышения эффективности освоения россыпных месторождений, в том числе низкопродуктивных золотоносных толщ при использовании гравитационных методов активной геологии. Предельно рентабельное содержание золота при коэффициенте замещения экономических ресурсов дополнительным ресурсом в форме энергии водотоков на уровне 0,7–0,8 составляет десятки миллиграммов на кубометр. Значительное влияние на эффективность методов активной геологии оказывает интенсивность или скорость подготовки участка недр, что обусловлено отдалением момента получения дохода по сравнению с освоением месторождения традиционными геотехнологиями. Для гидрохимических процессов активной геологии получены количественные оценки критической и минимально допустимой интенсивности подготовки месторождения в зависимости от качества сырья и степени ресурсозамещения. Это позволило сформулировать достаточное условие эффективно-

сти методов активной геологии: проведение процесса при интенсивности и степени ресурсозамещения больших, чем минимально допустимые.

В качестве одного из примеров можно привести метод направленного гидрохимического преобразования техногенных объектов, содержащих сульфиды цветных металлов, например хвостохранилищ обогатительных фабрик. Потенциальным ресурсом здесь является химический потенциал реакции окисления сульфидов и потенциальная энергия подземных вод, определяемая их гидравлическим градиентом. Устойчивым геологическим процессом в этой среде является процесс окисления сульфидов и переосаждение цветных металлов и окисного железа на физических или геохимических барьерах. Инициирование направленного процесса заключается в корректировке потока растворов с реагентами и направлении их на барьер, создание условий для свободного доступа реагентов и, возможно, первоначальный запуск с доступного участка. Проведенные экспериментальные исследования, к примеру, на Майнском медьсодержащем хвостохранилище (0,2% Cu) и экономические оценки показали, что за счет ресурсозамещения возможно освоение этого объекта с эффективностью, в 4 раза превышающей эффективность традиционного способа. Следует отметить, что в мировой и отечественной практике объекты такого рода считаются заведомо непригодными для освоения не только традиционными способами, но и методами физико-химической геотехнологии.

Другой пример выбора устойчивого в геологической среде направленного геологического процесса – перенос золота с подземными водами в виде комплексов с гуминовыми соединениями. Известные исследования вторичных гипергенных концентраций золота свидетельствуют о том, что при благоприятных условиях значительная часть золота в процессе образования кор выветривания переносится именно в этом виде, и, следовательно, в зоне гипергенеза этот процесс является устойчивым. Это позволяет предположить, что подземное выщелачивание золота гуминовыми растворами с переотложением металла на геохимическом барьере и формированием богатой залежи является более приемлемым, чем процессы с участием неустойчивых в недрах цианида или свободного хлора. Проведенные эксперименты продемонстрировали возможность реализации

такого процесса. Экономическая оценка показала, что при использовании потенциального ресурса недр в виде гидравлического градиента подземных вод, направленный процесс переноса золота в виде гуминовых комплексов является высокоэффективным.

Наиболее ярким примером ресурсозамещения в процессах активной геологии, пока не реализованным на практике, является процесс гидрохимического преобразования рудных залежей направленным гидротермальным процессом (гидротермальный котел). Здесь потенциальным ресурсом является, как и при подготовке сульфидных хвостохранилищ, химический потенциал реакции окисления сульфидов. Непотенциальные ресурсы – наличие достаточной проницаемости и обводненности массива. В условиях гидротермального котла использование химического потенциала более глубоко и эффективно. При повышенных давлениях, имеющих место на глубинах залегания рудных залежей, возможен разогрев котла за счет теплоты окисления до температур выше 200°C. Направленный геологический процесс, при условии доступа кислорода в нижнюю часть массива, инициируется окислением сульфидов. Высокие скорости реакций при этих температурах приводят к формированию узкой реакционной зоны, в которой и происходит преобразование вещества массива. Выше зоны окисления формируется устойчивый эпитеpmальный процесс с образованием характерных для него вторичных минеральных ассоциаций. Градиенты температур, концентраций растворов и соответствующие им градиенты плотности растворов создают циркуляцию в объеме задействованного в процессе участка недр, что обеспечивает перенос металлов на геохимические барьеры без использования дополнительного насосного оборудования. Этот набор основных факторов обеспечивает высокую степень замещения экономических ресурсов потенциальным ресурсом недр.

Таким образом, опыт известных и применяемых на практике процессов активной геологии, а также экспериментальные исследования и экономические оценки перспективных решений в этой области показывают определяющую роль замещения экономических ресурсов дополнительными потенциальными и непотенциальными ресурсами недр в формировании показателей экономической эффективности. Замещение экономических ресурсов дополнительными ресурсами недр преобразуется в структуре минерально-сырьевой базы замещением нерентабельных месторождений рентабельными. Структура

преобразованной минерально-сырьевой базы отражает распределение уже не только основного ресурса (например, металла), но и дополнительных, что существенно увеличивает ценность и эффективность освоения минерально-сырьевой базы в целом.

Таким образом, формирование новых месторождений и структурные преобразования действующих и уже отработанных позволят поднять минерально-сырьевую отрасль на новый уровень. Перераспределение месторождений в сторону увеличения доли доступных богатых объектов радикально изменит порядок освоения минерально-сырьевой базы, выводя в число первоочередных именно преобразованные объекты, характеризующиеся высоким качеством даже при малых запасах руды, но существенно низкой капиталоемкостью, поскольку затраты на геотехнологическую подготовку методами активной геологии сравнимы с затратами на поиск и разведку. Возникают предпосылки для изменения акцентов в стратегии пополнения минерально-сырьевой базы, которая может выразиться в снижении доли поисковых и геологоразведочных работ на новых площадях и преимущественном развитии работ по дополнительной разведке и геотехнологической подготовке низкокачественных площадей. К сегодняшнему дню вопросы, связанные с ресурсозамещением на уровне региональной минерально-сырьевой базы, изучены крайне недостаточно. Однако, на наш взгляд, этот аспект рассматриваемой проблемы содержит в себе большие возможности для совершенствования недропользования.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований и Красноярского краевого фонда поддержки научной и научно-технической деятельности, проект РФФИ-ККФН № 16-45-242048.

Список литературы

1. Брагин В.И. Методы геотехнологической подготовки гипергенных месторождений // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2002. – № 4. – С. 151–153.
2. Воробьев А.Е. Новая концепция освоения минеральных ресурсов в литосфере. // Горный журнал. – 2002. – № 8. – С. 7–12.
3. Лавров Н.П., Чернегов Ю.А. Формирование прорывных направлений в горных технологиях с использованием современной методологии технического творчества // Горный журнал. – 1990. – № 12. – С. 3–12.
4. Пешков А.А., Брагин В.И., Михайлов А.Г., Мацко Н.А. Геотехнологическая подготовка месторождений полезных ископаемых. – М.: Наука, 2007. – 287 с.
5. Трубецкой К.Н., Воробьев А.Е. Классификация методов воспроизводства минерального сырья // Горный журнал. – 1998. – № 1. – С. 30–34.
6. Трубецкой К.Н., Пешков А.А., Мацко Н.А., Михайлов А.Г., Брагин В.И. Концепция подготовки месторождений к освоению // Горный вестник. – 1999. – № 2–3. – С. 11–17.

УДК 551.502 (330.15)

ОПАСНЫЕ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЕ ЯВЛЕНИЯ НА ТЕРРИТОРИИ БЕЛГОРОДСКОЙ ОБЛАСТИ И ИХ ВЛИЯНИЕ НА ОТРАСЛИ ЭКОНОМИКИ ДАННОГО РЕГИОНА

Петин А.Н., Брыкалова М.В.

ФГАОУ ВО «Белгородский государственный национальный исследовательский университет»,
Белгород, e-mail: 433983@bsu.edu.ru

Белгородская область не относится к районам высокой опасности в связи с гидрометеорологическими явлениями, однако в регионе ведется работа по качественному и своевременному прогнозированию опасных явлений погоды в целях снижения рисков их воздействия на отрасли экономики региона. В статье на основе официальных данных Федеральной службы по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды проведен анализ повторяемости опасных гидрометеорологических явлений на территории Белгородской области за 2006–2015 гг. В ходе исследования выявлено, что за анализируемый период произошло увеличение случаев возникновения опасных явлений в году. Наиболее часто повторяющиеся на территории региона явления: сильная жара, аномально жаркая погода, чрезмерная пожарная опасность, суховей, заморозки в атмосфере и на почве, засуха почвенная и атмосферная. Увеличение случаев опасных гидрометеорологических явлений в регионе вызвано возросшей частотой стационарных антициклональных процессов на его территории. Анализ данных Белгородского ЦГМС позволил выявить отрасли экономики региона наиболее подверженные влиянию опасных гидрометеорологических явлений.

Ключевые слова: Белгородская область, опасные гидрометеорологические явления, отрасли экономики, сильная жара, суховей, чрезвычайная пожарная опасность, аномально жаркая погода, засуха, заморозки

DANGEROUS HYDROMETEOROLOGICAL PHENOMENA IN BELGOROD REGION AND THEIR IMPACT ON THE REGIONAL ECONOMY

Petin A.N., Brykalova M.V.

Belgorod State National Research University, Belgorod, e-mail: 433983@bsu.edu.ru

Belgorod oblast does not belong to areas of high risks resulting from hydrometeorological phenomena. However, this region is dealing with quality and timely prediction of dangerous weather events in order to reduce risks of their impact on sectors of the regional economy. A frequency analysis of dangerous hydrometeorological phenomena on the territory of Belgorod Oblast for the period of 2006–2015 was conducted in this article based on official statistics provided by Russian Federal Service for Hydrometeorology and Environmental Monitoring (Rosgidromet). The study revealed that within the analyzed period there was an annual increase in occurrence of dangerous phenomena. The most frequently recurring phenomena in the region are intense heat, heatwaves, extreme fire danger, dry hotwinds, air and soil frosts, as well as air and soil droughts. The increase in quantity of dangerous hydrometeorological phenomena in the region has resulted from an increased frequency of stationary anticyclones on its territory. Data analysis of Belgorod Service for Hydrometeorology and Environmental Monitoring made it possible to identify certain sectors of the regional economy being mostly subject to dangerous hydrometeorological phenomena influence.

Keywords: Belgorod region, dangerous hydrometeorological phenomena, sectors of economy, intense heat, dry hotwind, extreme fire danger, heatwave, drought, frost

В последнее время в России усиливается внимание ученых к опасным гидрометеорологическим явлениям, что связано с глобальными и региональными изменениями климата (Е.С. Андреева, И.В. Грищенко, М.А. Шаповалов) [1–2, 14].

Опасным явлением целесообразно считать такое, потенциальная сила проявления которого может нанести существенный ущерб жизни, деятельности и хозяйству человека, окружающей его среде, а также причинить большой вред природным объектам [3]. Такие явления, как грозы, град, туманы, метели, могут повреждать линии связи, электропередач, наносить вред сельскохозяйственному производству.

В научной литературе указывается на существенную зависимость явлений погоды от циркуляционных особенностей территории, особенностей рельефа подстилающей поверхности, наличия водных объектов [15].

Белгородская область (площадью 27,1 тыс. км²) расположена в центре европейской территории России и занимает юго-восточные и южные склоны Среднерусской возвышенности. Поверхность территории представляет собой несколько приподнятую равнину, по которой проходят юго-западные отроги Орловско-Курского плато Среднерусской возвышенности, расчленённого многочисленными речными до-

линами и густой овражно-балочной сетью. Это плато – главная водораздельная возвышенность, разделяющая речную систему притоков Днепра (р. Сейм, Псел, Ворскла) от речной системы притоков Дона. Вся территория области изрезана густой сетью рек бассейнов Северского Донца, Дона и Днепра [7].

Белгородская область находится в степной и лесостепной зонах. Климат области характеризуется континентальностью вследствие большой удалённости от морей и океанов, которая выражается более заметно по мере продвижения к востоку и особенно к юго-востоку [10].

Хотя Белгородская область не относится к районам высокой опасности от природной стихии, но тем не менее опасные явления отмечаются на территории региона ежегодно.

Целью исследования является определение частоты проявления различных видов опасных гидрометеорологических явлений в Белгородской области в 2006–2015 гг. и их влияния на экономику региона.

Критерии и перечень опасных явлений приведены в РД 52.04.563 – 2002 «Инструкция. Критерии опасных гидрометеорологических явлений и порядок подачи штормового сообщения». Федеральные государственные бюджетные учреждения управления по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды могут вносить изменения в перечень опасных явлений и уточнять критерии с учётом экономиче-

ских и физико-географических условий обслуживаемой территории.

На рис. 1 приведено распределение суммарного числа случаев опасных гидрометеорологических явлений и комплексов метеорологических явлений погоды, сочетания которых образуют опасные явления по годам за 2006–2015 гг. [13].

Анализ показал, что на территории Белгородской области в период с 2006 по 2015 г. было зафиксировано 283 случая природных явлений, достигших критерия опасного явления, установленного на данной территории, и комплексов метеорологических явлений погоды, сочетания которых образуют опасные явления. При этом отмечается тенденция увеличения случаев опасных явлений по годам.

Общее количество различных видов опасных явлений на территории Белгородской области за период с 2006 по 2015 г. представлено на рис. 2.

В результате анализа выявлено, что наиболее часто встречающимися на территории Белгородской области ОЯ являются:

– *Сильная жара* – значение максимальной температуры воздуха 35 °C и выше.

– *Суховей* – ветер скоростью 7 м/с и более при температуре выше 25 °C и относительной влажности не более 30%, наблюдающиеся хотя бы в один из сроков наблюдений в течение 3 дней подряд и более в период цветения, налива, созревания зерновых культур.

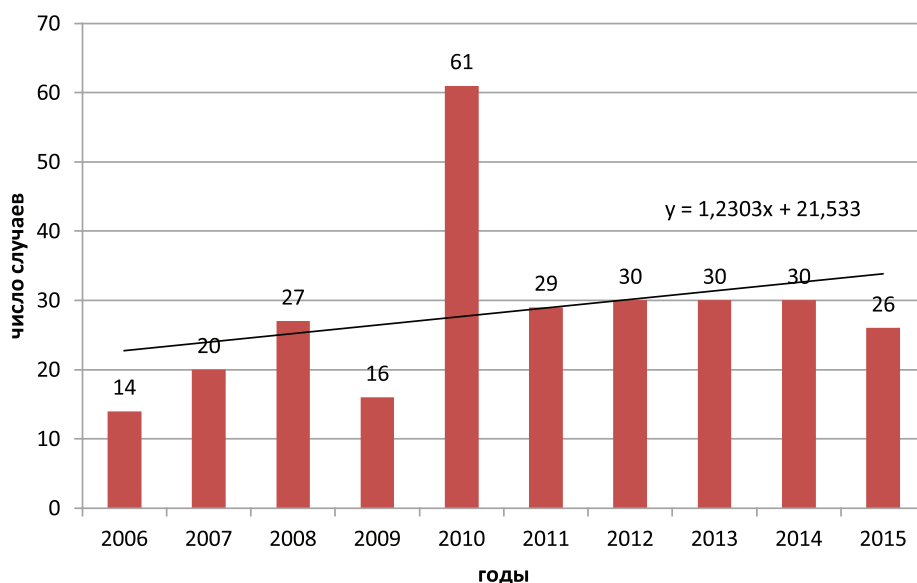
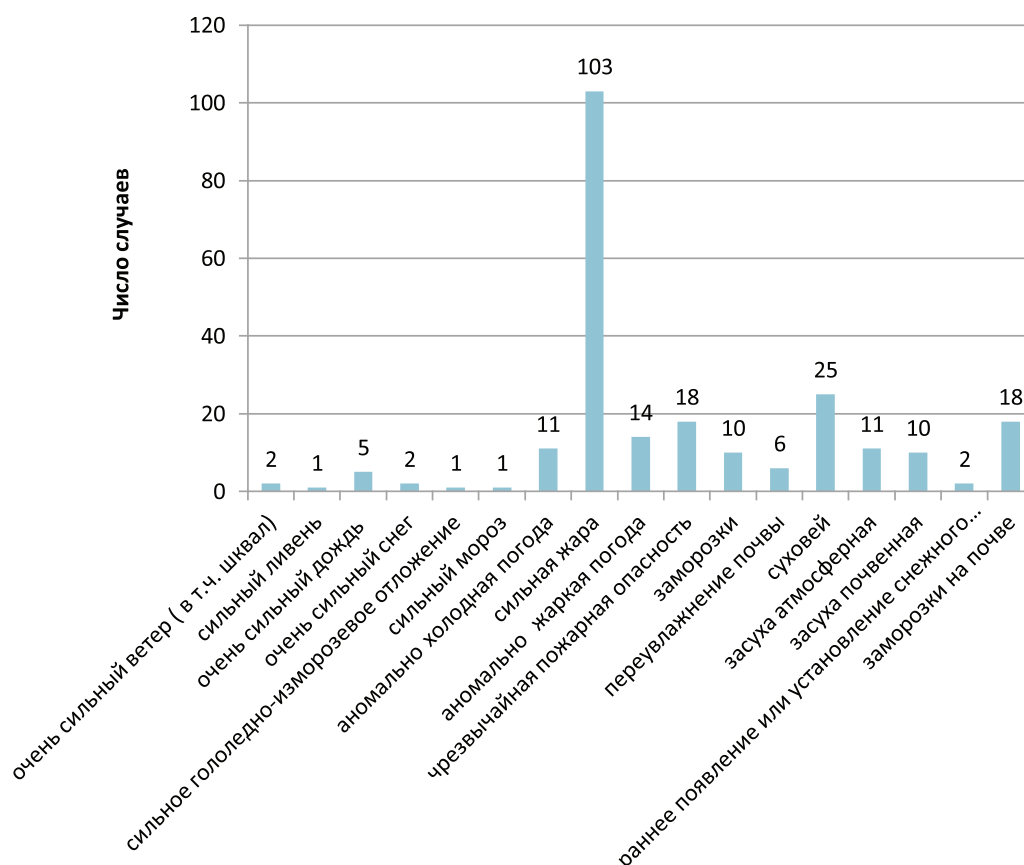


Рис. 1. Распределение суммарного числа случаев опасных гидрометеорологических явлений за 2006–2015 гг.



ство осадков, как в холодное, так и в теплое время года [8]. В результате учащения случаев аномальной жары создаются условия для потери влаги на испарение [9].

В современных условиях очень важно знать, к каким последствиям могут привести неблагоприятные и опасные гидрометеорологические явления, и грамотно применять эти знания на практике [6]. Правильное и своевременное использование предприятиями и организациями отраслей экономики прогностической информации об опасных и неблагоприятных явлениях погоды позволяет заблаговременно подготовиться к их воздействию, снизить уязвимость производственной сферы и тем самым существенно предотвратить экономические потери.

Проведенное исследование влияния опасных явлений на отрасли экономики Белгородской области позволило сделать вывод, что наибольший ущерб от опасных гидрометеорологических явлений на территории региона имеют такие отрасли экономики, как сельское и жилищно-коммунальное хозяйство, электроэнергетика.

Белгородская область является одним из наиболее развитых сельскохозяйственных регионов России. Большую часть территории Белгородской области занимают земли сельскохозяйственного назначения, площадь которых на 1 января 2015 г. составила 2094,8 тыс. га (77,2%). Пашня в структуре земельного фонда составляет 1647,4 тыс. га (60,7% общей площади земель) [4].

Сельское хозяйство региона играет важнейшую роль в социально-экономическом развитии Белгородской области. В свою очередь опасные гидрометеорологические явления непосредственно воздействуют на сельскохозяйственное производство.

Среди опасных гидрометеорологических явлений на территории Белгородской области, оказывающих влияние на сельское хозяйство, отмечаются такие виды метеорологических явлений, как сильная жара, чрезвычайная пожарная опасность, аномально жаркая погода; агрометеорологические явления в основном представлены заморозками, суховеями, почвенной и атмосферной засухой и переувлажнением почвы; комплексы метеорологических явлений чаще всего случаются в виде сильных дождей с грозой и сильным ветром.

Влияние различных видов опасных гидрометеорологических явлений на сельское хозяйство проявляется чаще всего в угнете-

нии посевов сельскохозяйственных культур и сверхнормативном падеже птицы на птицефабриках области.

Максимальные температуры воздуха повышают пожароопасность, из-за почвенной и атмосферной засухи страдают посевы сельскохозяйственных культур.

К примеру, 27 июля 2013 г. на предприятии ООО «Агрохолдинг Ивнянский» произошло возгорание ячменя площадью 50 га, в с. Круглик Ивнянского района – возгорание стерни площадью 100 га, на территории Белгородского района – возгорание сухой травы и постилки площадью 8 га [13].

Два года подряд (2014–2015 гг.) засуха в конце лета и осенью влияет на всхожесть озимых культур. Почвенная засуха со второй декады сентября по третью декаду октября 2014 г. стала причиной того, что в регионе, по данным департамента АПК, не возшло 64% озимых.

Как отмечает С.Н. Алейник, начальник департамента агропромышленного комплекса и воспроизводства окружающей среды Белгородской области, погодноклиматический фактор до сих пор играет решающую роль в развитии сельскохозяйственного производства. С проблемой воздействия почвенной засухи на озимые культуры позволяет справиться объем заготовленных в области семян и пересев проблемных участков яровыми культурами, например кукурузой [12].

Переувлажнение почвы также отрицательно сказывается на возделывании и сборе урожая сельскохозяйственных культур: отстают темпы сева и уборки, наблюдается повреждение гнилью возделываемых культур.

Сверхнормативный падеж птицы отмечается при долго сохраняющейся на территории сильной жаре, что наносит значительный ущерб отрасли птицеводства в регионе.

В сфере жилищно-коммунального хозяйства влияние опасных гидрометеорологических явлений проявляется в обморожении людей на открытом воздухе, нарушениях систем эксплуатации зданий и условий работы техники. Наиболее часто ущерб ЖКХ наносят такие явления, как аномально холодная погода, сильный мороз.

Влияние гидрометеорологических факторов на энергетику многосторонне. Так, весьма уязвимыми объектами являются линии электропередачи. На них оказывают влияние значительные температурные колебания, гололедно-ветровые нагрузки, быстрое намерзание мокрого снега, грозы, сильный ветер. Грозы могут сказываться

на работе меняющих напряжение городских подстанций, выводя из строя трансформаторы.

Так, к примеру, 2 декабря 2015 г. в результате комплекса неблагоприятных явлений (сильные осадки, налипание мокрого снега, порывы ветра 15–20 м/с) отключение электроэнергии наблюдалось в Корочанском, Шебекинском, Старооскольском, Белгородском и Новооскольском районах. Отключались 44 ТП, без электроэнергии было 520 домов с численностью 1468 человек, в том числе 348 детей [13].

Своевременные штормовые предупреждения и специализированная гидрометеорологическая информация позволяют уменьшить убытки при наступлении неблагоприятных и опасных гидрометеорологических явлений и оптимизировать производственные процессы, прежде всего в области транспортировки электроэнергии как производственного цикла, наиболее подверженного воздействию погодных факторов.

В заключение отметим, что в Белгородской области отмечается учащение случаев возникновения опасных гидрометеорологических явлений и комплексов метеорологических явлений погоды, которые требуют изучения, совершенствования методов прогнозирования и своевременного предупреждения населения и органов власти. От решений, которые принимаются в регионе на основе предоставляемой гидрометеорологической информации и аналитических обобщений по климату, ежедневно зависит жизнь и экономическое благосостояние населения.

Список литературы

1. Андреева Е.С. Опасные явления погоды на равнинах юга Европейской территории России: Автореф. дис. канд. геогр. наук. – Ростов-на-Дону, 1999. – 27 с.
2. Грищенко И.В. Опасные явления погоды в условиях изменения климата на территории Архангельской области и Ненецкого автономного округа: Автореф. дис. канд. геогр. наук. – Санкт-Петербург, 2011. – 25 с.
3. Владимиров А.М. Опасные природные явления [Текст] / А.М. Владимиров // Ученые записки российского государственного метеорологического университета. – 2005. – № 1. – С. 42–53.
4. Доклад о состоянии и использовании земель Белгородской области в 2014 году / Я.В. Пойминова, А.В. Анисимов, А.В. Мамагов, Р.В. Якипчук, В.М. Даниленко и др. – Белгород: Управление Федеральной службы государственной регистрации, кадастра и картографии по Белгородской области, 2015. – 84 с.
5. Марциневская Л.В. Агроклиматические условия и урожайность технических культур в Белгородской области [Текст] / Л.В. Марциневская, Н.В. Сазонова, А.Б. Соловьев // Проблемы природопользования и экологическая ситуация в Европейской России и сопредельных странах: материалы VI междунар. науч. конф., (Белгород, 12–16 окт. 2015 г.). – Белгород, 2015. – С. 260–264.
6. Корнилов А.Г. Проблемы экологической безопасности Белгородской области и управления рациональным природопользованием [Текст] / А.Г. Корнилов, А.Н. Петин, Н.В. Назаренко // Проблемы региональной экологии. – 2005. – № 6. – С. 38–50.
7. Петин А.Н. Основы экологии и природопользования [Текст]: учебное пособие по экологии для учащихся 8–11 кл. общеобразоват. учреждений / А.Н. Петин, Л.Л. Новых, В.И. Петина. – Москва: Изд-во МГУ, 2004. – 289 с.
8. Петин А.Н. Природные факторы паводочной ситуации на территории Белгородской области [Текст] / А.Н. Петин, М.А. Петина, М.Г. Лебедева и др. // Проблемы природопользования и экологическая ситуация в Европейской России и сопредельных странах: материалы VI междунар. науч. конф., (Белгород, 12–16 окт. 2015 г.). – Белгород, 2015. – С. 280–284.
9. Петин А.Н. Северский Донец: гидрологический режим и экологическое состояние [Текст] / А.Н. Петин, М.А. Петина, Ю.И. Новикова. – Белгород: ИД «Белгород» НИУ «БелГУ», 2014. – 184 с.
10. Природные ресурсы и экологическое состояние Белгородской области [Текст]: атлас / Правительство Белгородской области, Гос. экологическая инспекция Белгор. обл., Белгор. гос. ун-т, Упр. Федер. агентства кадастра объектов недвижимости по Белгор. обл.; редкол.: Ф. Н. Лисецкий (отв. ред.) [и др.]. – Белгород, 2005. – 179 с.
11. РД 52.04.563–2002 «Инструкция. Критерии опасных гидрометеорологических явлений и порядок подачи штормового сообщения». – М.: Росгидромет. 2003. – 27 с.
12. Современное состояние и перспективы развития Белгородской области / Аналитический вестник. – 2016. – № 6 (605). – 71 с.
13. Фондовые материалы Федеральной службы по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды за 2006–2015 гг.
14. Шаповалов М.А. Исследование опасных быстро развивающихся конвективных процессов в Северо-Кавказском регионе РФ: Автореф. дис. канд. физ.-мат. наук. – Нальчик, 2015. – 22 с.
15. Шкляев В.А. Климатические характеристики некоторых опасных явлений погоды на территории Пермского края [Текст] / В.А. Шкляев, Л.С. Шкляева // Географический вестник. – 2010. – № 2 (13). – С. 38–52.

УДК 911.3

**ТЕРРИТОРИАЛЬНАЯ ДИНАМИКА КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТИ
МАЛОГО ПРЕДПРИНИМАТЕЛЬСТВА В РФ****¹Сафиуллин Р.Г., ²Гришина Т.П., ²Маликова Э.Р.**¹*Институт социально-экономических исследований Уфимского научного центра РАН, Уфа, e-mail: safiullinrg@yandex.ru;*²*ФГБОУ ВО «Башкирский государственный университет», Уфа, e-mail: ek-geo@yandex.ru*

В настоящее время для экономики России особенно важным является поддержание стабильности развития МСП в сложившихся условиях и увеличение роли государственной поддержки. Благодаря санкционным преградам в секторе МСП появилась возможность развития, укрепления позиций, привлечения инвестиций, участия во внешнеторговом обороте, увеличения занятости населения, участия в инновационных разработках и т.д. Вопросы пространственного развития МСП слабо изучены. В данной статье авторами проведено исследование по конкурентоспособности МСП в регионах РФ. Предложена методика расчета интегрального индекса конкурентоспособности с учетом 15 показателей. Составлен рейтинг субъектов РФ и городов федерального значения по уровню текущей и стратегической конкурентоспособности. По итогам проведенного исследования авторами сделаны выводы и составлены график и картосхемы.

Ключевые слова: территориальная конкурентоспособность, малое и среднее предпринимательство, инфраструктурный потенциал, инновационная инфраструктура, экономическая и социальная география

**TERRITORIAL DYNAMICS OF COMPETITIVENESS SMALL BUSINESS
IN THE RUSSIAN FEDERATION****¹Safiullin R.G., ²Grishina T.P., ²Malikova E.R.**¹*Institute of Social and Economic Research, Ufa Research Centre, RAS, Ufa, e-mail: safiullinrg@yandex.ru;*²*The Bashkir State University, Ufa, e-mail: ek-geo@yandex.ru*

Currently, the Russian economy is particularly important to maintain the stability of the development of SMEs in the current environment and the increasing role of state support. Thanks to the sanctions barriers in the SME sector the opportunity to develop, strengthen positions, attraction of investments, participation in foreign trade, increase employment, and involvement in innovation, etc. Issues of spatial development of SMEs is poorly understood. In this article, the authors conducted a study on the competitiveness of SMEs in the Russian regions. The methods of calculating the integral index of competitiveness, taking into consideration 15 indicators. The rating of constituent entities of the Russian Federation and of the cities of Federal significance on the level of current and strategic competitiveness. According to the results of the study, the authors made conclusions and a schedule and maps.

Keywords: territorial competitiveness, small and medium enterprises, infrastructural capacity, innovative infrastructure, economic and social geography

Для устойчивого роста экономики России необходимо развитие предпринимательства. Малое и среднее предпринимательство (далее – МСП) играет все большую роль в решении многих проблем социально-экономического развития региона. Увеличивает занятость населения, создавая дополнительные рабочие места, повышает конкурентоспособность отраслей, смягчает социальное напряжение, способствует формированию конкурентной среды, помогает установлению рыночного равновесия, содействует осознанию независимости предпринимателей, ускоряет инновационные процессы, способствует формированию рыночных отношений, активизирует научно-технический прогресс [1]. В условиях сложившегося социально-экономического кризиса важное значение приобретает укрепление позиций МСП на региональных рынках России.

Сектору МСП свойственны гибкость, простота и дешевизна управления, способность содействовать научно-техническому прогрессу, ускорять внедрение его завоеваний, мобилизовать значительные финансовые и производственные ресурсы общества, он обуславливает важную экономическую, антимонопольную, инновационную и социальную роль этого сектора экономики. В то же время для малых предприятий характерны такие слабости как чрезмерная зависимость от внешней среды, неустойчивость, особенно к финансовым потрясениям, дефицит ресурсов, сложности со сбытом продукции и т.п. [11].

Актуальность исследования определяется тем, что уже в течение почти четверти века в развитии малого предпринимательства на этапе формирования рыночной экономики в регионах Российской Федерации не происходит позитивных изменений

в социально-экономических процессах, которые кардинально преобразовали бы роль малого предпринимательства.

Проблемы территориальной организации МСП в России очень слабо исследуются экономико-географами. Можно отметить только работы С.Г. Давыдовой [3], К.П. Лугового [6], Т.П. Гришиной [2], Е.А. Рублевой [8], И.И. Кротова [4].

Цель данного исследования – выявление пространственных особенностей конкурентоспособности в разрезе субъектов и городов федерального значения РФ. Общие признаки, свойственные всем малым и средним предприятиям, позволяют применить единую методику научных исследований различных территориальных сочетаний предпринимательства.

МСП стало заметным явлением в экономике России. Согласно статистическим данным, в стране функционирует более 2 млн малых и средних предприятий, зарегистрировано более 13 млн занятых на малых предприятиях, что составляет более 13% от общей численности трудоспособного населения или более 16% от населения, занятого в экономике. В условиях политической нестабильности особенно актуальными являются поддержка предпринимательства и повышение его конкурентоспособности.

Достижение и повышение конкурентоспособности является одной из первоочередных задач регионального развития. Актуальность этой задачи подтверждается исследованиями многих ученых [1–15]. Вопросы международной конкурентоспособности занимают ученые не один десяток лет, вследствие изменения содержания, методики расчета и определения понятия «конкурентоспособность».

Территориальная дифференциация субъектов РФ по уровню развития малого предпринимательства (далее – МП) очевидна. В связи с этим возникает необходимость изучения конкурентоспособности развития МП на различных пространственных уровнях (мега-, макро-, мезо-, микроуровнях).

Конкурентоспособность МП на уровне РФ – это макроуровень исследования. Этот уровень предполагает пространственную оценку конкурентоспособности экономических районов РФ. К проблемам конкурентоспособности МП в России в системе мирового хозяйства относится крайне невыгодное стартовое положение. Суровые климатические условия и другие неблагоприятные географические факторы (малокомпактная конфигурация, затрудненные связи между различными частями страны, отсутствие водных артерий, доступных в течение всего года, малое количество незамерзающих морских портов и т.д.) определяют повышенную энергоемкость и высокие транспортные издержки всех сфер жизни. Более высокая себестоимость производства в промышленно развитых странах не является препятствием для достижения конкурентоспособности на мировом рынке, т.к. широко используется научно-технический потенциал и территориальная организация рынка использования дешевой рабочей силы. Такой путь интеграции в мировое хозяйство представляется перспективным и для России.

Конкурентоспособность относится к оценочным показателям и имеет субъективно-объективный характер. Выбор способов, критериев и методик оценки зависит от субъекта и целей (задач) оценки, а также определяется функциональным содержанием объекта оценки [15].

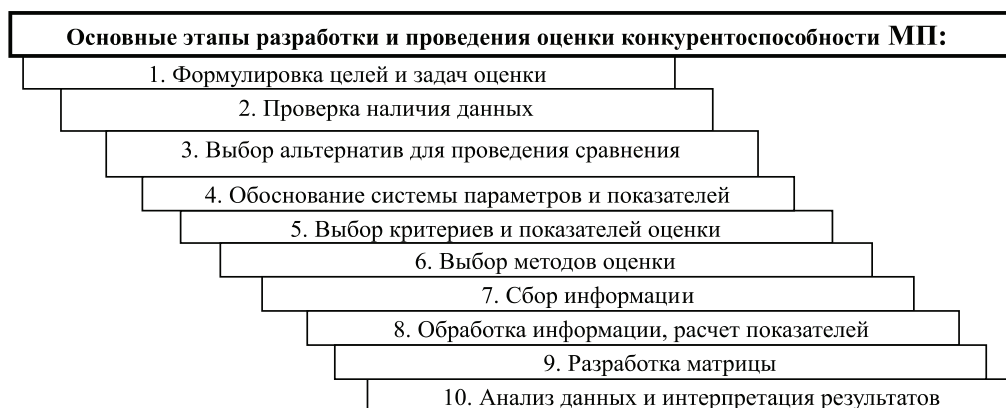


Рис. 1. Основные этапы разработки и проведения оценки конкурентоспособности МСП [2]

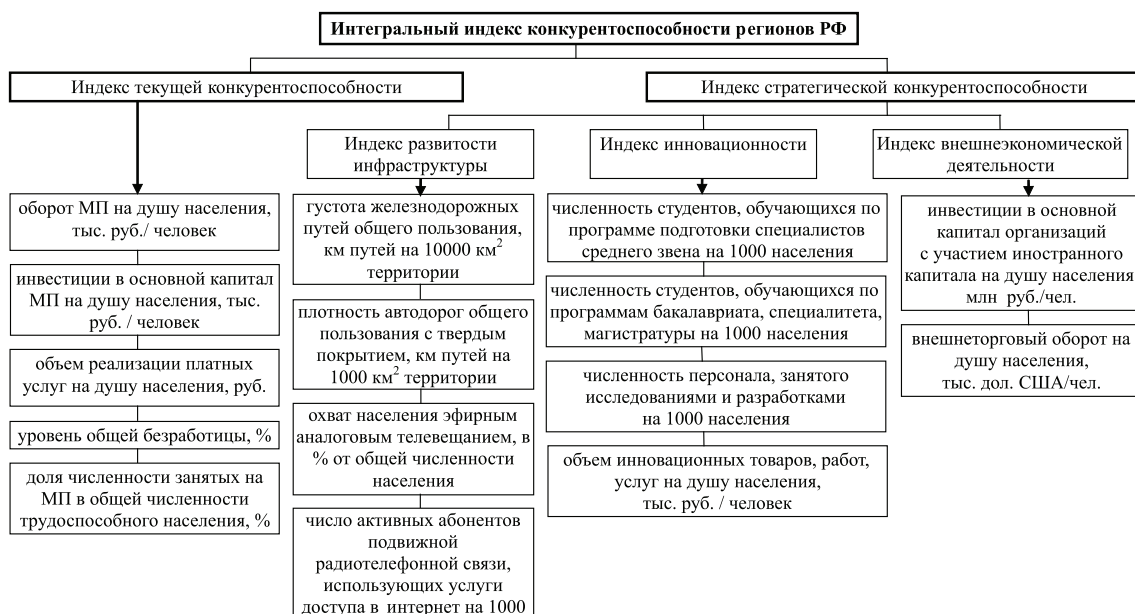


Рис. 2. Показатели, характеризующие интегральный индекс конкурентоспособности МСП регионов РФ

Для оценки конкурентоспособности МП РФ авторами используется методика сравнительной рейтинговой оценки конкурентоспособности (рис. 1–2).

Важной пространственной характеристикой МП в регионе является оценка текущей, стратегической и интегральной конкурентоспособности, позволяющей типологизировать субъекты РФ и города федерального значения при принятии управленческих решений.

В работе Н.И. Лариной и А.И. Макаева оценивается конкурентоспособность регионов Сибирского федерального округа, предлагается методика, аналогичная методике определения страновых рейтингов [5]. Сущность состоит в агрегировании ряда частных показателей страны (региона) по данному показателю. В диссертационном исследовании Т.П. Гришиной проведено аналогичное исследование, но по оценке конкурентоспособности развития МП субъектов РФ и муниципальных районов и городских округов РБ. Предложен интегральный индекс конкурентоспособности МП, количественное измерение которого осуществляется с помощью 15 показателей для РФ и 16 – для РБ [2]. Авторами проведено исследование по оценке конкурентоспособности МП в 2010 и 2014 гг. Для этого был изменен набор показателей в связи с произошед-

шими изменениями в статистическом учете и инновационного характера развития регионов. Интегральный индекс конкурентоспособности МП включает в себя индексы текущей и стратегической конкурентоспособности МП.

Индекс текущей конкурентоспособности МП региона характеризует состояние экономики субъектов РФ (5 показателей). Для более детальной оценки развития МП в регионе необходимо рассмотреть ряд показателей, так как они наиболее полно отражают уровень и эффективность развития малых предприятий в регионе. Индекс стратегической конкурентоспособности региона подразделяется на три индекса: развитости инфраструктуры, инновационности, внешнеэкономической деятельности. Интегральный индекс конкурентоспособности региона образуется путем вычисления среднего арифметического индекса текущей и стратегической конкурентоспособности. Он характеризует и состояние текущей, и потенциал стратегической конкурентоспособности субъектов РФ.

При изучении конкурентоспособности МП в субъектах РФ необходимо помнить, что все приведенные факторы в той или иной степени влияют на уровень развития МП. Выбор показателей обусловлен их значимостью и в то же время ограничен в связи с недостаточностью статистической инфор-

мации. Для расчета стратегической конкурентоспособности региона все выбранные показатели были приведены в сопоставимый вид:

$$X_{ij} = \frac{Y_{ij}}{\max_j Y_{ij}},$$

где i – номера показателей ($i = 1, 2, 3, \dots, m$),
 m – количество показателей;

j – номера региона ($j = 1, 2, 3, \dots, n$), n – количество регионов;

Y_{ij} – значение i -ого показателя j -ого региона;

X_{ij} – стандартизованный i -ый показатель (коэффициент) конкурентоспособности.

Для каждого показателя выбрано максимальное значение, которое принято за 1. Было найдено среднее значение всех индексов по субъектам РФ. По полученным результатам приведена рейтинговая оценка и проведено ранжирование субъектов по конкурентоспособности развития МП. Регионы упорядочиваются по убыванию показателя. Данная методика комплексной оценки конкурентоспособности развития МП позволяет строить рейтинги и выявлять потенциальные ядра роста.

Изучая конкурентоспособность МП на макроуровне, т.е. на уровне субъектов РФ за период с 2010 по 2014 г. по различным группам факторов, можно говорить о положи-

тельной динамике. В 2010 г. лидерами были города Москва (0,491) и Санкт-Петербург (0,405). В них уровень конкурентоспособности МП был очень высокий. В 2014 г. ситуация изменилась, лидеров стало больше и в группу с очень высокой конкурентоспособностью МП добавилась Сахалинская область (0,446) (рис. 3–4).

По уровню развития МП г. Москва находится на инновационном пути развития. Сахалинская, Калининградская области и г. Санкт-Петербург лидируют по уровню развития МП, оторвавшись от всех остальных субъектов, но наметился тренд замедления развития МП. Ряд субъектов находятся за нулевым значением текущей конкурентоспособности МП. Это республики Северного Кавказа, Республика Тыва и Усть-Ордынский Бурятский АО.

Таким образом, анализ индекса текущей конкурентоспособности МП позволил выявить в большинстве регионов положительную динамику, за исключением некоторых субъектов, которые по данному показателю ухудшили свои позиции: Архангельская, Астраханская, Тамбовская, Томская области, Еврейская АО, Республики Карачаево-Черкесская, Коми, Хакасия, Забайкальский край и Ямало-Ненецкий АО. В целом по РФ данный показатель увеличился с 0,27 до 0,32.

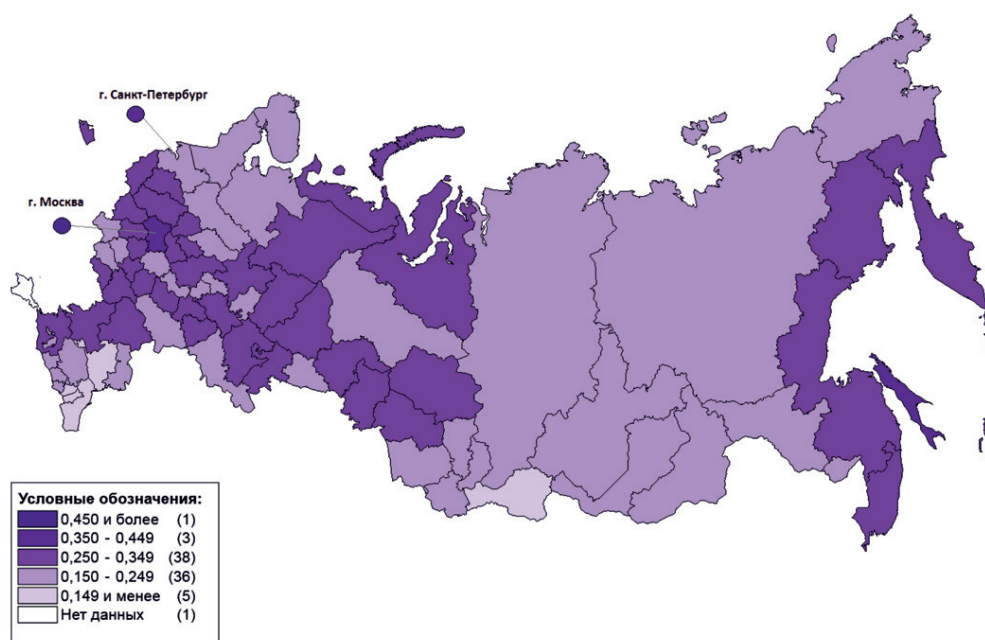


Рис. 3. География конкурентоспособности малого предпринимательства по субъектам России (2010 г.)

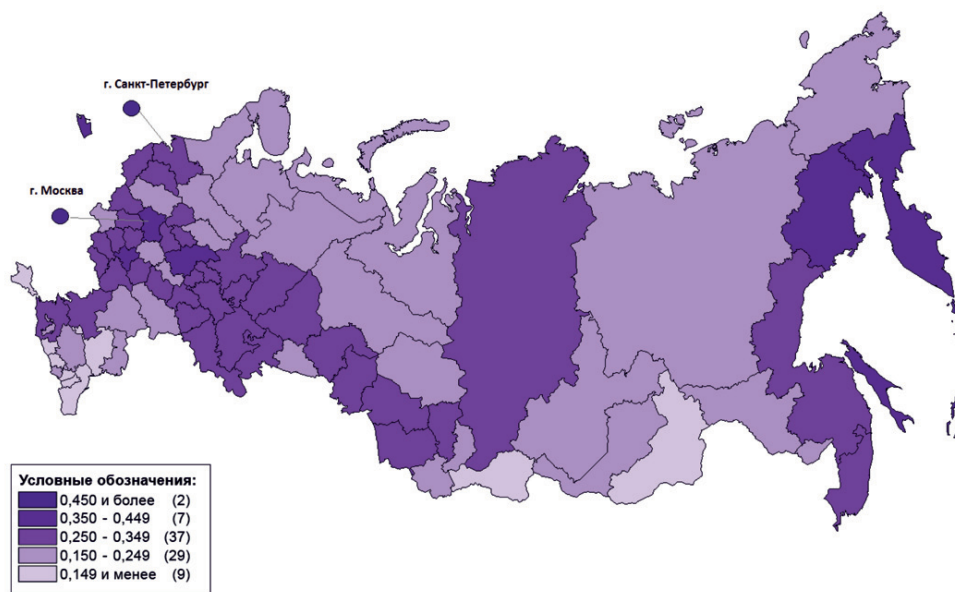


Рис. 4. География конкурентоспособности малого предпринимательства по субъектам России (2014 г.)

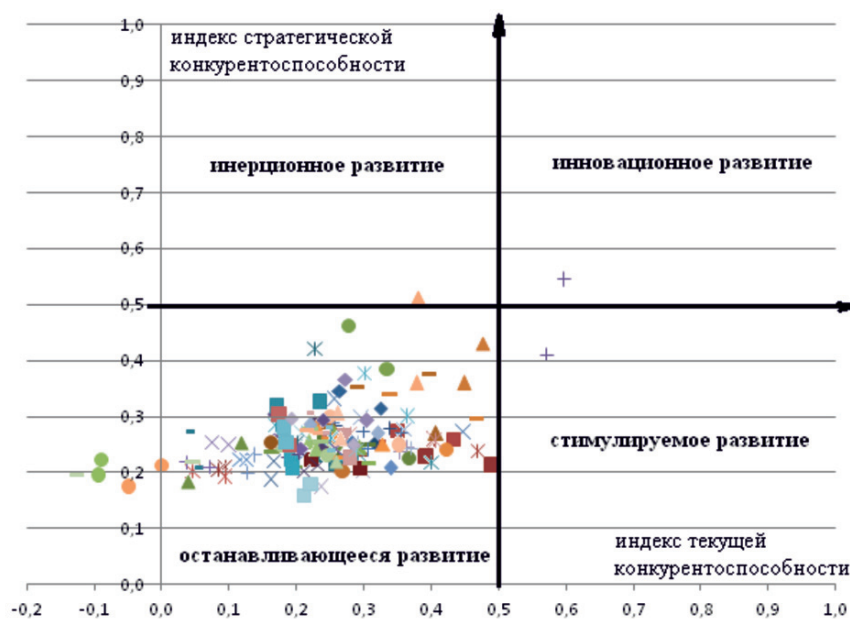


Рис. 5. Динамика конкурентных позиций субъектов и городов федерального значения России по уровню развития малого предпринимательства за период с 2010 по 2014 г.

Результаты выполненных расчетов индекса стратегической конкурентоспособности МП свидетельствуют об ухудшении ситуации в целом по стране: значение индекса сократилось с 0,26 до 0,25. Улучшили свои позиции такие регионы: Калининградская, Иркутская, Ленинградская, Мурманская,

Сахалинская, Томская области, Приморский край, Республики Бурятия и Чеченская, Чукотский АО и города Москва и Санкт-Петербург.

Для всех субъектов, в том числе и г. Санкт-Петербурга, характерен останавливающийся тренд развития конкурентоспособности МП.

Калининградская, Иркутская, Ленинградская, Мурманская, Сахалинская области, Приморский край, Республики Бурятия, Чеченская, Чукотский АО и города Москва и Санкт-Петербург улучшили свои позиции по текущему и по стратегическому индексу конкурентоспособности МП. Остальные субъекты ухудшили свои позиции либо по значению одного, либо по значению другого индекса конкурентоспособности МП.

Складывающаяся ситуация в развитии конкурентоспособности МП напрямую связана с наступающим общим социально-экономическим кризисом в стране. Основными факторами, влияющими на эффективность малого бизнеса и сдерживающими его развитие в России, являются спад покупательского спроса, вызванный снижением реальных доходов основной части населения, высокая налоговая нагрузка на бизнес, гнет государственной монополии и олигополии.

Данное исследование выполнено в рамках госзадания ИСЭИ УНЦ РАН по теме № 0253-2014-0001 «Стратегическое управление ключевыми потенциалами развития разноразмерных социально-экономических систем с позиций обеспечения национальной безопасности» (№ гос. регистрации 01201456661).

Список литературы

1. Гришина Т.П. Малое и среднее предпринимательство в условиях глобализации // Развитие регионов и предприятий в условиях глобализации: сборник Международной научно-практической конференции. – Уфа: РЭУ им. Плеханова, 2015. – С. 163–168.
2. Гришина Т.П. Экономико-географическая оценка конкурентоспособности малого и среднего предпринимательства Республики Башкортостан: дис....канд. геогр. наук. – Калининград, 2010. – 199 с.
3. Давыдова С.Г. Территориальная организация малого бизнеса в Новгородской области: дис....канд. геогр. наук. – Санкт-Петербург, 2004. – 220 с.
4. Кротов И.И. Развитие малого предпринимательства на основе государственных и муниципальных заказов (на примере регионов Российской Федерации): дис....канд. геогр. наук. – Пермь, 2015. – 233 с.
5. Ларина Н.И., Макаев А.И. Кластеризация как путь повышения международной конкурентоспособности страны и регионов [Текст] / Н.И. Ларина, А.И. Макаев // ЭКО Всероссийский экономический журнал. – 2006. – № 10. – С. 17.
6. Луговой К.П. Политические и экономико-географические аспекты развития малого бизнеса рекреационной сферы Краснодарского края: дис....канд. геогр. наук. – Краснодар, 2006. – 138 с.
7. Механизмы повышения конкурентоспособности экономики регионов [Текст] / С.Н. Смирнов, Ю.В. Симачев, Л.С. Засимова, А.А. Чулок. – М.: ГУ ВШЭ, 2005. – 33 с.
8. Рублева Е.А. Географический анализ и оценка развития малого предпринимательства в Приволжском Федеральном округе и Удмуртской Республике с помощью геоинформационных систем: дис....канд. геогр. наук. – Воронеж, 2015. – 233 с.
9. Сафиуллин Р.Г., Афанасьев А.К. Основы территориальной экономической политики Республики Башкортостан в начале XXI века // География и регион: материалы междунар. науч.-практ. конф. (Пермь, 23–25 сент. 2015 г.). – Пермь, 2015. – С. 136–146.
10. Сафиуллин Р.Г., Гайнанов Д.А. Формирование и развитие кластеров в регионе: теоретико-методологические и прикладные аспекты (на примере Республики Башкортостан) [Текст] // Д.А. Гайнанов, В.В. Печаткин, Р.Г. Сафиуллин, М.М. Макова, С.М. Гаймалова, Т.Р. Ахметов, В.А. Усов. – Уфа: ИСЭИ УНЦ РАН, 2009. – 164 с.
11. Сафиуллин Р.Г., Гришина Т.П. Территориально-структурные особенности развития малого и среднего предпринимательства в Республике Башкортостан // Инновационные технологии пространственного развития: сборник научных трудов Всероссийской науч.-практ. конф. – Уфа: ИСЭИ УНЦ РАН, 2007. – С. 231–235.
12. Сафиуллин Р.Г., Салимгареев Н.Г. Критерии пространственного развития региона [Текст] / Р.Г. Сафиуллин, Н.Г. Салимгареев // Регионоведение. – 2009. – № 3. – С. 19–27.
13. Сафиуллин Р.Г., Сафиуллина Р.М. Эффективность территориального развития России: теория, реальность, проблемы // Инновационные технологии управления социально-экономическим развитием регионов России: материалы VII Всероссийской науч.-практ. конф. – Уфа, 2015. – С. 37–47.
14. Сафиуллин Р.Г., Сафиуллина Р.М., Ибрагимова З.Ф. Территориально-структурная трансформация города-миллионера: теоретические подходы и методы [Текст] / Р.Г. Сафиуллин, Р.М. Сафиуллина, З.Ф. Ибрагимова // Региональные исследования. – 2015. – № 1. – С. 18–23.
15. Шеховцева Л.С. Обоснование методики оценки конкурентоспособности российских регионов [Текст] / Л.С. Шеховцева // Региональная экономика. – 2007. – № 6. – С. 31.

УДК 556:550.461:547.99/.916/.915.5

К ВОПРОСУ О ВЛИЯНИИ ГЕОКЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ НА СОСТАВ И ПЕРЕНОС ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА ВОДНО-БОЛОТНЫХ ЭКОСИСТЕМ

Селянина С.Б., Кокрятская Н.М., Пономарева Т.И., Ярыгина О.Н., Труфанова М.В.*ФБГУН «Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики РАН»,
Архангельск, e-mail: smssb@yandex.ru*

Арктический бассейн является активным звеном глобального кругооборота вещества и формирования климата Земли. Актуальность исследования биогеохимических процессов, протекающих в водоемах субарктического и арктического регионов, определяется, прежде всего, нестабильностью их экологического состояния в условиях изменения климата. Водосбор Белого моря характеризуется высокой заболоченностью вследствие постоянного переувлажнения и низких годовых температур территорий, что существенно влияет на состав водотоков. В статье на примере Иласского болотного массива исследован макрокомпонентный состав торфяных природных матриц. Выявлено существенное отличие процессов биodeградации органического вещества природных матриц в условиях холодного климата. Обоснована целесообразность более подробного изучения влияния геоклиматических условий западного сегмента Севера России на перенос веществ и протекание биогеохимических процессов в сопряжении с анализом органического вещества почв, воды и донных осадков.

Ключевые слова: органическое вещество, гуминовые вещества, битумы, водно-болотные экосистемы, геоклиматические условия, водосбор Белого моря

TO THE QUESTION OF THE INFLUENCE OF GEOCLIMATIC CONDITIONS ON THE ORGANIC MATTER COMPOSITION AND TRANSPORT OF BOG-AQUATIC ECOSYSTEMS

Selyanina S.B., Kokryatskaya N.M., Ponomareva T.I., Yarygina O.N., Trufanova M.V.*Federal Center for Integrated Arctic Research of Russian Academy of Sciences, Arkhangelsk,
e-mail: smssb@yandex.ru*

Arctic Basin is an active link in the global substance cycle and in the Earth's climate formation. The actuality of investigation of the biogeochemical processes occurring in the waters of the Arctic and Subarctic regions is determined, above all, by the instability of their ecological state in the context of climate change. The White Sea water-producing area is characterized by high bogginess, arising from permanent waterlogging and low annual temperatures of the region, which influence on the composition of the water courses. The macrocomponent composition of peat native matrices (using Ilassky bog massive as an example) was studied in this paper. Big difference in the native matrices' organic matter biodegradation processes under the cold climate conditions is indicated. Reasonability of more detailed study of influence of the geo-climatic conditions of the Russian North western segment on the mass transfer and biogeochemical processes behavior coupling with soil, water and benthic sediments organic matter analysis is proved.

Keywords: organic matter, bog-aquatic ecosystems, humic substances, bitumen, geo-climatic conditions, White Sea water-producing area

Арктический бассейн является активным звеном глобального кругооборота вещества и формирования климата Земли. Для России Арктика имеет особое значение – её ресурсы, экологическое состояние, факторы, определяющие климат, оказывают прямое влияние на экономику и условия жизни на огромной территории страны, примыкающей к Арктическому бассейну.

Актуальность исследования биогеохимических процессов, протекающих в водоемах субарктического и арктического регионов, определяется, прежде всего, нестабильностью их экологического состояния в условиях изменения климата. Согласно данным межправительственной группы экспертов по изменению климата [7], подтвердивших тезис о глобальном потепле-

нии, арктический регион является наиболее чувствительным к внешним как естественным, так и антропогенным воздействиям. В течение тысяч лет арктическая тундра накапливала органическое вещество, являясь стоком углерода для атмосферы [8]. Потепление в высоких широтах способствует таянию вечной мерзлоты, при этом законсервированная в криолитозоне органика начинает поступать в глобальный кругооборот, что приводит к нарушению локальных и региональных биогеохимических циклов химических элементов.

Водосборные территории Севера России характеризуются высокой заболоченностью вследствие постоянного переувлажнения и низких годовых температур, причем доля торфяных и торфянистых почв возрас-

тает при повышении широтности [1]. Это существенно влияет на состав водотоков, поскольку общеизвестно, что органическое вещество поступает в водоемы в растворенном и взвешенном виде, причем 60–80 % его поступает в растворенном виде с почвенными стоками [6].

Вместе с тем состав и свойства (и, в частности, содержание и состав органического вещества) природных матриц торфяно-болотных экосистем, функционирующих в условиях западного сегмента Севера России, остались без должного рассмотрения. Имеющиеся в научной литературе данные по составу органического вещества подобных систем относятся преимущественно к районам с умеренно континентальным, переходным к южному, южным климатом [2, 3].

Поэтому представляется актуальным получить информацию о влиянии гео-климатических условий на состав и особенности переноса органического вещества водно-болотных экосистем.

Материалы и методы исследования

На водосборах Европейского Севера РФ преобладают верховые болота и торфяные залежи [1]. Поэтому в качестве объекта исследования выбран торф Иласского болотного массива, грядово-мочажинный и озерковый комплексы которого относятся к верховому типу и где расположен болотный стационар Росгидромета (образец 1), а также имеется участок, осушенный около 70 лет назад (образец 2). В качестве образцов сравнения использованы образцы торфа из регионов с умеренно континентальным и континентальным климатом: Республика Беларусь (образец 4) и Западная Сибирь (образец 3).

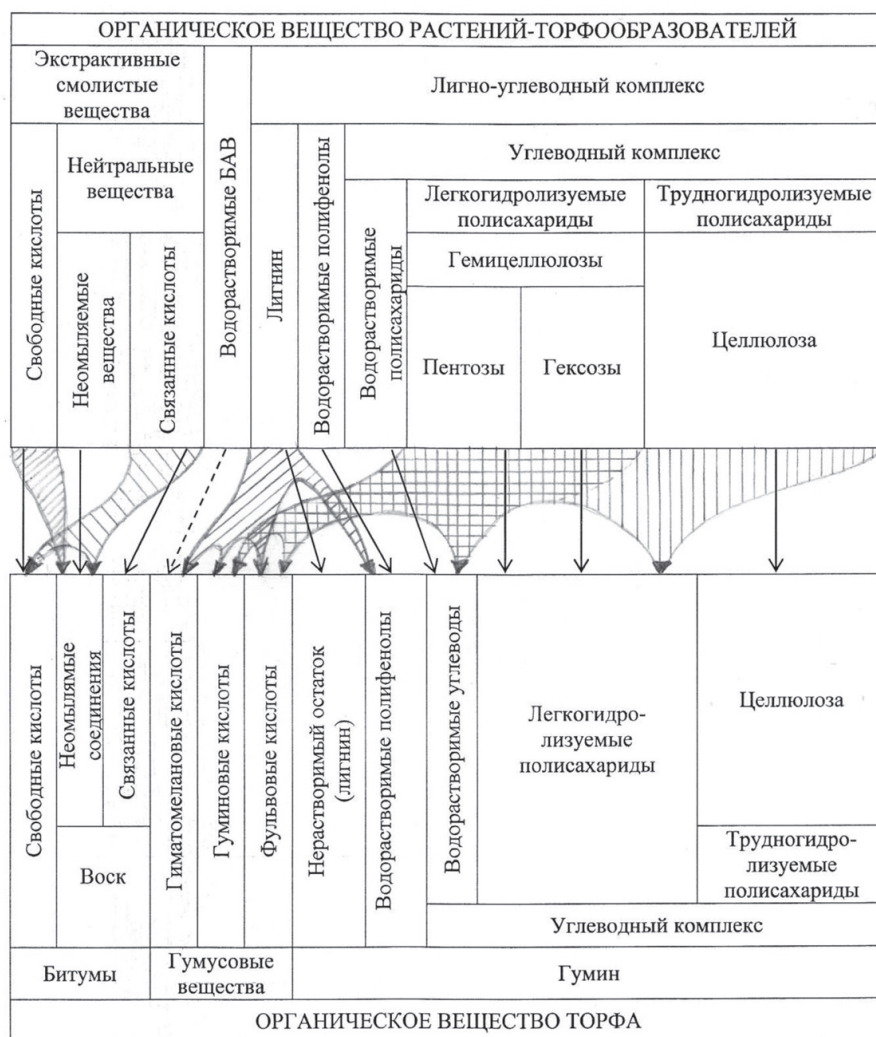


Рис. 1. Схема трансформации органического вещества в процессе торфообразования

Характеристика образцов верхового торфа

Показатель	Номер образца			
	1	2*	3	4
Климат	Субарктический морской		Умеренно континентальный	Континентальный
Координаты точки отбора	64°19' N, 40°36' E	64°19' N, 40°41' E	57°34' N, 75°40' E	54°19' N, 29°08' E
Глубина отбора, см	20–70	30–70	20–70	20–70
Степень разложения, %	5–10	10–15	20–25	15–20
Насыпная плотность, кг/м³	71 ± 0,5	89 ± 0,5	520 ± 2	290 ± 1
Зольность, %	1,0 ± 0,2	5,7 ± 0,2	9,3 ± 0,2	5,1 ± 0,2
Массовая доля, % от органических веществ				
Битумы	5,4 ± 0,1	3,5 ± 0,1	5,1 ± 0,1	4,5 ± 0,1
Водорастворимые вещества	3,5 ± 0,2	4,4 ± 0,3	1,4 ± 0,1	0,4 ± 0,05
Легкогидролизуемые соединения	67,9 ± 0,1	46,8 ± 0,8	35,7 ± 0,8	16,1 ± 0,2
Трудногидролизуемые соединения	10,2 ± 0,1			4,7 ± 0,1
Негидролизуемый остаток	16,6 ± 0,3	24,8 ± 0,7	25,8 ± 0,4	30,4 ± 0,5
Гуминовые вещества	11,6 ± 0,2	20,5 ± 0,8	32,0 ± 0,9	43,9 ± 1,2
Соотношение ФК/ГК**	3,5	4,2	1,8	3,1

Примечания: * – образец с осушенного участка Иласского болотного массива, ** – соотношение массовых долей фульвовых кислот и гуминовых кислот.

Макрокомпонентный состав торфяных природных матриц исследовали согласно оптимизированному методу изучения группового химического состава торфяных полимерных матриц, сформированных в условиях западного сегмента Севера России, подробно рассмотренному в [5]. Степень разложения, зольность, насыпную плотность определяли в соответствии с рекомендациями в [3]. Поверхностно-активные свойства характеризовали по снижению поверхностного натяжения водных растворов, измеренному методом Вильгельми, позволяющему изучать кинетику формирования поверхностного адсорбционного слоя в растворах природных полиэлектролитов [4] и отличающемуся высокой точностью и воспроизводимостью результатов. Снимки временных водных препаратов образцов торфа получали при помощи лабораторного микроскопа Axio Scope A1 Zeiss в комплекте с цифровой камерой Canon G10. Спектры растворов записывались в диапазоне длин волн от 190 до 900 нм на УФ-спектрофотометре (Shimadzu UV-1800) относительно растворителя. Гидродинамические размеры макромолекул определяли методом динамического светорассеяния в водных растворах гумусовых биополимеров, выделенных из исследуемых образцов торфа. Для анализа использовали измеритель размеров частиц Horiba-LB 550 (Франция) с диапазоном измерения частиц от 1,0 до 6000 нм.

Результаты исследования и их обсуждение

Торфообразование включает в себя множество разнонаправленных процессов, основными из которых принято считать окисление, гидролиз, деполимеризацию, конденсацию. Часть соединений, вследствие специфических угнетающих микро-

биоту условий, сохраняется в неизменном виде и наследуется непосредственно от исходных растений-торфообразователей. Видоизмененность исходных структурных элементов характеризуется степенью разложения торфа. Она закономерно определяется продолжительностью и условиями трансформации растительных веществ и их производных. При этом, как видно из схемы на рис. 1, из высокомолекулярных составляющих образуются наряду с водорастворимыми и соединения, способные переходить в раствор при изменении pH среды.

По данным, представленным в таблице, отчетливо прослеживается снижение степени разложения с повышением широтности (образцы 1, 3 и 4), что сопровождается уменьшением доли как конденсированной, так и гумифицированной части полимерной матрицы торфа. Аналогичное действие оказывает осушение территорий (образец 2), обеспечивающее лучшую аэрацию торфяного слоя.

Как видно из данных таблицы, повышение широтности приводит, наряду со снижением степени разложения торфа, к уменьшению содержания гуминовых веществ и доли низкомолекулярной части (фульвокислот) в них, что вполне логично, учитывая сдерживающее влияние низких среднегодовых температур на процессы биотрансформации органической части исходных растений. Вместе с тем следу-

ет отметить низкую зольность и близкую по величине к характерным для верхового торфа других регионов битуминозность. Это также может ингибировать процессы разложения растительных остатков. Принято считать, что биосинтез составляющей основу торфяных битумов экстрактивной части в растениях наиболее чувствителен к природным условиям и в условиях Севера протекает значительно медленнее, чем в регионах с более теплым климатом. По-видимому, существенный вклад привносит низкая скорость разложения растительных экстрактивных веществ в холодных климатических условиях. Дополнительным подтверждением этого предположения служит снижение битуминозности в 1,5 раза в результате осушения торфяной залежи.

Очень малая величина насыпной плотности (а следовательно, высокая пористость) позволяет ожидать высокой сорбционной способности этих матриц по отношению к различным веществам природного и техногенного происхождения, что требует, однако, дополнительных исследований. Вместе с тем данная особенность способна заметно влиять на перенос веществ в болотно-водных экосистемах.

содержание гидролизуемых соединений и фульвокислот составляет около 80% от массы органического вещества, причем доля углеводов в них (включая трудногидролизуемые соединения, т.е. целлюлозу) в 2–3 раза ниже, чем в исследованных образцах торфа других регионов. Вместе с тем общеизвестно, что именно углеводная часть наиболее доступна для питания микробиоты. По-видимому, в условиях субарктического климата микробные сообщества менее активны, чем в других, более теплых условиях. Интересен также тот факт, что гуминовые соединения на 80% состоят из фракции с низкой молекулярной массой и, соответственно, с лучшей растворимостью в водных средах – фульвовых кислот. Следует отметить достаточно высокую поверхностную активность гуминовых веществ. Как свидетельствуют изотермы, представленные на рис. 3, по способности снижать поверхностное натяжение воды они близки к классическим поверхностно-активным веществам с тем отличием, что для достижения равновесия в описываемых системах ввиду высокой молекулярной массы гуминовых веществ требуется до 20–24 часов. Это неизбежно сказывается на переносе

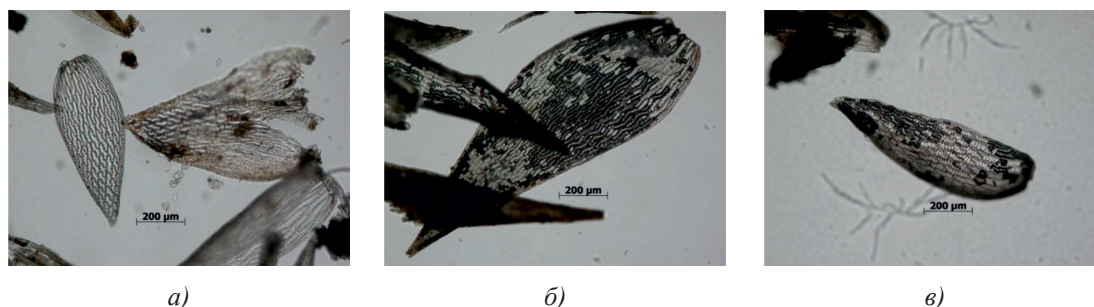


Рис. 2. Микрофотоснимки образцов торфа ненарушенного участка Иласского болотного массива с глубины залегания: а) 5 см; б) 50 см; в) 190 см

Следует отметить, что для торфа ненарушенного участка Иласского болотного массива низкая степень разложения характерна на всей исследованной глубине залегания (до 2 м). Это наглядно демонстрируют микрофотоснимки, представленные на рис. 2.

При сравнительном анализе представленного в таблице состава органической части в зависимости от региона формирования обращает на себя внимание высокое содержание в торфе Иласского болотного массива групп соединений потенциально растворимых в водных средах. Общее

органических веществ в виде взвеси в водных экосистемах.

При этом следует учитывать, что поверхностная активность относительно низкомолекулярной фульвокислотной фракции (максимальная депрессия поверхностного натяжения воды 19 мДж/м²) заметно ниже, чем высокомолекулярной (максимальная депрессия поверхностного натяжения воды 32 мДж/м²). И хотя поверхностная активность смеси обусловлена в большей степени высокомолекулярной составляющей, однако фракционный состав, бесспорно, будет влиять на поверхностно-активные свойства,

которые, в свою очередь, определяют устойчивость взвеси в водоемах. Спектральный анализ экстрактов позволяет констатировать, что и водорастворимая часть торфа Иласского болотного массива представлена преимущественно полифенолами, близкими по структуре к гуминовым соединениям, тогда как в торфе других регионов исследователи при экстракции холодной водой извлекают в основном углеводы [2, 3]. Необходимо отметить, что поверхностная активность гуминовых веществ проявляется также в способности образовывать в растворах межмолекулярные агрегаты размером от 100 до 1000 нм.

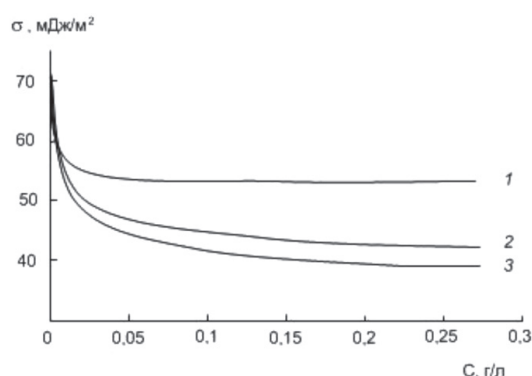


Рис. 3. Концентрационные зависимости поверхностного натяжения растворов: 1 – фульвовых кислот, 2 – гуминовых веществ; 3 – гуминовых кислот

Таким образом, выявлено существенное отличие процессов биodeградации органического вещества природных матриц в условиях холодного климата, в частности зафиксировано снижение глубины биотрансформации как высокомолекулярных компонентов клеточной стенки исходных растений, так и экстрактивных веществ. Вместе с тем освоение заболоченных территорий неизбежно приведет к активации

биодеструкции законсервированного органического вещества торфа и выносу его в водоемы. Детальное описание этих процессов требует проведения углубленного исследования влияния гео-климатических условий западного сегмента Севера России на перенос веществ и протекание биогеохимических процессов в сопряжении с анализом органического вещества почв, воды и донных осадков.

Работа выполнена при финансовой поддержке проекта фундаментальных исследований УрО РАН № 0410-2015-0031, образцы торфа получены в рамках темы ФАНО России № 0410-2014-0029 и гранта РФФИ № 14-05-90011-Бел_а.

Авторы выражают благодарность сотруднику ФГБУН ФИЦКИА РАН Сурсо М.В. за помощь в получении микрофото снимков препаратов торфа.

Список литературы

1. Единый государственный реестр почвенных ресурсов России. Версия 1.0 // Почвенный ин-т им. В.В. Докучаева Россельхозакадемии. – М., 2014. – С. 768.
2. Торф (ресурсы, технологии, геоэкология) / В.И. Косов, А.С. Беляков, О.В. Белозеров, Д.Ю. Гогин. – Санкт-Петербург: Наука, 2007. – 452 с.
3. Лиштван И.И., Король Н.Т. Основные свойства торфа и методы их определения. – Минск, 1976. – 320 с.
4. Селянина С.Б., Труфанова М.В., Афанасьев Н.И., Селиванова Н.В. Поверхностно-активные свойства сульфатных лигнинов // ЖПХ. – С-Пб., 2007. – Т. 80, № 11. – С. 1807–1810.
5. Зависимость состава и свойств групповых составляющих торфа от схемы их разделения / О.Н. Ярыгина, Т.И. Пономарева, М.В. Труфанова, С.Б. Селянина, Л.Н. Парфенова и др. // Природопользование. – 2015. – № 28. – С. 211–216.
6. Cole J.J., Kritzberg E.S., Pace M.L., Granéli W. Bacterial growth on allochthonous carbon in humic and nutrient enriched lakes: Results from whole lake experiments // Ecosystems. – 2006 – V. 9. – P. 489–499.
7. Projections of Future Climate Change / U. Cubasch G.A. Meehl, G.J. Boer, R.J. Stouffer, M. Dix, A. Noda, C.A. Senior, S.C.B. Raper and K.S. Yap // Climate Change 2001: The Scientific Basis: Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. – 2001. – P. 526–582.
8. Walter B.P., Heimann M., Matthews E. Modeling modern methane emissions from natural wetlands 1. Model description and results // Journal of Geophysical Research-Atmospheres. – 2001. – № D24. – P. 34189–34206.

УДК 550.4

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ СОВРЕМЕННЫХ И ПОГРЕБЕННЫХ ПОЧВ АЛЛЮВИАЛЬНЫХ ГЕОСИСТЕМ БАСЕЙНА РЕКИ СУРА**Солодков Н.Н., Чурсин А.И., Дьячков М.Д.***ФГБОУ ВО «Пензенский государственный университет архитектуры и строительства», Пенза,**e-mail: niconsol@yandex.ru, ktkbr1322@yandex.ru*

Стремительные изменения природы и климата под влиянием деятельности человека актуализировали изучение динамики развития ландшафтов на региональном уровне. В Среднем Поволжье таких исследований крайне мало. На основе исследования погребенных лугово-черноземовидных почв бассейна реки Сура проводится реконструкция основных этапов эволюции аллювиальных геосистем за последние 4000 лет. Выделяются основные этапы эрозионно-аккумулятивного цикла в голоцене и ритмы почвообразования. Предложена авторская классификация региональных педокомплексов Среднего Поволжья: современные (Pd. 1.0), средне-субатлантические (Pd. 2.1), раннесубатлантические (Pd. 2.2) и суббореальные почвы (Pd. 3.0). Представлены результаты почвенно-литологических исследований, физических и химических свойств погребенных почв, а также сводные данные их радиоуглеродного возраста, которые отражают как общие, так и специфические черты почвообразования и диагенетических процессов после погребения.

Ключевые слова: погребенные почвы, голоцен, Среднее Поволжье, река Сура, ритмы**THE RESULTS OF STUDIES OF MODERN AND BURIED SOILS OF ALLUVIAL GEOSYSTEMS OF THE SURA RIVER BASIN****Solodkov N.N., Chursin A.I., Dyachkov M.D.***Penza State University of Architecture and Construction, Penza, e-mail: niconsol@yandex.ru,**ktkbr1322@yandex.ru*

The rapid changes in the nature and climate under the influence of human activities updated the study of the dynamics of landscape development at the regional level. In the Middle Volga region such studies are scarce. Based on the study of buried meadow-chernozem soils Basin of Sura river held reconstruction of the main stages in the evolution of alluvial geosystems in the last 4000 years. Highlighted the main stages of erosion and accumulation cycle in the Holocene and the rhythms of soil. The author's classification of regional Middle Volga pedocomplexes: modern (Pd 1.0.), average subatlantik (Pd 2.1.), early subatlantik (Pd 2.2.) and subboreal soils (Pd 3.0.). The results of soil and lithological studies the physical and chemical properties of buried soils, as well as a summary of their radiocarbon age, which reflect both general and specific features of soil formation and diagenetic processes after burial.

Keywords: buried soils, Holocene, Middle Volga, the river Sura, rhythms

Динамичное изменение климата Земли, отмеченное в XX – нач. XXI вв., стало актуальным предметом изучения большинства научных работ последних десятилетий. В связи с этим развернулись исследования не только на глобальном и региональном уровнях. Среди основных причин стали выделять две главные группы: антропогенно-техногенное воздействие и факторы естественного происхождения, связанные с цикличностью климата. Возникла необходимость изучения природы в её пространственно-временном аспекте.

Для равнинных территорий объектом изучения стали голоценовые циклиты [8]. Эти образования отражают процессы стабильного и нестабильного состояния геосистем. Бассейн р. Сура занимает наибольшую площадь в пределах Среднего Поволжья, а изучен недостаточно с этой точки зрения. Погребенные почвы широко распространены в аллювиальных геосистемах р. Сура и её притоков. После погребения почв происходят и диагенетические процессы.

Основная цель работы – выявление стадий педолитогенеза и педометаморфических процессов погребенных разновозрастных почв пойменных геосистем бассейна р. Сура. При этом основное внимание уделялось возрасту погребенных почв, свойствам, с одной стороны, устойчивым к процессам диагенеза, а с другой, позволяющим реконструировать палеосреду почвообразования, а также региональным особенностям процессов педо- и литогенеза.

Результаты исследования и их обсуждение

Бассейн реки Сура имеет сложное геологическое строение, представленное различными морскими отложениями мелового и палеогенового возраста. Прежде всего, это пески, мергели, опоки, песчаники и пр. Для изучения были зачищены стенки прирусловых обрывов и действующих карьеров. Было проведено почвенно-литологическое описание разрезов, отобраны образцы современных, погребенных почв и аллювия

на следующие виды лабораторных анализов: радиоуглеродное датирование по ^{14}C , валовой химический состав на основе рентгенфлуоресцентного метода, микростроение шлифов, гранулометрический состав (по Н.А. Качинскому), pH солевой, гидролитическая кислотность, сумма поглощенных оснований и емкость поглощения, а также содержание органического вещества, оксидов фосфора и калия.

Изучение стратиграфического строения разрезов показало наличие погребенных почв различной мощности, подстилаемых и перекрытых песчаным аллювием. Глубина погребения различна от 10 см до 2 метров. Актуальные почвы маломощные (2–25 см), супесчаного состава, с набором генетических горизонтов типа Ad–A–C. Переход в породу ровный резкий. Микростроение дернового горизонта отражает признаки пойменного режима этих почв: песчано-плазменный состав основной массы, в которой обнаруживаются крупные скелетные структуры типа песчаных частиц различных размеров, зерен глауконита, обломков песчаника, опок и пр. Обнаруживаются полуразложившиеся и пропитанные железистым веществом органические остатки, что отражает микропризнаки оторфованности.

ровным переходом в породу. Данные радиоуглеродного анализа по ^{14}C , выполненные в лаборатории Института географии РАН (г. Москва), показали, что возраст погребенных почв изменяется от среднесуббореального (SB-2) до среднесубатлантического (SA-2). На рис. 1 представлены сводные данные о стратиграфии и некалиброванном возрасте генетических горизонтов изучаемых почв [2].

Из приведенного рисунка видно, что иногда погребенные почвы разного возраста погребаются почвами более позднего возраста. Так, на примере разреза № 2 изучена среднесуббореальная почва возрастом 3870 ± 50 BP, погребенная аккумулятивным горизонтом раннесубатлантической почвы (2560 ± 80 BP).

Микростроение погребенных мощных лугово-черноземовидных почв отражает как характерные черты пойменного режима, так и условия олуговения. Гор. [Ag] суббореально-субатлантической почвы разреза № 2 выделяется обилием агрегатов второго типа. Материал гумусирован неравномерно, но в целом имеет темноцветный облик. Железисто-глинистые кутаны являются диагностическими микропризнаками процессов иллювиирования этих веществ. Наличие большого числа железистых стяжений

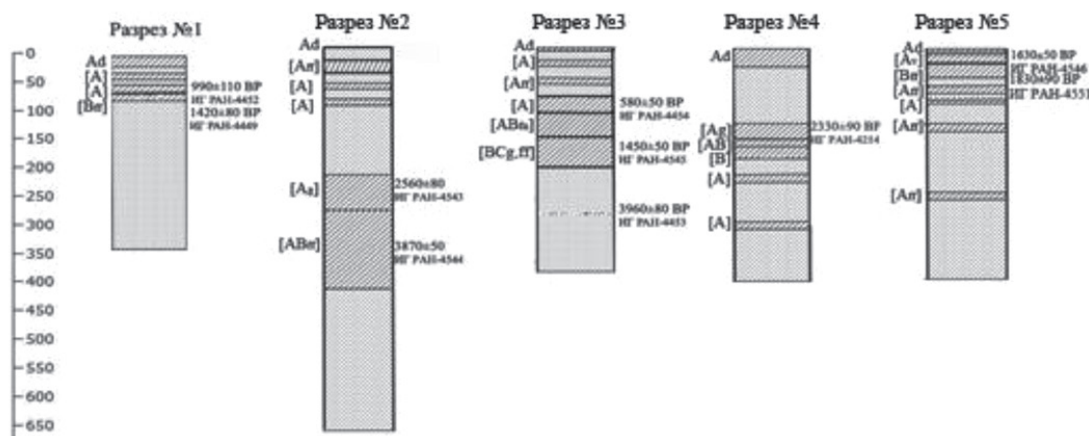


Рис. 1. Стратиграфия и радиоуглеродные даты (некалиброванные) погребенных почв в бассейне р. Сура

Погребенные мощные лугово-черноземовидные почвы выделяются темно- или серогумусовым окрасом и достигают различной мощности – от 28 см до 200 см. Строение генетических горизонтов в большинстве случаев представлено следующей последовательностью: A–AB–B–C с резким

свидетельствует об интенсивных элювиально-глеевых процессах.

Горизонт [AB_{ff}] разреза № 2 суббореального возраста имеет как общие черты с гор. [Ag] (накопление песчаных частиц и минералов, агрегаты неправильной формы), так и специфические, характеризующие

высокую степень внутригоризонтного оглее-ния: чередование зон обезжелезнения и скопления железистых стяжений различных форм и размеров. Обнаруживаются деформированные железисто-глинистые кутаны, формирование которых связано, по-видимому, с их диагенезом после погребения.

Гранулометрический состав изменяется от суглинистого до тяжелого суглинка (табл. 1).

В данном случае гранулометрический состав отражает пойменные условия почвообразования. Более тяжелый гранулометрический состав отражает поступление тонких глинистых фракций, что характерно для проток и пересыхающих водоемов типа запрудин и стариц. Аллювий выделяется легким составом, который изменяется от песка рыхлого до легкого суглинка. Такое

чередование в разрезах водноседиментационных толщ подчеркивает ритмику пойменных геосистем, когда на стадиях стабильного развития откладывался легкий аллювий, а в периоды стабилизации – развивался почвенный покров.

Данные результатов химических анализов дают представление о диагенезе погребенных лугово-черноземовидных почв (табл. 2). Отмечено невысокое содержание органического вещества – от 1,0 до 3,3%. Широкая амплитуда колебания величины pH (от 4,5 до 7,2), суммы поглощенных оснований (от 12,0 до 39,0 мэкв/100 г.), а также емкости поглощения (13,0–42,0 мэкв/100 г.). Столь значительные колебания показателей отражают сложные процессы: диагенез, состав и количество вещества, образованного во время развития почв [2].

Таблица 1

Гранулометрический состав погребенных мощных лугово-черноземовидных почв в поймах бассейна р. Сура

Разрез	Горизонт Классиф. 1977 г.	Глубина, см	Содержание фракций, %, размеры частиц, мм							состав
			1,00–0,25	0,25–0,05	0,05–0,01	0,01–0,005	0,005–0,001	< 0,001	сумма фракций < 0,01	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Разрез № 1	[A]	29–41	1,50	32,90	28,80	4,10	6,90	25,80	36,80	Средний суглинок
	[A]	50–56	1,50	43,10	23,60	7,10	5,40	19,30	31,80	Средний суглинок
	[Bff]	56–78	13,40	28,40	24,80	6,80	7,20	19,40	33,40	Средний суглинок
	all _f	78–139	41,70	49,30	1,70	1,70	0,00	5,60	7,30	Песок связный
Разрез № 2	[A _g]	223–303	5,20	11,90	18,40	7,20	17,60	39,70	64,50	Глина легкая
	[AB _{ff}]	303–423	25,30	10,70	11,70	6,60	12,90	32,80	52,30	Глина легкая
	[A]	36–42	32,60	39,30	8,60	1,60	3,70	14,20	19,50	Супесь
	AC	42–58	51,00	43,40	1,20	0,40	0,00	4,00	4,40	Песок рыхлый
Разрез № 3	[A]	85–87	8,70	35,40	23,20	2,10	7,80	22,80	32,70	Средний суглинок
	[A _m]	87–117	1,40	6,50	11,60	9,50	21,30	49,70	80,50	Глина тяжелая
	[AB _m]	117–176	1,60	3,00	11,30	5,40	17,90	60,80	84,10	Глина тяжелая
	[BC _{g,ff}]	176–209	4,10	31,70	12,60	8,20	7,70	35,70	51,60	Глина легкая
	A/C	13–32	1,50	54,90	17,40	2,00	5,20	19,00	26,20	Легкий песок
	C ₁	32–94	17,60	48,50	11,40	3,30	3,30	15,90	22,50	Легкий суглинок
Разрез № 4	[A _g]	130–156	1,70	9,30	32,90	9,90	11,20	35,00	56,1	Глина легкая
	[AB]	156–172	2,60	37,50	24,20	4,10	7,00	24,60	35,7	Средний суглинок
	[B]	172–193	2,10	31,90	26,40	5,40	8,20	26,00	39,6	Средний суглинок
	C	5–10	89,20	6,20	0,20	0,40	2,00	2,00	4,40	Песок рыхлый
Разрез № 5	[A _v]	10–46	45,90	28,00	8,70	1,00	2,60	13,80	17,40	Супесь
	[B _{ff}]	46–51	19,00	37,70	13,80	4,00	6,80	18,70	29,50	Легкий суглинок
	[A]	120–122	2,00	39,90	18,20	6,60	6,10	27,20	39,90	Средний суглинок
	[A _{ff}]	137–150	2,00	10,90	27,40	9,20	10,80	39,70	59,70	Тяжелый суглинок

Таблица 2

Химические свойства современных и погребенных почв водно-седиментационных геосистем в поймах бассейна р. Сура

Разрез	Горизонт	Глубина, см	Орг. в-во, %	pH _{сол.}	Нг,	Сумма поглощен- ных оснований	Емкость поглощения
						(мг/экв. на 100 г)	
Разрез № 1	Ad	0–10	2,30	4,70	3,05	0,90	3,95
	A	10–19	1,30	4,50	2,92	6,00	8,92
	C	19–29	0,60	4,80			
	[A]	29–41	1,70	4,80	3,26	16,20	19,46
	[A]	50–56	0,70	4,70	2,74	7,00	9,74
	[B _{ff}]	56–78	1,50	3,70	7,11	6,50	13,61
Разрез № 2	Ad	0–2	0,70	5,90	1,98	17,20	19,18
	[A _{ff}]	28–62	1,20	5,70	2,75	30,60	33,35
	[A _l]	105–111	1,40	6,20	1,06	29,10	30,16
	[A _g]	223–303	1,70	4,50	6,69	35,00	41,69
	[AB _{ff}]	303–423	2,10	4,00	10,10	26,40	36,50
Разрез № 3	Ad	0–2	1,00	6,60	0,50	16,00	16,50
	[A]	85–87	1,50	4,90	0,55	20,80	21,35
	[A _{in}]	87–117	1,10	5,80	1,20	37,40	38,60
	[AB _{in}]	117–176	2,50	5,40	1,86	30,50	32,36
	[BC _{g,ff}]	176–209	1,30	5,40	1,67	26,90	28,57
Разрез № 4	Ad	0–13	1,00	7,20	0,34	9,00	9,34
	AC	13–32	1,20	6,40	0,80	16,00	16,80
	[A]	50–52	1,70	7,10	0,43	23,50	23,93
	[A _g]	130–156	3,30	7,10	0,32	13,30	13,62
	[AB]	156–172	3,60	6,80	0,72	39,30	40,02
	[B]	172–193	3,00	6,80	0,64	27,00	27,64
Разрез № 5	Ad	0–3	0,40	5,70	1,60	0,50	2,10
	[A _v]	10–46	1,90	5,00	2,07	7,30	9,37
	[B _{ff}]	46–51	1,00	5,20	2,01	12,50	14,51
	[A]	120–122	1,60	5,20	2,68	17,70	20,38
	[A _{ff}]	137–150	2,30	5,10	3,48	26,70	30,18

Таким образом, процессы гидроморфизма и олуговения в период почвообразования, а также диагенез после погребения лугово-черноземовидных почв обусловили их современные физико-химические признаки: низкое содержание органического углерода, повышенную кислотность почв и относительно высокие показатели емкости поглощенных оснований, суглинистый состав.

Представленная смена почвообразования и аллювиальных отложений в водно-седиментационной толще пойменных геосистем, обусловленная изменением палеогеографии водораздельных ландшафтов. В центральной и низкой пойме бассейна р. Сура образуются почвенно-седиментационные толщи со следующим сочетанием педокомплексов (рис. 2):

Pd. 4.0 – 7,0-6,0 т.л.н. В пределах бассейна р. Сура не обнаружены.

Pd. 3.0 – 4,8-3,8 т.л.н. – суббореальная лугово-черноземовидная почва мощностью до 1,0 м. Залегает на значительной глубине (до 3,0 м).

Pd. 2.2 – 2,7-2,3 т.л.н. – раннесубатлантическая (SA-1) лугово-черноземовидная почва. Отличается меньшей мощностью – 70–100 см.

Pd. 2.1 – 1,4-0,5 т.л.н. – среднесубатлантическая (SA-2) лугово-черноземовидная почва мощностью от 10 до 130 см.

Pd. 1.0 – 0,3-0,0 т.л.н. – современная оторфованная дерново-песчаная почва (до 10–25 см).

Приведенное сочетание педокомплексов характеризует четыре стадии педогене-

за и три волны литогенеза. Продолжительность формирования суббореальных почв около 1000 лет, раннесубатлантических – 500, а среднесубатлантических – 900. Современные слаборазвитые почвы имеют возраст последних 300 лет. Продолжительность литогенной стадии составляет 900 лет. Рис. 4 демонстрирует продолжительность последнего литогенеза (0,5–0,3 т.л.н.) и педогенеза (0,3–0,1 т.л.н.), которые не соответствуют природной периодичности, что является нарушением, вызванным повышенным антропогенным воздействием на природные ландшафты (сведение лесов, распашка и т.д.) [3; 7].

рования прошел полный период литогенеза. Позднесубатлантические почвы (Pd 2.2) обнаруживаются на незначительной глубине (0,2–0,8 м) и погребены под песчаным аллювием.

Выводы

Развиваясь в условиях периодического подтопления текущими полыми водами, темногумусовые почвы охватывали процессы гидроморфизма, степень проявления которого вызывала различную интенсивность оглеения и олуговения. Наибольшей степенью гидроморфизма отличаются среднесуббореальные почвы (SB-2), которые

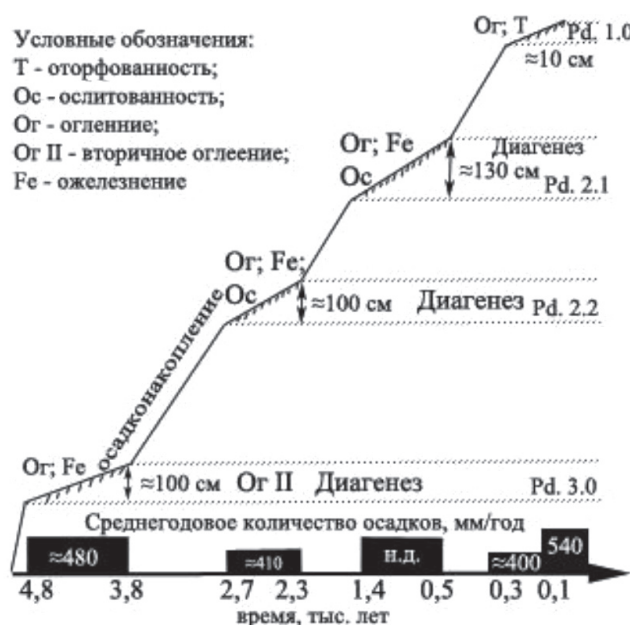


Рис. 2. Педолитогенез и педометаморфические процессы в погребенных и современных почвах водно-седиментационных геосистем р. Сура (сведения о среднегодовом количестве осадков представлены из публикации [4; 5])

Перечисленные педокомплексы укладываются во временные интервалы, выделенные С.А. Сычевой [8]. Региональной особенностью данной периодизации для Среднего Поволжья является предложенное разделение субатлантических почв на два педокомплекса: среднесубатлантического (2300–2700 BP) – Pd 2.1; раннесубатлантического (2300–2700 BP) – Pd 2.2. Раннесубатлантические почвы (Pd 2.1) не имеют значительной мощности (60–80 см) за счет короткого периода развития (≈ 500 лет) и встречаются в погребенном состоянии на значительной глубине (1,5–2 метра), поскольку со времени их форми-

испытывали вторичное оглеение вследствие подтоплением грунтовыми водами в раннесубатлантическое время (SA-1). Этот пример демонстрирует переплетение процессов почвообразования и последующего диагенеза в погребенных почвах, которые требуют детальных исследований в этой области. Химические свойства лугово-черноземовидных почв могут значительно отличаться друг от друга в зависимости от конкретных условий почвообразования (гидрогеологических и пр.) и развития процессов диагенеза.

Современные почвы развивались в период увеличения антропогенной и техно-

генной нагрузки на ландшафты Среднего Поволжья. Их формирование охватывает последние 300 лет. Повсеместное сокращение площади лесов и распашка территории нарушили естественные ценозы региона и привели к нарушению природного ритма эрозионно-аккумулятивного процесса.

Список литературы

1. Александровский А.Л. Эволюция почв и географическая среда / А.Л. Александровский, Е.И. Александровская. Интгеографии РАН. – М.: Наука, 2005. – 223 с.
2. Ломов С.П. Почвы на эоловых отложениях в пойме бассейна р. Сура / С.П. Ломов, Н.Н. Солодков // Нива Поволжья. – Пенза: ПГСХА, 2014. – № 4 (33). – С. 73–80.
3. Ломов С.П. Эрозионно-аккумулятивные циклы и ритмы развития пойменных геосистем севера Приволжской возвышенности в голоцене / С.П. Ломов, Н.Н. Солодков // Глобальный научный потенциал. – Тамбов: Фонд развития науки и культуры, 2014. – № 10 (43) – С. 9–14.
4. Ломов С.П. Геохимические условия развития современных и погребенных почв Среднего Поволжья / С.П. Ломов, Н.Н. Солодков // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Науки о Земле. – Саратов: СНИГУ им. Н.Г. Чернышевского, 2016. – Т. 16, № 1. – С. 10–13.
5. Солодков Н.Н. Геохимические потоки в денудационных и трансаккумулятивных ландшафтах Среднего Поволжья / Н.Н. Солодков // Проблемы региональной экологии. – М.: «Камертон», 2014. – № 3. – С. 46–50.
6. Солодков Н.Н. Особенности микроморфологии и геохимии погребенных почв в поймах бассейна р. Сура / Н.Н. Солодков, С.П. Ломов, М.П. Лебедева // Почвоведение – продовольственной и экологической безопасности страны: тезисы докладов VII съезда Общества почвоведов им. В.В. Докучаева и Всероссийской с международным участием научной конференции (Белгород, 15–22 августа 2016 г.). Часть II. – Москва-Белгород: ИД «Белгород», 2016. – С. 465–466.
7. Солодков Н.Н. Почвы эоловых геосистем (неолитические памятники) в поймах рек Среднего Поволжья / Н.Н. Солодков, С.П. Ломов // Труды IV (XX) Всероссийского археологического съезда в Казани. – Казань: Отечество, 2014. – Т. V. – С. 100–103.
8. Сычева С.А. Многовековая ритмичность почво- и рельефообразования на Среднерусской возвышенности в голоцене / С.А. Сычева // Известия РАН, серия географическая. – 2008. – № 3. – С. 87–97.

УДК 551.510.42

**ВЛИЯНИЕ АНТРОПОГЕННЫХ ИСТОЧНИКОВ НА ФОРМИРОВАНИЕ
МИКРОЭЛЕМЕНТНОГО СОСТАВА ПРИЗЕМНОГО АЭРОЗОЛЯ
ПОБЕРЕЖЬЯ БЕЛОГО МОРЯ****¹Стародымова Д.П., ²Виноградова А.А., ¹Шевченко В.П., ³Захарова Е.В.,
⁴Сивонен В.В., ⁴Сивонен В.П.**¹*Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва, e-mail: d.smokie@gmail.com;*²*Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН, Москва;*³*Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва;*⁴*Беломорская биологическая станция им. Н.А. Перцова Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова, Москва*

Ранее опубликованные данные по микроэлементному составу приземного аэрозоля побережья Кандакшского залива Белого моря проанализированы совместно с обратными траекториями движения воздушных масс к точке пробоотбора. Для каждой пробы вычислена частота прохода воздушных масс через важнейшие источники антропогенных выбросов региона (Мончегорск, Никель, Архангельск, Кировск, Апатиты, Мурманск, Санкт-Петербург). 29 проб, отобранные в течение лета – осени 2013 г. и весны 2014 г., сгруппированы по признаку преимущественного поступления воздушных масс от определенного антропогенного источника. Из выделенных групп были исключены те пробы, которые характеризуются смешанным поступлением воздушных масс. Для каждого источника загрязнения построены графики средних концентраций микроэлементов, присутствующих в соответствующих пробах аэрозоля. Воздушные массы, проходящие через Мончегорск и Никель, характеризуются повышенными содержаниями в пробах V, Ni, Cu, Cd, Y, Архангельск и Санкт-Петербург – Zn, Sb, Pb, Кировск и Апатиты – Sr, Ba и редкоземельных элементов (РЗЭ).

Ключевые слова: атмосферный перенос, антропогенные источники, Белое море, Кольский полуостров, медь, никель, тяжелые металлы, обратные траектории, Архангельск

**IMPACT OF ANTHROPOGENIC SOURCES ON FORMATION OF TRACE-METAL
COMPOSITION OF THE WHITE SEA COASTAL NEAR-THE-GROUND AEROSOL****¹Starodymova D.P., ²Vinogradova A.A., ¹Shevchenko V.P., ³Zakharova E.V.,
⁴Sivonen V.V., ⁴Sivonen V.P.**¹*P.P. Shirshov Institute of Oceanology RAS, Moscow, e-mail: d.smokie@gmail.com;*²*A.M. Obukhov Institute of Atmospheric Physics Russian Academy of Sciences, Moscow;*³*Lomonosov Moscow State University, Moscow;*⁴*White Sea Biological Station, Moscow*

Previously published materials of trace-element composition of the White Sea coastal near-the-ground aerosols were analyzed together with backward trajectories of air masses to sampling site. Frequency of air masses passing through the most important regional sources of anthropogenic emission (Monchegorsk, Nikel', Arkhangelsk, Kirovsk, Apatity, Murmansk, Saint-Petersburg) was calculated for every sample. 29 samples collected during summer–autumn 2013 and spring 2014 were grouped by prevailed input of air masses from certain anthropogenic sources. Samples with multi-source input of air masses were excluded from identified groups. Average trace-element concentrations occurring in aerosol samples were plotted for every emission source. Air masses passing from Monchegorsk and Nikel' is defined by increased contents of V, Ni, Cu, Cd, Y, from Arkhangelsk and St.-Petersburg – by Zn, Sb, Pb, from Kirovsk and Apatity – by Sr, Ba and rare earth elements (REEs).

Keywords: atmospheric transport, anthropogenic sources, White Sea, Kola Peninsula, copper, nickel, heavy metals, backward trajectories, Arkhangelsk

Атмосферный перенос от антропогенных источников является важным путем поступления загрязняющих веществ в окружающую среду удаленных, в том числе арктических, районов [6, 8, 9, 13, 14]. Начавшись в середине 1980-х гг. [2], исследования атмосферного переноса загрязнителей сейчас приобретают особое значение для изучения воздействия антропогенных факторов на природу полярных и приполярных областей России. В ряде недавних работ опубликованы исследования по микроэлементному составу аэрозольно-

го материала, поступающего в приполярные области [4, 7]. Для интерпретации данных по геохимии аэрозольного материала, полученных при полевых измерениях, полезным является анализ распространения воздушных масс к району исследований, что обеспечивает более надежные выводы об источниках загрязняющих веществ. В настоящей работе интерпретируются имеющиеся данные по химическому составу аэрозолей с привлечением статистической обработки массива данных по перемещениям воздушных масс в районе

исследований, полученного с помощью программы HYSPLIT [15].

Материалы и методы исследования

Почти круглогодичные исследования аэрозолей на Беломорской биологической станции им. Н.А. Перцова МГУ (ББС МГУ) на северо-западном побережье Кandalakшского залива (Белое море) ведутся с 2010 г. Станция оборудована пробоотборником UAS-310, прокачивающим воздух через фильтры, на которые оседают частицы размером менее 2,5 мкм. Точка пробоотбора ($66,55^{\circ}$ с.ш., $33,1^{\circ}$ в.д.) удалена от локальных источников загрязняющих веществ [7, 10, 12]. Длительность отбора отдельной пробы составляет около недели. Ранее проводились исследования органического и элементного углерода в аэрозолях, отобранных на этой станции [10]. В данной работе анализировался микроэлементный состав аэрозолей, собранных в течение трех сезонов: летом – осенью 2013 г. и весной 2014 г. Первые результаты изучения вещественного и микроэлементного состава этих аэрозолей опубликованы в работе [7]. Всего анализировалось 29 проб аэрозоля. В качестве источника антропогенного загрязнения рассматривались следующие города и их окрестности: Архангельск, Санкт-Петербург, Мончегорск, Никель, Кировск и Апатиты, Петрозаводск (рис. 1). Данные по выбросам в атмосферу этих городов опубликованы, например, в [5].

Анализ атмосферного переноса в район отбора проб проводился по 5-суточным обратным траекто-

риям движения воздушных масс для каждого часа тех дней, когда отбирались пробы. С помощью программы HYSPLIT было рассчитано 5280 обратных траекторий (по 24 траектории с интервалом в один час для 220 дней), каждая точка которых характеризовалась тремя координатами, а также значениями метеорологических параметров (высота слоя перемешивания, давление и количество осадков). Весь массив траекторий был разделен на 29 групп, соответствующих периодам отбора каждой пробы аэрозолей, для которых получены данные по микроэлементному составу. Для удобства выявления преобладающих направлений переноса, с которых приходят воздушные массы на ББС МГУ, все точки траекторий для каждого периода отбора проб в отдельности были отнесены к ячейкам размером $1^{\circ} \times 1^{\circ}$, а затем высчитано количество точек траекторий, попавших в конкретную ячейку. Подробно этот метод математической обработки обратных траекторий описан в работе [1]. В результате проба характеризуется матрицей, где для каждой географической ячейки обозначено количество траекторий, прошедших через эту ячейку. Это позволяет вычислить частоту прохождения воздушных масс через интересующие нас источники. Размерность ячеек не позволяет более детально рассмотреть частоту прохода воздушных масс через отдельные объекты (например, гг. Кировск и Апатиты попадают в одну ячейку), однако, учитывая, что перенос воздушных масс в изучаемом районе определяется в основном действием крупных циклонов, большая детализация из-за процессов перемешивания теряет смысл.

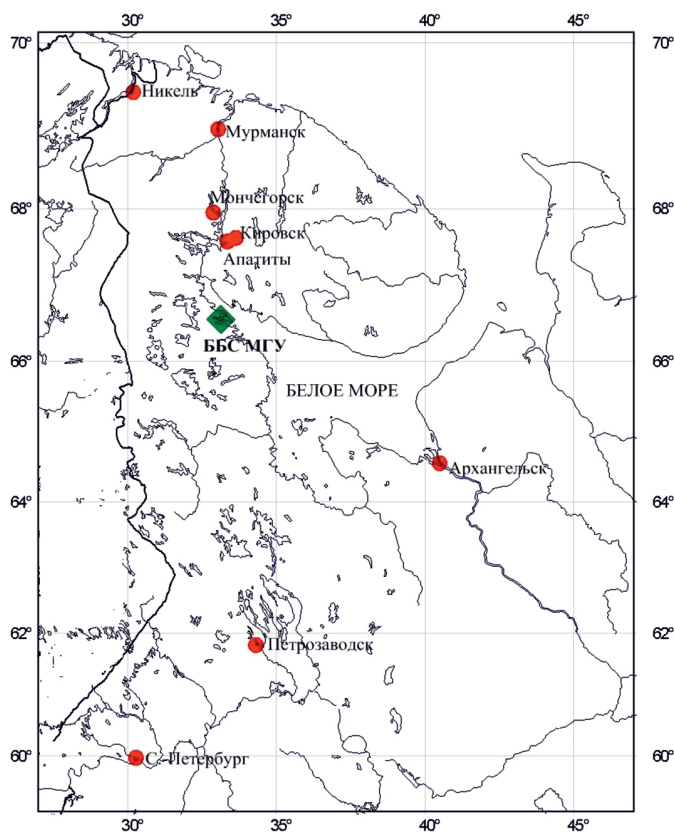


Рис. 1. Расположение точки отбора проб аэрозолей и источников антропогенных выбросов, которые использовались в расчете

Суммарное количество точек обратных траекторий, попадающих в ячейки с главными источниками антропогенных выбросов, и количество проб, при отборе которых обратные траектории не проходили через данные ячейки («нулевые» пробы*)

Источник	Координаты (с.ш., в.д.)	Сумма точек траекторий, попадающих в ячейку	Количество «нулевых» проб*
Мончегорск	67°, 32°	2708	3
Кировск и Апатиты	67°, 33°	2491	4
Мурманск	68°, 33°	1634	10
Архангельск	64°, 40°	568	17
Никель	69°, 30°	531	7
Санкт-Петербург	59°, 30°	253	21
Петрозаводск	61°, 34°	151	20

Результаты исследования и их обсуждение

Из всех выбранных источников наиболее часто воздушные массы проходят через ту ячейку, где расположен г. Мончегорск. Северное и северо-западное направление поступления воздушных масс наиболее устойчивое, поэтому только в 10% проб обратные траектории не проходили через ячейку, в которой расположен г. Мончегорск. Поступление воздушных масс с южных румбов происходило наиболее редко, поэтому количество точек траекторий, попадающих в ячейки, в которых располагаются Санкт-Петербург и Петрозаводск, минимально (таблица), а в 70% проб обратные траектории не проходили через эти ячейки.

Как уже отмечалось, длительность отбора одной пробы довольно продолжительна (около недели), поэтому почти каждая проба характеризуется более чем одним источником загрязнения. Оказалось невозможным выделить пробы, при отборе которых воздушные массы приходили исключительно со стороны Мурманска, Архангельска, Петрозаводска и др. Поэтому были рассмотрены следующие группы проб, при отборе которых воздушные массы проходили преимущественно через:

- Мончегорск и Никель (М + Н), 14 проб;
- Архангельск и Санкт-Петербург (А + С), 6 проб;
- Кировск и Апатиты (К + А), не задевая другие объекты Кольского полуострова, 2 пробы.

Для каждой из выделенных групп были рассчитаны средние содержания элементов в пробах и построены графики средних концентраций химических элементов (далее будут называться элементными профилями).

На рис. 2 представлены элементные профили для выделенных групп аэрозольных проб. Явно выделяется элементный профиль

проб группы М + Н, который характеризуется более высоким содержанием ванадия, никеля, меди, рубидия, иттрия, кадмия и цезия. Основными источниками никеля и меди в регионе являются выбросы металлургических предприятий Кольского полуострова. Другим источником меди и никеля является сжигание угля [11, 14], однако на фоне воздействия предприятий гг. Мончегорска и Никеля этот источник не идентифицируется. Конфигурация элементных профилей остальных проб схожа. Группа А + С характеризуется повышенным содержанием цинка и сурьмы, тогда как для группы К + А характерны более высокие содержания стронция, бария и редкоземельных элементов (РЗЭ). Поступление этих элементов со стороны гг. Кировск и Апатиты определяется предприятиями добычи и переработки апатит-нефелиновых руд. Отметим, что среднее по выборке содержание свинца примерно такое же, как и в пробах А + С и К + А, но значительно выше, чем в пробах М + Н, несмотря на численное преобладание этих проб. Можно говорить о том, что преобладающий источник свинца не выделяется и он не расположен с северной стороны, откуда поступают воздушные массы группы М + Н. В работе [3] было показано, что свинец над европейской территорией России в значительной степени имеет происхождение из Западной Европы. Основными источниками свинца являются эмиссии автомобильного транспорта и, в меньшей степени, сжигание угля [14]. Для сурьмы самые высокие содержания получены в группе А + С, однако они незначительно выше среднего значения, в пробах М + Н значительно ниже, а в пробах К + А сурьма не определяется. Это говорит о том, что сурьма поступает с разных направлений, но от объектов Кольского полуострова поступление сурьмы низкое (главным источником поступления сурьмы является сжигание угля [11]).

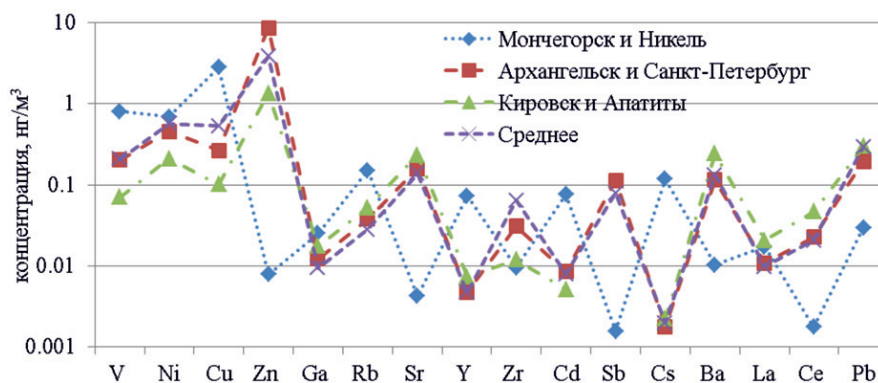


Рис. 2. Графики средних концентраций элементов в аэрозольном материале, поступающем со стороны источников: Мончегорск и Никель; Архангельск и Санкт-Петербург; Кировск и Апатиты

Выводы

Поступление воздушных масс в район ББС МГУ происходит с разных направлений, среди которых преобладающим является северное и северо-западное. Средний состав аэрозолей определяется наложением этих воздушных масс, а содержание некоторых элементов связано с конкретным направлением переноса. Поступление воздушных масс со стороны Мончегорска и Никеля определяет повышенное содержание ванадия, никеля, меди, кадмия, иттрия, цезия. Воздушные массы, приходящие со стороны Кировска и Апатитов, вызывают повышение содержания стронция, бария и РЗЭ. Источники таких элементов, как цинк, сурьма и свинец, многочисленны и не описываются тем ограниченным набором параметров, который использовался в работе.

Авторы работы благодарны А.Б. Цетлину за содействие в организации отбора проб, академику А.П. Лисицыну и доценту Д.Д. Бадюкову за ценные советы. За предоставленную возможность строить обратные траектории переноса воздушных масс, пользуясь моделью HYSPLIT на сайте <http://www.arl.noaa.gov/ready.html>, авторы признательны сотрудникам Лаборатории воздушных ресурсов Национальной администрации США по исследованию океана и атмосферы (NOAA).

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 14-27-00114).

Список литературы

1. Виноградова А.А. Дистанционная оценка влияния загрязнения атмосферы на удаленные территории // Геофизические процессы и биосфера. – 2014. – Т. 13, № 4. – С. 5–20.
2. Виноградова А.А. Микроэлементы в составе арктического аэрозоля (обзор) // Известия АН. Физика атмосферы и океана. – 1993. – Т. 29, № 4. – С. 437–456.
3. Виноградова А.А. Потоки свинца и кадмия из атмосферы на поверхность на европейской территории России – по данным международной программы EMEP //

Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2015. – № 12. – С. 111–115.

4. Голубева Н.И., Матишов Г.Г., Бурцева Л.В. Результаты исследования загрязнения тяжелыми металлами атмосферного воздуха в открытых районах Баренцева и Белого морей // Доклады Академии наук. – 2002. – Т. 387, № 4. – С. 537–540.

5. Ежегодник выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух городов и регионов Российской Федерации за 2010 год / Под ред. А.Ю. Недре. – СПб: ОАО «НИИ Атмосфера», 2011. – 560 с.

6. Лисицын А.П. Аридная седиментация в океане. Рассеянное осадочное вещество атмосферы // Геология и геофизика. – 2011. – Т. 52, № 10. – С. 1398–1439.

7. Стародымова Д.П., Шевченко В.П., Сивонен В.П., Сивонен В.В. Вещественный и элементный состав приземного аэрозоля северо-западного побережья Кандакшского залива Белого моря // Оптика атмосферы и океана. – 2016. Т. 29, № 6. – С. 488–492.

8. Шевченко В.П. Аэрозоли – влияние на осадконакопление и условия среды в Арктике: диссертация на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук. – М., 2000. – 213 с.

9. Шевченко В.П., Виноградова А.А., Иванов Г.И., Лисицын А.П., Серова В.В. Распределение и состав аэрозолей Западной Арктики // Доклады Академии наук. – 1997. – Т. 355, № 5. – С. 673–676.

10. Шевченко В.П., Стародымова Д.П., Виноградова А.А., Лисицын А.П., Макаров В.И., Попова С.А., Сивонен В.В., Сивонен В.П. Элементный и органический углерод в атмосферном аэрозоле над северо-западным побережьем Кандакшского залива Белого моря // Доклады Академии наук. – 2015. – Т. 461, № 1. – С. 70–74.

11. Юдович Я.Э., Кетрис М.П. Токсичные элементы-примеси в ископаемых углях. – Екатеринбург: УрО РАН, 2005. – 655 с.

12. Alekseychik P., Lappalainen H.K., Petzold T., Zaitseva N., Heimann M., Laurila T., Lihavainen H., Asmi E., Arshinov M., Shevchenko V., Makshtas A., Dubtsov S., Mikhailov E., Lapshina E., Kirpotin S., Kurbatova Y., Ding A., Guo H., Park S., Lavric J.V., Reum F., Panov A., Prokushkin A., Kulmala M. Ground-based station network in Arctic and Subarctic Eurasia: an overview // Geography, Environment, Sustainability. – 2016. – V. 09, № 02. – P. 75–88.

13. Barrie L.A. Occurrences and trends of pollution in the Arctic troposphere // Chemical exchange between the atmosphere and polar snow / Ed. E.W. Wolff, R.S. Bales. Berlin, Heidelberg: Springer. – 1996. – P. 93–129.

14. Pacyna E.G., Pacyna J.M., Fudala J., Strzelecka-Jastrab E., Hlawiczka S., Panasuik D., Nitter S., Pregger T., Pfeiffer H., Frederich R. Current and future emissions of selected heavy metals to the atmosphere from anthropogenic sources in Europe // Atmospheric Environment. – 2007. – Vol. 41. – P. 8557–8566.

15. Stein A.F., Draxler R.R., Rolph G.D., Stunder B.J.B., Cohen M.D., Ngan F. NOAA's HYSPLIT atmospheric transport and dispersion modeling system // Bull. Amer. Meteor. Soc. – 2015. – Vol. 96. – P. 2059–2077. <http://dx.doi.org/10.1175/BAMS-D-14-00110.1>.

УДК 621.644.073

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ АНКЕРНЫХ ПРОТИВОПУЧИННЫХ СВАЙ В УСЛОВИЯХ МНОГОЛЕТНЕМЕРЗЛЫХ ГРУНТОВ

¹Тарасенко А.А., ²Грученкова А.А., ¹Чепур П.В., ³Юргевич А.В.¹Тюменский индустриальный университет, Тюмень, e-mail: a.a.tarasenko@gmail.com, chepur@me.com;²Сургутский институт нефти и газа, филиал ТИУ в г. Сургут, e-mail: alesya2010-11@yandex.ru;³ООО НПП «Симплекс», Тюмень, e-mail: simplex_rvs@mail.ru

В настоящей статье рассмотрены проблемы, связанные с возникающими перемещениями конструкций в результате морозного пучения грунтов основания и препятствующие надежной и безопасной транспортировке углеводородных ресурсов на территориях, представленных многолетнемерзлыми грунтами. Для оценки эффективности работы анкерной сваи авторами был произведен расчет предлагаемой конструкции сваи по методике ВНИИГАЗ и традиционной металлической сваи. Расчет производился для свай диаметром 325 мм длиной 5 и 10 м. Анализ результатов проверочных расчетов и их корреляция показали, что эффективность работы анкерной сваи отличается от традиционной металлической менее чем на 6%. Однако по результатам натурных испытаний в условиях ММГ на статические нагрузки установлено, что эффективность сваи с анкером составила до 180% по отношению к традиционной гладкой стальной свае. Такое расхождение теоретических и практических результатов можно оправдать несовершенством методики расчета анкерных свай. Поэтому с целью снижения вероятности ошибок при проектировании свайных опор в условиях многолетнемерзлых грунтов и предотвращения возникновения предельных состояний в конструкциях методику расчета анкерных свай в части определения удерживающих сил необходимо доработать.

Ключевые слова: трубопровод, многолетнемерзлые грунты, анкерная свая, металлическая свая, морозное пучение

ASSESSMENT OF ANCHOR UNHEAVING PILES EFFECTIVENESS IN THE CONDITIONS OF PERMAFROST SOILS

¹Tarasenko A.A., ²Gruchenkova A.A., ¹Chepur P.V., ³Yurgevich A.V.¹Industrial University of Tyumen, Tyumen, e-mail: a.a.tarasenko@gmail.com, chepur@me.com;²Surgut Oil and Gas Institute, branch of TIU in Surgut, e-mail: alesya2010-11@yandex.ru;³ООО «Simplex», Tyumen, e-mail: simplex_rvs@mail.ru

In this article considered the problems associated with emerging displacements of structures, as a result, of base soils frost heaving and hindered reliable and safe transportation of hydrocarbon resources in the territories represented by permafrost soils. To assessment the effectiveness of the anchor pile the authors calculated the proposed structure by the method design VNIIGAS and the traditional metal pile. The calculation was made for piles with a diameter of 325 mm, 5 and 10 m in length. Analysis of calculation results and their correlation calculations showed that the efficiency of the anchor pile differs from traditional metal pile less than 6%. However, the results of field tests for static load on permafrost soils established that the efficiency of anchor pile was to 180% compared to the traditional smooth steel pile. This discrepancy between the theoretical and practical results can be justified by the imperfection of anchor piles calculation method. Therefore, in order to reduce probability of mistakes at the design of pile supports in the permafrost soils conditions and to prevent limit states in structures, the method of calculating the anchor piles in the part of determining the holding forces must be modified.

Keywords: pipeline, permafrost soils, anchor pile, metal pile, frost heave

Начавшееся в 1960–1970-х гг. освоение новых месторождений нефти и газа на территориях, представленных многолетнемерзлыми грунтами, на сегодняшний день привело к значительному расширению сети трубопроводов [7]. Уже на стадии проектирования сооружение объектов магистрального транспорта нефти и газа в условиях залегания многолетнемерзлых грунтов требует особого подхода, так как стальные трубопроводы, являясь главным звеном в цепочке трубопроводного транспорта углеводородных ресурсов, должны находиться в работоспособном состоянии на протяжении всего периода эксплуатации.

На большей части территории РФ температура воздуха зимой опускается ниже 0°C и грунт промерзает в течение 2–9 месяцев. Такие климатические показатели в сочетании с особенностями залегающих грунтов практически всегда создают подходящие условия для возникновения и развития процесса морозного пучения. Морозное пучение грунта, в свою очередь, является одним из наиболее опасных процессов, происходящих при промерзании грунтов основания, так как под действием сил морозного пучения грунта фундамент сооружения поднимается вверх, а при оттаивании неравномерно оседает [8, 14]. Неравномер-

ность осадок сооружений, возведенных на территориях, сложенных пучинистыми грунтами, обусловлена различиями в условиях промерзания и оттаивания грунта, составе многолетнемерзлых пород, их плотности, влажности, пористости и других физических характеристиках. Согласно [3] в районах распространения многолетнемерзлых грунтов трубопроводы рекомендуются прокладывать надземно, устанавливая их на свайные опоры. Под действием сил морозного пучения опора трубопровода перемещается, при этом происходит перемещение непосредственно трубопровода, что впоследствии вызывает изменение его напряженно-деформированного состояния и в дальнейшем приводит к повреждению конструкции или вовсе к её разрушению [4, 5, 10, 12]. Поэтому при строительстве на пучинистых грунтах необходимо предусматривать меры, предотвращающие или уменьшающие влияние сил морозного пучения грунта на свайный ростверк.

Так, для уменьшения влияния сил морозного пучения грунтов на опоры надземных трубопроводов ВНИИГАЗ совместно с японской компанией НКК разработали анкерную противопучинную сваю [2], основными функциональными характеристиками которой являются увеличение удерживаю-

щих сил при малой анкерровке в многолетнемерзлый грунт и значительное снижение воздействия сил морозного пучения на конструкцию опоры трубопровода, рассчитанное на весь срок эксплуатации.

Разработанная конструкция (рис. 1) представляет собой металлическую сваю из трубы необходимого диаметра и толщины, состоящую из трех составных частей: оголовка, средней части (с полиэтиленовым покрытием) и анкерной части.

Функциональная часть сваи – оголовок – представляет собой металлическую трубу, длина которой выбирается в зависимости от конструкции опор и их крепления. Среднюю часть сваи покрывают специальным полиэтиленовым покрытием на длину, соответствующую расчетной глубине оттаивания. Благодаря внесению в конструкцию сваи полиэтиленовой рубашки из несмерзающего материала, происходит существенное снижение касательных сил морозного пучения грунтов основания на боковую поверхность сваи. Нанесение полиэтиленового покрытия производится в заводских условиях, технология покрытия и состав полиэтиленового слоя, устойчивого к условиям Крайнего Севера, были разработаны японской стороной (компания НКК).

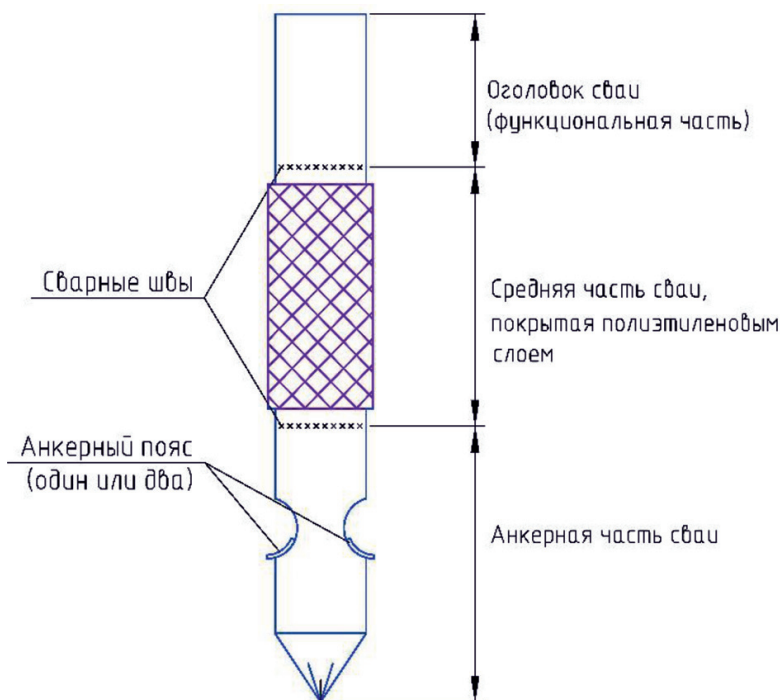


Рис. 1. Конструкция противопучинной анкерной сваи ВНИИГАЗ–НКК

Анкерная часть представляет собой последовательно вырезанные из тела сваи лепестки, которые по всей плоскости привариваются к нижней части вырезанных окон в теле сваи (рис. 2). Второй анкерный пояс (при необходимости его наличия) приваривается под углом 90° к первому и, как правило, монтируется в случае действия высоких выдергивающих сил на сваю. Применение такого анкерного устройства в конструкции сваи ведет к увеличению удерживающих сил в слое вечномерзлого грунта.

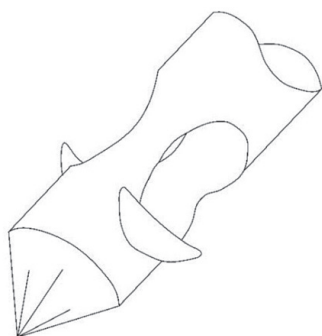


Рис. 2. Конструкция анкерного пояса противопучинной сваи ВНИИГАЗ–НКК

Противопучинные сваи погружаются в грунт основания буроопускным методом, с предварительным пробуриванием лидерной скважины. Диаметр скважины выбирается исходя из реальной величины наварных деталей (лепестков) анкерных поясов. Бурение скважин под свайные конструкции производится с учетом совмещения ее функциональных частей и расположения пластов грунта. Глубина заложения сваи определяется по результатам расчета, однако в любом случае покрытая полиэтиленом часть не должна быть опущена ниже верхней границы вечномерзлого грунта более чем на 50 мм [2].

В статье предлагается оценить эффективность работы анкерной противопучинной сваи, для этого авторами был произведен расчет предлагаемой анкерной сваи по методике ВНИИГАЗ [2] и традиционной металлической сваи в соответствии с требованиями [3]. Проверочный расчет проводился для опор газопровода, проложенного на территории Усть-Енисейского района Долгано-Ненецкого автономного округа Красноярского края. По результатам инженерно-геологических изысканий в геокриологическом от-

ношении трасса трубопровода расположена в зоне сплошного распространения многолетнемерзлых пород, а в геоморфологическом отношении представляет собой ниже-среднечетвертичную морскую и ледниково-морскую равнину, значительно переработанную трансгрессиями и оледенениями.

В образовании микрорельефа территории большую роль играют мерзлотные процессы и заболоченность. По характеру рельефа и генезису отложений трасса газопровода проходит по нескольким геоморфологическим уровням, геологический разрез которых до глубины 10–50 м сложен преимущественно суглинистыми разностями с включением крупнообломочного материала.

Температура многолетнемерзлых грунтов на глубине нулевых годовых амплитуд (10 м) по трассе газопровода изменяется в пределах от минус 5 до минус 6°C . На надпойменных и прирусловых участках температура грунтов может повышаться на $1,0\text{--}2,0^\circ\text{C}$. Нормативная глубина слоя сезонного оттаивания для пород различного генезиса по району составляет:

- для торфов – $0,3\text{--}0,5$ м;
- для суглинков и супесей – $0,4\text{--}0,8$ м, в ложбинах стока и малых водотоков – до 1,0 м, реже – до $1,5\text{--}2,5$ м и более метров;
- для песков различной крупности до $2,0\text{--}2,5$ м.

По результатам выполненных исследований для многолетнемерзлых грунтов различного возраста и генезиса величина предельно-длительного сцепления изменяется в интервале от 0,4 до 1,0 МПа, сопротивление срезу при смерзании со сталью изменяется от 0,25 до 0,325 МПа, сопротивление срезу при смерзании с грунтом изменяется в пределах от 0,15 до 0,25 МПа.

На основании значений параметров физико-механических свойств грунтов, определенных результатами исследования материалов буровых работ, а также лабораторными и полевыми методами, с учетом данных о геологическом строении и геокриологических условиях площадки, в области фундаментной части опоры газопровода выделены следующие инженерно-геологические элементы (слои): суглинок твердомерзлый льдистый слоисто-сетчатой криотекстуры, суглинок твердомерзлый слабольдистый слоистой криотекстуры.

Для расчета была выбрана свая диаметром 325 мм, расчет производился для двух

случаев: длина свай 5 м, длина свай 10 м. Глубина оттаивания грунтов, принятая в расчете, составляет 1,4 м, температура на границе промерзания – минус 0,6 °С, на глубине 5 м от дневной поверхности – минус 5 °С, на глубине 10 м от дневной поверхности – минус 5,3 °С. Расчетные удельные касательные силы пучинистых грунтов основания определены для противопучинной анкерной сваи согласно п. 5 [2], для обычной металлической сваи согласно табл. 7.8 [3] и составили 45 кПа и 120,5 кПа соответственно.

Устойчивость свайной опоры газопровода на действие касательных сил морозного пучения проверяется по условию (1), целью данного расчета является определение глубины заложения сваи в многолетнемерзлый грунт.

$$\tau_{fh} \cdot A_{fh} - F < F_r \cdot \gamma_c / \gamma_n, \quad (1)$$

где τ_{fh} – расчетная удельная касательная сила пучения, кПа;

A_{fh} – боковая площадь смерзания в пределах сезонно-талого слоя, м²;

F – расчетная нагрузка на сваю, кН;

F_r – расчетное значение удерживающей силы от пучения, кН;

γ_c – коэффициент условий работы;

γ_n – коэффициент надежности по назначению погружения.

Для противопучинной анкерной сваи расчет удерживающих сил выполняется в соответствии с требованиями [2] по формуле:

$$F_r = 2/3 \cdot U_{\text{скв}} \cdot \sum_{i=1}^n R_{sh,i} \cdot h_{a,i} + 1/3 \cdot U \cdot \sum_{i=1}^n R_{nf,i} \cdot h, \quad (2)$$

где $U_{\text{скв}}$ – периметр поперечного сечения лидерной скважины, м;

U – периметр поперечного сечения противопучинной сваи, м;

$R_{sh,i}$ – расчетное сопротивление i -го слоя грунта сдвигу по поверхности смерзания с грунтовым раствором, кПа;

$h_{a,i}$ – толщина i -го слоя грунта от дневной поверхности до анкерного пояса, м;

$R_{nf,i}$ – расчетное сопротивление i -го слоя вечномерзлого грунта сдвигу по поверхности смерзания с телом сваи, кПа;

h_i – толщина i -го слоя грунта, расположенного ниже верхней границы вечной мерзлоты, м.

В первой части формулы (2) расчет удерживающих сил ведется на границе «грунтовой раствор – грунт» и по всей длине свай, а во второй части на границе «свая – грунтовой раствор» до верхней границы слоя вечномерзлого грунта.

Расчетное значение силы, удерживающей опору газопровода от выпучивания, для традиционной металлической сваи определяется согласно требованиям [3] по формуле:

$$F_r = U \cdot \sum_{i=1}^n R_{af,i} \cdot h_i, \quad (3)$$

где $R_{af,i}$ – расчетное сопротивление i -го слоя многолетнемерзлого грунта сдвигу по поверхности смерзания, кПа.

Так, подставив исходные данные в выражения (1), (2), (3), получили результаты, представленные в таблице.

Анализ результатов проверочных расчетов и их корреляция показали, что эффективность работы противопучинной анкерной сваи отличается от традиционной металлической менее чем на 6 %. При этом стоимость сваи ВНИИГАЗ–НКК значительно превышает стоимость обычной стальной сваи. Исходя из этого возникает вопрос, насколько целесообразно и экономически выгодно применение противопучинных анкерных свай, разработанных ВНИИГАЗ совместно с японской компанией НКК, в условиях залегания многолетнемерзлых грунтов?

Результаты проверочного расчета, выполненного для противопучинной анкерной и традиционной стальной сваи различной длины

Длина свай	Свая ВНИИГАЗ–НКК (Ø 325 мм)		Свая гладкая металлическая (Ø 325 мм)	
	Проверка условия устойчивости	Коэффициент использования	Проверка условия устойчивости	Коэффициент использования
5 м	48,7 кПа < 266,2 кПа	5,46	154,4 кПа < 1975 кПа	5,17
10 м	48,7 кПа < 700,9 кПа	9,48	154,4 кПа < 799 кПа	8,9

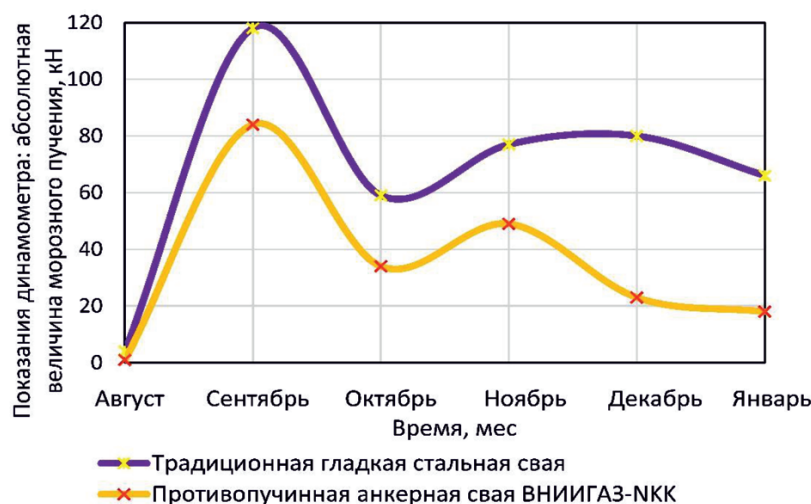


Рис. 3. Результаты натурных испытаний свай

Для того чтобы ответить на данный вопрос, необходимо отметить, что с целью определения несущей способности анкерных и гладких металлических свай были проведены полевые испытания в многолетнемерзлых грунтах осевыми ступенчато-возрастающими вдавливающими и выдергивающими нагрузками в период максимального воздействия сил морозного пучения. С целью достоверности результатов было испытано по две сваи каждого типа. Сваи испытывались с применением гидравлических домкратов на установках из анкерных свай и системы балок [2]. По результатам натурных испытаний в условиях ММГ на статические нагрузки установлено, что эффективность свай с анкером составила до 180% по отношению к традиционной гладкой стальной свае.

Также в течение 5 лет проводились длительные испытания по измерению сил морозного пучения на гладкие и противопучинные сваи, результаты которых представлены на рис. 3. Длительные испытания, как и в случае испытаний на статические нагрузки, проводились на опорах, состоящих из свай и соединяющей их системы балок, величина абсолютной силы морозного пучения на сваи измерялась динамометрами. Длительные испытания по измерению сил морозного пучения показали эффективность полиэтиленовой рубашки по сравнению с гладкой стальной поверхностью: уменьшение сил морозного пучения составило 30–50%.

Анализ результатов натурных испытаний свай с полиэтиленовым покрытием и анкерной конструкцией в толще многолетнемерзлого грунта показал, что использование свай данного типа в конструкциях опор трубопроводов, прокладываемых на территориях ММГ, представляет большой практический интерес. Установленное в результате выполненных проверочных расчетов расхождение теоретических и практических результатов можно оправдать несовершенством методики расчета анкерных противопучинных свай. Поэтому с целью снижения вероятности ошибок на стадии проектирования свайных опор под трубопроводы, предназначенные для транспорта углеводородных ресурсов в условиях многолетнемерзлых грунтов, и предотвращения возникновения предельных состояний в конструкциях, методику расчета анкерных свай, предложенную в [2], в части определения удерживающих сил необходимо доработать.

Список литературы

1. Васильев Г.Г., Тарасенко А.А., Чепур П.В., Гуань Ю. Анализ сейсмостойкости вертикального стального резервуара РВСПК-50000 с использованием линейно-спектрального метода // Нефтяное хозяйство. – 2015. – № 10. – С. 120–123.
2. РД 51-00158623-10-95. Инструкция по возведению и расчету анкерных противопучинных свай конструкции ВНИИГАЗ-НКК для опор надземных трубопроводов в районах распространения вечной мерзлоты. – РАО «Газпром», 1995.
3. СП 24.13330.2011. Свайные фундаменты. Актуализированная редакция СНиП 2.02.03-85. – М.: министерство регионального развития Российской Федерации, 2011. – 86 с.

4. Тарасенко А.А., Грученкова А.А., Чепур П.В. Закономерности деформирования металлоконструкций крупногабаритного вертикального сварного резервуара при наличии зон проседания основания // Трубопроводный транспорт: теория и практика. – 2016. – № 1 (53). – С. 32–37.
5. Тарасенко А.А., Чепур П.В., Грученкова А.А. Определение действующих напряжений в полотнощах днищ резервуаров отечественных типоразмеров при локальных просадках оснований // Фундаментальные исследования. – 2015. – № 2–8. – С. 1665–1670.
6. Тарасенко А.А., Чепур П.В., Грученкова А.А., Соколов С.С. Оценка влияния трубопроводов системы подслоного пожаротушения на напряженное состояние резервуара при осадке основания // Фундаментальные исследования. – 2014. – № 11–8. – С. 1698–1702.
7. Тарасенко А.А., Чепур П.В., Грученкова А.А. Использование критериев стандарта API-653 для оценки допустимой величины осадки днища резервуаров // Фундаментальные исследования. – 2014. – № 12–7. – С. 1418–1422.
8. Тарасенко А.А., Чепур П.В., Гуань Ю. Оценка работоспособности крупногабаритного резервуара РВСПК-100000 при образовании зоны неоднородности грунтового основания // Нефтяное хозяйство. – 2016. – № 4. – С. 134–136.
9. Тарасенко А.А., Чепур П.В., Чирков С.В. Теоретическое и экспериментальное обоснование метода полного подъема РВС-20000 для ремонта основания и фундамента // Нефтяное хозяйство. – 2016. – № 3. – С. 123–125.
10. Чепур П.В. Напряженно-деформированное состояние резервуара при развитии неравномерных осадок его основания: дис. канд. техн. наук. – М.: РГУ нефти и газа имени И.М. Губкина, 2015. – 181 с.
11. Чепур П.В., Тарасенко А.А. Особенности совместной работы резервуара и устройств размыва донных отложений винтового типа // Фундаментальные исследования. – 2015. – № 2–8. – С. 1671–1675.
12. Чепур П.В., Тарасенко А.А. Оценка воздействия прямо-раздаточного патрубка при развитии осадки резервуара // Фундаментальные исследования. – 2014. – № 11–3. – С. 540–544.
13. Чепур П.В., Тарасенко А.А. Создание и верификация численной модели резервуара РВСПК-50000 // Фундаментальные исследования. – 2015. – № 7–1. – С. 95–100.
14. Чепур П.В., Тарасенко А.А., Грученкова А.А., Антонов И.В. Численный анализ влияния жесткости газоразделительной системы при развитии осадок резервуара // Фундаментальные исследования. – 2014. – № 11–6. – С. 1292–1296.
15. Guan Y., Tarasenko A.A., Huang S., Chepur P.V., Zhang R. Influence of laminated rubber bearings parameters on the seismic response of large LNG storage tanks // World Information on Earthquake Engineering. – 2016. – Т. 32, № 1. – P. 319–327.

УДК 913:330.15

ИСТОРИЧЕСКИЕ ПАРАДОКСЫ СЕВЕРНОГО ЗЕМЛЕДЕЛИЯ**Трапезникова О.Н.***ИГЭ РАН, Москва, e-mail: ontolga@gmail.com*

Земледелие Русского Севера представляет собой целую цепь загадок и парадоксов. 1. Нечерноземье, зона лимитированного земледелия, до середины XVIII в. было главным аграрным регионом России. 2. Схожий тип землепользования вплоть до конца XV в. господствовал в лесной зоне всего Европейского Севера, не только России. 3. В XV–XVI в. эта однородность стала нарушаться и на Западе и в России. В частности, в России сменилась система расселения в центре Нечерноземья, но сохранилась на западе (Прибалтика), севере (Русский север) и востоке (Пермь). 4. В XIX в. урожайность зерновых в Новгородской губернии была ниже, чем в Архангельской. Эти парадоксы разбираются в статье на примере конкретных исторических типов агроландшафтов лесной зоны.

Ключевые слова: исторический тип агроландшафта, лесная зона Восточно-европейской равнины, система сельского расселения, агроэкологическое зонирование

HISTORICAL PARADOXES OF NORTHERN AGRICULTURE**Trapeznikova O.N.***IEG RAS, Moscow, e-mail: ontolga@gmail.com*

The plowing agriculture of the Russian North in the first half of the second millennium AC is full of puzzles and paradoxes. 1. The taiga zone of the East European plain (EEP) was the main agricultural region of Russia till the middle of the 17th century in spite of its severe climate and rather poor soil. 2. In spite of essential natural differentiation the similar land use was characteristic within the whole forest zone of Europe, not only Russia, up to the end of the 15th century. 3. Since the 16th–17th century this uniformity had been destroying both in Russia and Western Europe. For example, the settlement pattern changed in the Central and Northwestern Russia but remained in the Baltic countries, Russian Pomorie and near Urals area. 4. The different development of agriculture resulted in the paradox of yields till the 19th century, when it became higher in the cold North (Archangelsk district) than in less severe Novgorod district. These paradoxes could be explained basing on historical data and Earth science approaches taking selected historical agricultural landscapes as examples.

Keywords: historical type of agricultural landscape, forest zone of east european plain, rural settlement pattern, agrieological zoning

Земледелие Русского Севера с момента своего возникновения и по сей день представляет собой целую цепь загадок и парадоксов.

Парадокс первый: интенсивное сельскохозяйственное освоение лесной, нечерноземной зоны Восточно-Европейской равнины (ВЕР) началось со второй половине I тысячелетия н.э. на фоне климатического потепления, позволившего угро-финским (на востоке) и славянским (в центре и на западе) племенам продвинуть далеко на север зону пашенного земледелия. С точки зрения климатических условий север степной и лесостепной зоны являются намного более благоприятными для земледелия, чем холодная лесная зона. И действительно, становление пашенного земледелия на ВЕР происходило не в лесной зоне, а в степной и лесостепной и существенно ранее, по крайней мере в первой половине – середине I тысячелетия н.э. [6]. Уникально то, что затем племена, освоившие и применявшие технологию пашенного земледелия в более благоприятных природных условиях, смогли в дальнейшем приспособить ее к суровым условиям лесной зоны вплоть до Рус-

ского Севера, т.е. средней, а иногда даже северной тайги.

Чтобы объяснить первый парадокс, т.е. сам факт проникновения пахотного земледелия далеко на север, надо рассмотреть историческую ситуацию, в которой развивался этот процесс. Согласно археологическим источникам [1, 6] освоение лесной зоны племенами, которые ранее практиковали пашенное земледелие в лесостепной и степной зонах, началось в конце I тысячелетия н.э. По мнению историков, это было одним из следствий Великого переселения народов, т.е. множественных миграций воинственных кочевников-скотоводов из Азии в Европу. Относительно разрозненные и мирные земледельческие племена не были способны им противостоять, и в этот период в степной и лесостепной зонах исчезли многие земледельческие культуры, например Именьковская. Уцелевшее население либо было ассимилировано, либо было вынуждено также мигрировать на север под защиту малоприменимых для кочевников лесов.

Однако экспансия земледелия на север не ограничилась южной частью лесной зоны

и продолжилась и во II тысячелетии н.э. Согласно историческим и археологическим источникам в домонгольское время основные центры освоения северных территорий (Белоозеро, Устюг, Вологда, Кострома) – это узловые центры устойчивых торговых путей, что свидетельствует о включении удаленных северных территорий в процессы средневековой «глобализации». Такие устойчивые торговые пути возникали при наличии постоянного устойчивого спроса извне, в данном случае на пушнину, соль и другие дорогостоящие продукты, чья транспортировка была рентабельна в таких сложных условиях. В то же время обслуживание этих торговых путей и добытчиков нужных товаров должно было осуществляться максимально приближенно, чтобы избежать больших транспортных издержек. Именно поэтому возникли на севере, там, где это хоть сколько-нибудь позволяли природные условия, северные агроландшафты, бывшие источником товарного зерна уже с момента своего формирования. Рассмотрим теперь особенности возникших агроландшафтов. И здесь мы сталкиваемся со **следующим парадоксом, парадоксом № 2**. Во всей лесной зоне Европейского севера господствовал **удивительно однообразный тип землепользования**, который характеризовался следующими особенностями:

- господство трехполья в сочетании с огневым земледелием,
- преобладание деревень на 1–3 двора с окружающей их пашней,
- одинаковый набор культур и сельскохозяйственных культур,
- одинаковый неустойчивый и скачкообразный уровень урожаев.

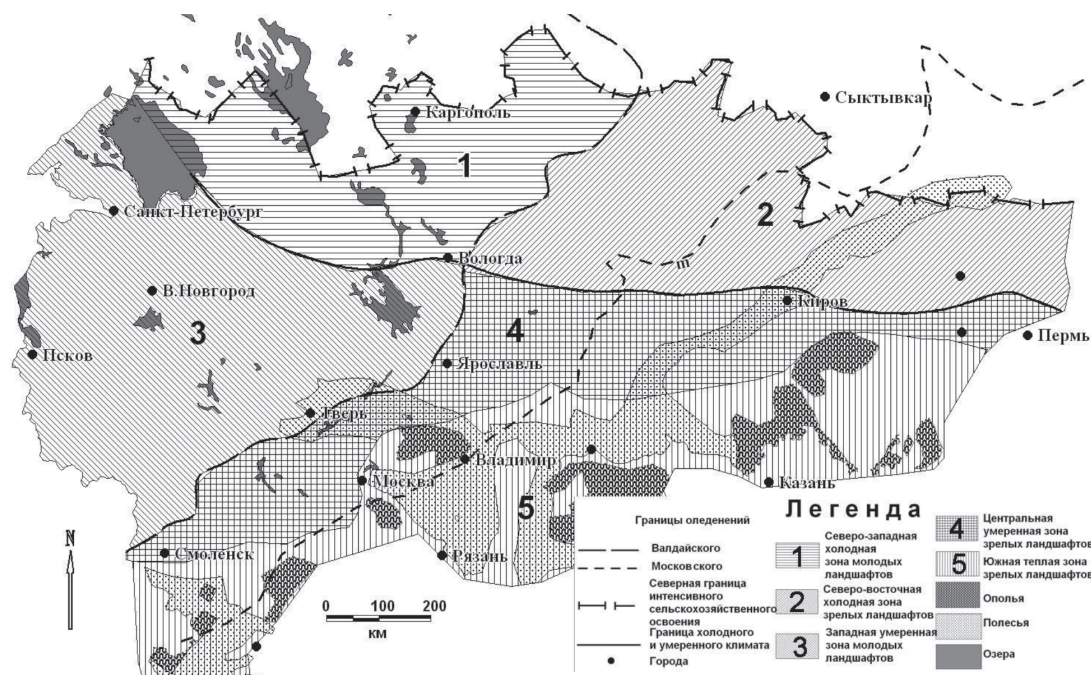
По всей видимости, однородность сельского хозяйства по всей лесной зоне Европы в Средние века можно объяснить тем, что оно существовало на грани своей рентабельности, так что более высокие показатели урожайности, иные культуры и т.п. были невозможны, а при более низкой урожайности не окупались вложенные затраты. Такая однородность сельского хозяйства достигалась крайней избирательностью угодий, которые для него использовались. С самого начала интенсивное аграрное освоение лесной зоны ВЕР происходило в рамках строгих природных ограничений, что привело к формированию конкретных исторических типов агроландшафтов, различающихся по их пространственной организации и системе расселения, а также длительности существования и исторической преемственности. Особенностью аграрного развития лесной зоны является тот факт, что

каждый исторический тип агроландшафта отличается по своей пространственной структуре, которая, в свою очередь, определяется конкретными природными условиями, прежде всего климатом и возрастом ландшафтов.

Анализ природных условий Нечерноземной зоны ВЕР позволил выделить два основных природных (агроэкологических) тренда, определяющих особенности формирования агрогеосистем: климатический (термический) и литогенный (геолого-геоморфологический). Особенность климатического тренда заключается в том, что общая суровость климата усиливается в направлении с юго-запада на северо-восток. Анализ климатических параметров показывает, что в лесной зоне ограничения по увлажнению носят сугубо локальный характер, связанный с переувлажнением почв в отдельных типах ландшафта (болотных), что выводит их за пределы возможного сельскохозяйственного использования без применения интенсивных агротехнических технологий типа создания мелиоративных осушительных систем. В остальных ландшафтах увлажнение не является ограничителем для сельского хозяйства, так как лесная зона – регион достаточного атмосферного увлажнения. В то же время температурные ограничения играют большую роль в распределении пахотных земель в районах с холодным климатом.

В отличие от климатического литогенный тренд направлен с северо-востока на юго-запад региона. В этом направлении увеличивается возраст литогенной основы ландшафтов. Именно возраст оказывается интегральным показателем влияния литогенной основы ландшафта на агрогеосистему, поскольку от него в значительной мере зависит уровень развития ландшафта, включая дренированность долин, возраст, а значит, уровень плодородия почв (длительность накопления гумуса), некоторые характеристики материнских пород и др. Итак, возраст литогенной основы ландшафтов увеличивается с северо-запада на юго-восток в соответствии со временем освобождения территории от оледенения, что, при прочих равных, позволяет говорить об общем увеличении благоприятности литогенной основы для земледелия в данном направлении.

На основе сочетания этих двух трендов в Нечерноземной зоне ВЕР можно выделить 5 зон, каждая из которых характеризуется собственной пространственной организацией агрогеосистем, т.е. собственным набором исторических типов агроландшафтов (рисунк).



Агроэкологическое зонирование лесной зоны ВЕР

1. Южная теплая зона древних ландшафтов (ополье-полесский пояс).

2. Западная умеренная зона молодых ландшафтов – самая молодая в природном, геологическом отношении.

3. Северо-Западная холодная зона молодых ландшафтов, расположенная в схожих геологических условиях, что и предыдущая, но с более суровым климатом

4. Северо-восточная холодная зона древних ландшафтов – территория с суровым климатом и древними преимущественно перигляциальными ландшафтами.

5. Центральная зона носит переходный характер между вышеназванными.

Таким образом, природные условия определяли приуроченность земледелия к различным природным выделам, т.е. пространственную организацию агроландшафтов. И действительно, с самого начала интенсивное аграрное освоение лесной зоны ВЕР происходило в рамках строгих природных ограничений, что привело к формированию конкретных исторических типов агроландшафтов, различающихся по их пространственной организации и системе расселения, а также длительности существования и исторической преемственности. Однородность сельского хозяйства достигалась крайней избирательностью угодий, которые использовались в сельском

хозяйстве. При этом каждому из указанных типов присуща определенная локализация в регионе, выявляемая на основе агроэкологического зонирования.

Наиболее известные и древние исторические типы агроландшафтов носят народные названия, существующие с древних времен: ополье (1 зона), поречье (4 зона), поозерье (2 и 3 зоны), сушь (3 зона). Кроме того, нами было выделено еще несколько исторических типов агроландшафта – это западный Валдайский тип (2 зона) и тип агроландшафта, названный нами «псевдо-ополье» (5 зона) или «северное ополье» по Т.Г. Нефедовой (устное сообщение).

Однако несмотря на разнообразие пространственной организации каждого из исторических типов агроландшафта внутреннее строение элементарных агрогеосистем первоначально было примерно одинаковым во всей нечерноземной зоне. Это разнообразие, отмеченное нами как **парадокс № 2**, было связано с особенностями пашенного земледелия в лесной зоне.

Пашенное земледелие создало собственный тип элементарных агрогеосистем, так как возникла постоянная пашня с более или менее правильным севооборотом. При переходе к пашенному земледелию сменился тип расселения, а вслед за ним характер землевладения. Археологами [5; 7] зафиксирован

процесс расселения больших патриархальных семей (родов) с появлением множества мелких поселений, не превышающих 1–3 домов в начале I тысячелетия н.э. Анализ трудозатрат, необходимых на удобрение пашни (таблица), показывает, насколько значим вопрос близости пашни к поселению.

Это принципиальное отличие агрогеосистем подсечного земледелия от пашенного. При подсечном земледелии необходимы коллективные усилия, но они осуществляются за сравнительно короткое время большим числом людей, и расстояние, на которое надо удалиться, не играет решающей роли. Из этнографических исследований известно, что если подсека была довольно далеко, то в летнее время крестьяне временно туда переселялись до тех пор, пока не завершали комплекс наиболее трудоемких работ. То есть если при подсеке работы носили скорее «авральный» характер, то пахотное земледелие требовало длительных усилий в течение года по распашке, удобрению и другим полевым работам, и близость пашни становилась очень важным условием.

почв происходило улучшение их плодородия, увеличение толщины гумусового горизонта, структурирование почв и улучшение их физико-химических характеристик. При экологически несбалансированном использовании, наоборот, состояние пахотных почв было хуже, чем исходное. При этом в состав новых пашенных агрогеосистем долгое время входила подсека и как первичный этап освоения новых земель, и как рудимент прежней системы земледелия.

При пашенном земледелии резко возросла роль животноводства: во-первых, лошадей как главной тягловой силы, а во-вторых, всего скота в целом, как источника единственного доступного удобрения – навоза. Следовательно, важным элементом агрогеосистем стали кормовые угодья, прежде всего луга, хотя для выпаса использовался и лес. Тем не менее изучение карт Генерального межевания показывает, что в конце XVIII в. система сельскохозяйственного расселения на западе и в центре региона существенно изменилась: вместо многочисленных мелких поселений

Зависимость трудозатрат на удобрение пашни от ее удаленности [4]

Среднее расстояние от селения, версты (1,07 км)	0	1	2	3	4	5
Число дней для вывоза навоза на 1 десятину (1,09 га)	10,3	17,3	24,3	31,3	38,3	45,3

Первоначально, элементарная пашенная агрогеосистема представляла собой сравнительно небольшой ареал постоянной пашни, окружающей малое поселение, состоящее, как правило, из близких родственников, им же принадлежат близлежащие кормовые угодья. Когда продуктивная емкость прилегающей пашни оказывалась недостаточной для выросшего населения данного населенного пункта, происходило отселение одной из малых семей на новое место, где возникла новая элементарная агрогеосистема с новым мелким поселением в центре.

Возникновение постоянной пашни привело к сокращению площади вовлекаемых в сельское хозяйство земель по сравнению с подсечно-огневым земледелием, но увеличилась степень антропогенного воздействия. Обязательные условия длительного устойчивого существования пашни – более или менее правильный севооборот (более всего была распространена трехпольная система) и удобрение (навозом) почв. При правильном соблюдении технологий и соответствующих природных условиях в процессе длительного использования относительно бедных

возникла довольно разреженная сеть деревень, среднее расстояние между которыми превышало 3–5 км. В то же время пашня все еще более или менее равномерно раскидана по территории, по-видимому, отражая в какой-то степени систему расселения конца XV в. Это же доказывает анализ писцовых книг, зафиксировавших сокращение числа деревень в Новгородской земле в десятки раз на протяжении XVI–XVII в.

Парадокс № 3. В XVI в. однородность землепользования, описанная выше, начала рушиться. Причем это нельзя списать на изменение климатических условий (наступление малого ледникового периода), так как резко изменилась система расселения, но не на севере Региона, а в центре и на западе.

Почему произошла смена системы расселения на западе и в центре лесной зоны? Тому было много причин, включая Ливонскую войну (1558–1583), опричнину (1565–1584) и Смуту (1603–1613), когда и население и количество населенных пунктов уменьшилось в разы. По окончании Смутного времени началось восстановление хозяйства, однако прежние системы расселения

и землепользования уже не восстановились никогда. Вместо большого числа мелких поселений крестьяне стали селиться в больших деревнях. В исторической науке нет единого мнения о причинах такой трансформации системы расселения [2]. Возможно, поселения сохранялись или восстанавливались там, где их безопасность могли обеспечить государство или помещики. Это наряду с другими факторами способствовало усилению крепостной зависимости крестьян. Помещик, как правило, был заинтересован в том, чтобы крестьяне жили относительно крупными поселениями, так их легче было контролировать, и это было удобно, если помещик имел собственную запашку, которую должны были обрабатывать крестьяне. В результате после периода восстановления региона количество населенных пунктов сократилось в разы, но численность населения в каждом резко выросла.

Следует признать, что увеличение размеров поселений имело свои положительные стороны: помимо увеличения безопасности в большой общине можно было рассчитывать на помощь соседей, в общине удобнее стало пасти скот, однако при этом крестьяне оказались обречены на постоянную нехватку близко расположенной и доступной для регулярного удобрения плодородной земли.

Как уже указывалось, надел каждого крестьянина в большой деревне-общине состоял из отдельных участков как близкой, так и удаленной пашни, с «хорошей» и «плохой» землей. Так возникла чересполосица и, следовательно, принудительный, обязательный для всех членов общины севооборот. К тому же от поколения к поколению ситуация с количеством людей в каждом дворе менялась и были необходимы переделы земли. В результате одно только изменение системы расселения с мелкоселенной на крупноселенную неминуемо приводит к лишению крестьянской семьи права распоряжаться своей наделенной землей и переходу к общинному землевладению и землепользованию. Другого способа учесть интересы всех членов общины и обеспечить всех примерно равным по количеству и качеству земли наделом нет. Но в этом случае помимо уже существующих проблем с падением плодородия почв, описанных выше, возникает новая: крестьянин не слишком заинтересован в поддержании, а тем более повышении плодородия земель, поскольку его надел ему не принадлежит и в любой момент может перейти кому-то еще. Поскольку сельскохозяйственный труд, в том числе связанный с поддержанием плодородия, очень тя-

жел, то недостаток мотивации, несомненно, играет свою отрицательную роль. Все это в целом не способствовало сохранению плодородия почв и повышению урожайности. Крестьянство, и без того отличавшееся консерватизмом, оказавшись полностью закрепощенным и селившимся в крупные деревни с общинным землепользованием, окончательно лишилось стимула что-то менять, а потому повышения уровня земледелия, несмотря на близость Европы и больших городов, где развивалась аграрная наука, не происходило на протяжении последующих веков.

Это привело к **парадоксу № 4**, когда в конце XIX в., урожайность зерновых в Новгородской губернии, где произошла смена системы расселения, была ниже, чем в более холодных Пермской и Архангельской, где такой смены не было [3].

Парадоксы XX в. поражают своей контрастностью. С одной стороны, технологии сельского хозяйства изменились принципиально. По кардинальности изменений технологические новации XX в. можно сравнить только с переходом от мотыжного на плужное земледелие и от подсечно-огневого на постоянную пашню с севооборотом. Однако при этом не произошло существенных изменений в пространственной организации агроландшафтов. Напротив, она сознательно тормозилась, и все изменения были или вынужденными (заброшенные сельскохозяйственные угодья) или затратно-бесполезными (мелиорация).

Наконец, **в начале XXI в.** северные сельские жители **парадоксальным** образом выживают за счет чего угодно, только не сельского хозяйства. В настоящее время основной доход даже с этих относительно плодородных земель приносит не сельское, а лесное хозяйство.

Список литературы

1. Археология Республики Коми. – М.: Наука, 1997. – 758 с.
2. Дегтярев А.Я. Русская деревня в XV–XVII веках. Очерки истории сельского расселения // А.Я. Дегтярев. – М., 1981. – 170 с.
3. Ковальченко И.Д. Аграрный строй России второй половины XIX – начала XX века. М., 2004. – 504 с.
4. Материалы к оценке земель Пермской губернии с 1898 по 1900 г. // Оханский уезд. – Пермь: Издание Пермского губернского земства, 1898. – Т. 1. – 796 с.
5. Седов В.В. Сельские поселения Смоленской земли VIII–XV вв. // Материалы и исследования по археологии СССР. / В.В. Седов. – М., 1960. – № 92. – С. 126.
6. Седов В.В. Избранное. Славяне. Древнерусская народность // В.В. Седов. – М., 2005. – 670 с.
7. Седов В.В., Конечский В.Я. Некоторые вопросы исторической географии Новгородской земли в эпоху средневековья / В.В. Седов, В.Я. Конечский // Новгородский исторический сборник. – Л.: Наука, 1989. – № 3(13). – С. 3–19.
8. Спирин А.Н. Морфоструктурное районирование Пермского Прикамья // Ученые записки Пермского университета. Вопросы физической географии Урала – вып. 1. – Пермь, 1973. – № 308. – С. 138–148.

УДК 622:624.13:502/504(470.323)

**ТЕХНОГЕННАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ ЛАНДШАФТОВ
В ЗОНЕ ВЛИЯНИЯ АКТИВНО РАЗРАБАТЫВАЕМЫХ
МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ РЕГИОНА КМА****Фурманова Т.Н., Петина М.А., Петин А.Н., Белоусова Л.И.***ФГАОУ ВО «Белгородский государственный национальный исследовательский университет»,
Белгород, e-mail: furmanova@bsu.edu.ru*

Белгородская область является староосвоенным и густонаселенным регионом Российской Федерации. Ее территория входит в регион КМА – мощнейший в мире железорудный бассейн. В пределах области ведется активная добыча железистых кварцитов открытым (карьерным) и шахтным способом. Каждый из этих видов добычи железорудного сырья как оказывает свое специфическое воздействие на отдельные компоненты ландшафта, так и приводит к трансформации ландшафтной структуры в целом. Помимо масштабного воздействия добычи железорудного сырья в районах разработки общераспространенных полезных ископаемых также происходят нарушения естественных ландшафтов. Хотя масштабы преобразований не так велики по сравнению с горнорудным производством, однако большое количество и широкое распространение карьеров по разработке общераспространенных полезных ископаемых существенно влияют на общий фон природных ландшафтов. Исследование механизмов трансформации ландшафтов в зависимости от объемов добычи полезного ископаемого и видов применяемых геотехнологий их отработки представляет актуальную проблему.

Ключевые слова: Курская магнитная аномалия (КМА), карьер, шахтный способ добычи, железистые кварциты, рекультивация, техногенный ландшафт, нарушенные земли, горнодобывающая деятельность, горнодобывающий комплекс (ГДК), геологическая среда, природный ландшафт

**TECHNOGENIC LANDSCAPES TRANSFORMATION
IN THE AREA OF INFLUENCE ACTIVELY DEVELOPING
MINERAL DEPOSITS OF THE REGION KMA****Furmanova T.N., Petina M.A., Petin A.N., Belousova L.I.***Belgorod State National Research University, Belgorod, e-mail: furmanova@bsu.edu.ru*

Belgorod region is long ago mastered and densely populated territory of the Russian Federation. Its territory is included in the KMA region – the most powerful in the world iron ore basin. Within the area are actively mining ferruginous quartzite open (career) and mining method. Each of these types of iron ore extraction exerts specific effects, both on individual components of the landscape or landscape structure leads to transformation in general. In addition to the impact of large-scale iron ore mining development in areas of common minerals also occur violation of natural landscapes. Although the scale of transformation is not so large compared with the mining industry, but a large number and wide distribution of pits on the development of common minerals significantly affect the general background of the natural landscape. The study of mechanisms of transformation of landscapes depending on production volumes and types of minerals used geotechnology of mining, it is an actual problem.

Keywords: Kursk Magnetic Anomaly (KMA), quarry, mine mining method, ferruginous quartzites, reclamation, technogenic landscape, disturbed land, mining activities, mining complex (GDK), geological environment, natural landscape

Регион Курской магнитной аномалии (КМА) представляет собой самый мощный в мире железорудный бассейн, простирающийся на территории трех субъектов Российской Федерации – Курской, Белгородской и Орловской областей. Интенсивное освоение запасов железистых кварцитов началось в 1950-е гг. В настоящее время горнодобывающая деятельность ведется в пределах четырех железорудных районов – Белгородском, Старооскольском, Новооскольском и Курско-Орловском. В пределах Белгородской области добыча железистых кварцитов осуществляется открытым карьерным способом в пределах Старооскольско-Губкинского ГДК и шахтным способом на Яковлевском руднике

и на шахте им. Губкина. В настоящее время опытно-промышленная добыча богатой железной руды осуществляется на Больше-Троицком месторождении.

Практически при всех применяемых видах отработки геотехнологий на железорудных месторождениях КМА (исключение составляет лишь метод СГД) добыча сырья сопровождается широкомасштабными нарушениями естественных ландшафтов и геохимической ситуации в районах их разработки.

Локальные нарушения естественных ландшафтов также происходят и в районах разработки общераспространенных полезных ископаемых. Однако большое количество и широкое распространение карьеров по

разработке общераспространенных полезных ископаемых могут существенно влиять на общий фон естественных ландшафтов. Исследование механизмов трансформации ландшафтов в зависимости от объемов добычи полезного ископаемого и видов применяемых геотехнологий их отработки представляет актуальную проблему.

Горнорудная промышленность является одним из наиболее мощных факторов антропогенного воздействия на ландшафт. Различают прямое и косвенное воздействие горного производства на природные ландшафты. Прямое влияние состоит в разрушении и преобразовании ландшафтов процессами техногенной денудации и аккумуляции, происходящими непосредственно при горнодобывающей деятельности [4, 8].

Косвенное влияние на ландшафты наблюдается при организации и эксплуатации компонентов инфраструктуры, обеспечивающей горное производство. Это, прежде всего, энергетические объекты, перерабатывающие предприятия, транспортные сети, связь, объекты водоснабжения и водоотведения, рабочие поселки, нередко агропромышленные предприятия и комплексы, иные объекты, необходимость которых диктуется особенностями технологии горного производства.

Косвенное воздействие горнодобывающих предприятий состоит в загрязнении природных объектов токсичными выбросами и выпусками, загрязнителями, рассеивающимися при дефляции отвалов, эксплуатации энергетических объектов, предприятий металлургического передела добываемого сырья. Длительное или интенсивное воздействие на природные почвенно-растительные компоненты ландшафта вызывает их полную деструкцию и последующую активизацию природных экзогенных процессов, водной или ветровой эрозии, приводящих в первую очередь к нарушению земель, а в дальнейшем полному преобразованию существовавших ранее ландшафтов и потере ими прежней биологической продуктивности. Однако фактическое начало нарушения природных ландшафтов происходит до организации горного предприятия, еще на стадии производства геологоразведочных работ.

Активная горнодобывающая деятельность на территории КМА привела к интенсивному и коренному преобразованию существующих естественных ландшафтных комплексов. Проведенные нами ландшафтные исследования в зоне влияния Старо-

оскольско-Губкинского горнодобывающего комплекса позволили выделить три вида техногенной трансформации природных ландшафтов:

а) трансформации, вследствие которых происходят необратимые изменения в структуре ландшафтов и формирование вновь образованного техногенного ландшафта;

б) трансформации, вызывающие временные изменения в структуре ландшафта, при этом сохраняется способность ландшафта к восстановлению прежних признаков после прекращения трансформирующего воздействия;

в) трансформации, не сопровождающиеся изменением структуры ландшафта, при этом сохраняется потенциальная способность ландшафта к выполнению своих первоначальных функций, изменению, как правило, подвергаются биотические компоненты.

В результате в горнопромышленных районах формируются новые по своему генезису, структуре и функционированию техногенные ландшафты, которые в своем развитии проходят две основные фазы – техногенного формирования и посттехногенного развития. В техногенную фазу происходит формирование своеобразной каркасной (литогенной) основы: рельеф и его основные характеристики, горные породы с их вещественным составом и свойствами. В посттехногенную фазу развития ландшафта происходит постепенное преобразование литогенной основы посредством естественных ландшафтообразующих факторов. И, как следствие этого, техногенный ландшафт постепенно трансформируется в природно-техногенный ландшафт.

Техногенез в Старооскольско-Губкинском горнопромышленном районе КМА как фактор преобразования природных систем (в том числе геологической среды) в настоящее время приобрел не только локальное, но и региональное значение.

При рассмотрении карьерно-отвального комплекса как рукотворного геохимического ландшафта обнаруживается ряд несоответствий его строения и функционирования по сравнению с природным геохимическим ландшафтом. Геохимическим центром карьерно-отвального ландшафта выступает днище карьера – самый пониженный элемент рельефа. Из него производится вынос вещества в виде вывозимой с породой руды и поступающих при взрывах в атмосферу аэрозолей. Встречные потоки, обусловленные поверхностным и подземным стоками, не компенсируют отчуждение веществ, по-

этому карьер в процессе эксплуатации углубляется и расширяется. Пространственная смена комбинаций форм движения материи в карьерно-отвальном ландшафте противоположна таковой в естественном ландшафте – от центра к периферии ослабляется значение физической и химической форм движения материи и усиливается значение биологической формы движения, которая присутствует лишь на зарастающих растительностью поверхностях отвалов. Главным фактором, определяющим основные направления техногенных ландшафтно-геохимических процессов, является техника (носитель миграционных потоков), а вспомогательными факторами – вода и живое вещество, представленное формирующимися на отвалах и хвостохранилищах молодыми биогеоценозами.

Таким образом, карьерно-отвальный ландшафт характеризуется сочетанием двух комплексов ландшафтно-геохимических процессов – техногенного с ведущей ролью антропогенной миграции химических элементов (вывоз веществ из карьера) и природно-техногенного с ведущей ролью естественной миграции элементов, обусловленной гравитационным перераспределением веществ и их биологическим круговоротом. В карьерно-отвальном ландшафте направления техногенной и природной миграции химических элементов противоположны.

Как отмечают О.Н. Толстихин, В.Ф. Попов (2000), даже при крайней степени изменения горнопромышленных ландшафтов в них не происходит полного уничтожения природной основы. В частности, сохраняются зональные климатические характеристики, сохраняются геолого-структурные особенности литогенной основы ландшафтов, тенденции развития тех или иных экзогенных процессов, которые могут ослабевать или, наоборот, усиливаться в новых условиях трансформированного рельефа [9].

Воздействие на ландшафты открытых горных работ проявляется в коренном переустройстве рельефа с образованием техногенных отрицательных (денудационных) и положительных (аккумулятивных) форм.

К положительным формам рельефа, образующимся в результате открытых горных работ, относятся отвалы. По отношению к контуру карьера их подразделяют на внутренние и внешние.

Отрицательными формами рельефа, остающимися после открытых разработок, являются карьеры, траншеи и канавы, весьма различные по своим параметрам.

Карьер охватывает собой совокупность горных выработок, образованных при добыче полезного ископаемого открытым способом. Форма карьеров определяется условиями залегания полезного ископаемого и геометрией разрабатываемого пласта или рудного тела.

Нарушенные горными разработками земли представляют собой склоновые поверхности различной формы и ориентировки, увенчанные гребнями или конусами, существенно отличающиеся по ряду своих свойств от естественных.

Интенсивное развитие горнодобывающей промышленности в регионе КМА и расширение сферы ее воздействия с каждым годом усиливает ее влияние на состояние геологической среды. Это проявляется как в изменении геологического строения районов добычи железорудного сырья, так и в активизации различных геодинамических процессов, обусловленных техногенным воздействием на литосферу.

Наиболее широко на железорудных месторождениях представлены геомеханические явления. К ним относятся: сдвигание горных масс, обрушения, обвалы, осыпи, горные удары, оползни, сели, эрозия, дефляция, суффозия, прорывы плывунов, крип и др. [5].

Образование, характер и интенсивное проявление геомеханических явлений обусловлено тремя основными следствиями горных работ: перемещением горных масс, изменением местного базиса эрозии и разрушением горных массивов, минеральных агрегатов и индивидов с образованием дисперсных обломочных фракций с большой удельной поверхностью.

Формирование карьерно-отвального комплекса сопровождается существенным изменением рельефа. В геосистеме именно рельеф осуществляет дифференциацию вещества и энергии. С ним связаны и климатические особенности, и почвы, и растительность. Рельеф оказывает большое влияние на формирование стока поверхностных и подземных вод. Для экологической оценки окружающей среды это обстоятельство имеет большое значение.

Распространение на относительно ограниченной территории горного отвода техногенного рельефа (отвалы и карьеры) обуславливает широкое распространение активных неравновесных склонов. В техногенной геосистеме они выполняют две основные функции: поставляют обломочный материал и сортируют его по весу, размеру и форме обломков [7].

В результате полевых наблюдений и анализа разновременных аэрофотоснимков был сделан вывод о затухании эрозии в системах балок, где базис эрозии значительно повышен за счет намыва продуктов обогащения руды в хвостохранилища. К таким балкам относятся Чуфичева, где формируется хвостохранилище Лебединского и Стойленского ГОКов, а также Березовый Лог, где сформирован и рекультивирован гидроотвал. Напротив, активизация эрозии приурочена к зонам трещиноватости оврагов и балок, бортам карьеров, узлам пересечения разломов. Зоны и узлы активизации довольно уверенно дешифрируются по фотографическим материалам.

В Старооскольско-Губкинском горно-промышленном районе выявлена активизация карстово-суффозионных процессов. Собственные наземные наблюдения и разрозненные фондовые данные позволяют сделать вывод, что в результате увеличения площади и глубины депрессионной воронки, суффозионно-карстовые процессы несколько оживились.

Наблюдаемое расширение площадей с развитием процессов заболачивания связано как с увеличением водопритока из карьеров, так и с заполнением Старооскольского водохранилища.

Таким образом, геодинамические процессы представляют собой естественную реакцию природной системы на техногенное воздействие и в некоторых случаях существенно влияют на результаты хозяйственной деятельности в горнодобывающих районах [6].

Детальный анализ современной ландшафтно-функциональной структуры Старооскольско-Губкинского ГДК дает представление о соотношении видов земель, входящих в зону непосредственного воздействия горной добычи. В общей структуре КМА на долю техногенно преобразованных земель приходится лишь 0,4% общей площади, в то время как на территории зон открытых разработок эта цифра гораздо выше. Так в 20 км зоне влияния Старооскольско-Губкинского промышленного узла техногенные ландшафты занимают более 3% территории, в совокупности с высокой степенью распаханности и заселенности (под пашнями 62,1% территории и под населенными пунктами 8,9%) в целом, общий ландшафтный рисунок образуют техногенные, агроландшафты и селитебные ландшафты. Нарушенные земли подвержены интенсивной водной и ветровой эрозии, что

представляет экологическую опасность для окружающих естественных и сельскохозяйственных угодий, селитебных территорий. Формируются чуждые для зоны экотопы, которые заселяются преимущественно сорными и адвентивными видами. На долю естественных экосистем в этом районе приходится около 25% территории, это преимущественно лесные, овражно-балочные и пойменные ландшафты.

В Белгородской области в настоящее время разрабатывается свыше 300 карьеров ОПИ. Прогнозные запасы мела, глины и песка практически не ограничены и распространены по всей территории области.

В связи с принадлежностью территорий, на которых ведется добыча, к различным единицам ландшафта, имеют место определенные особенности воздействия открытой разработки на окружающую среду. Более 50% карьеров первоначально располагались на склонах балок и оврагов, а затем, углубляясь и расширяясь, стали захватывать пахотные угодья. Примерно 25% карьеров располагается в поймах рек и около 20% – в оврагах и балках [1].

Существенным недостатком разработки месторождений ОПИ является негативное влияние на окружающую среду. К основным видам воздействия малых карьеров относятся: изъятие значительных земельных площадей, выступающих в качестве сельскохозяйственных угодий, а также являющихся местообитанием различных представителей фауны; загрязнение воздушной среды, почвенного и растительного покрова прилегающих территорий; изменение рельефа территории, ее гидрогеологических условий, загрязнение близлежащих водоемов сточными водами.

Перечисленные отрицательные явления сопровождают и добычу ОПИ на территории Белгородской области, особенно не в столь далеком прошлом. На значительной части карьеров горные работы ведутся на ценных пахотных землях практически без снятия плодородного слоя чернозема. Многие карьеры интенсивно подрабатывают лесные и кустарниковые насаждения; в результате из зоны производственной деятельности вытесняется местный животный мир. Зачастую добыча ОПИ велась без дополнительных мер по осушению и водоотведению, практиковался сброс загрязненных вод в местную речную сеть. На бывших колхозных карьерах допускались бесконтрольные нарушения пологих склонов, что ускоряло процессы оврагообразования. Остаточные

карьерные выемки на отработанных участках месторождений часто превращались в места несанкционированных свалок бытовых и промышленных отходов [3].

Подводя итог, можно заключить, что высокая степень сельскохозяйственной освоенности территории Белгородской области и интенсивная горнодобывающая деятельность способствуют деградации и коренной трансформации естественных ландшафтов районов размещения горнодобывающих комплексов, где основным восстановительным процессом можно считать самозарождение отработанных карьерных выемок и отвалов [2]. В связи с этим актуальным остается вопрос о разработке долгосрочной, постоянно действующей программы рекультивационных мероприятий на нарушенных землях.

Исследование выполнено при поддержке Гранта РФФИ 16-35-00422 «Оценка техногенной трансформации ландшафтов в зоне влияния активно разрабатываемых месторождений полезных ископаемых КМА».

Список литературы

1. Воздействие разработки месторождений по добыче общераспространенных полезных ископаемых на окружающую природную среду [Текст] / Фурманова Т.Н., Назаренко Н.В., Петин А.Н. // Современные проблемы науки и образования. – 2012. – № 6. [Электронный]. Режим доступа: <http://www.science-education.ru/106-7401>.
2. Геоэкологические проблемы оптимизации и биорекультивации отвалов вскрышных пород железорудных месторождений КМА: монография / Корнилов А.Г., Петин А.Н. и др. – Белгород: ИД «Белгород» НИУ «БелГУ», 2013. – 124 с.
3. Геоэкологические проблемы добычи общераспространенных полезных ископаемых в Белгородской области [Текст] / Фурманова Т.Н., Петин А.Н., Петина М.А. // Горный журнал. – 2015. – № 8. – С. 61–64.
4. Исаченко А.Г. Ландшафтоведение и физико-географическое районирование. – М.: Высшая школа, 1991. – 366 с.
5. Особенности проявления экзогенных геоморфологических процессов на территории Белгородской области [Текст] / Белоусова Л.И., Киреева-Гененко И.А., Фурманова Т.Н. // Академический журнал Западной Сибири. – 2015. – Т. 11, № 1 (56). – С. 109–110.
6. Особенности развития экзогенных геоморфологических процессов при разработке месторождений общераспространенных полезных ископаемых в Белгородской области [Текст] / Фурманова Т.Н., Назаренко Н.В. // Антропогенная геоморфология – наука и практика: материалы XXXII Пленума Геоморфологической Комиссии РАН. – Белгород, 2012. – С. 290–292.
7. Оценка эколого-геоморфологической опасности территории Белгородской области [Текст] / Белоусова Л.И., Киреева-Гененко И.А., Петина В.И., Шевченко В.Н., Фурманова Т.Н. // Современные проблемы науки и образования. – 2013. – № 5.; URL: <http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=10467>.
8. Перельман А.И. Касимов Н.С. Геохимия ландшафта. – Издательство: Астрей-2000, 1999.
9. Попов В.Ф., Толстихин О.Н. Общая экология. – Якутск: Изд-во Якутск. гос. ун-та, 2000. – 380 с.

УДК 556

ОПЕРАТИВНОЕ ПРИНЯТИЕ УПРАВЛЕНЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ В СФЕРЕ ВОДОПОЛЬЗОВАНИЯ НА ЗАГРЯЗНЕННЫХ ВОДНЫХ ОБЪЕКТАХ**Черноморец А.А., Петина М.А., Путивцева Н.П., Коваленко А.Н.***ФГАОУ ВО «Белгородский государственный национальный исследовательский университет»,
Белгород, e-mail: chernomorets@bsu.edu.ru*

В статье для оценки состояния водных объектов разработана методика экспертного оценивания объектов с максимальным уровнем загрязнения при отсутствии информации об источнике поступления загрязняющих веществ, основанная на методе анализа иерархий. Значительное ухудшение качественного состояния малых рек требует разработки и составления схем рационального использования и охраны водных ресурсов, создания постоянно действующей системы контроля загрязненности, учета и расходования водных ресурсов с целью оперативного управления водными объектами. Разработанная методика является частью интеллектуальной системы управления процессом мониторинга и оповещения о загрязненности малых рек и позволяет произвести оценку пригодности водного объекта по комплексу физических, химических и гидробиологических показателей к конкретному виду водопользования. В заключение приведена оценка разработанной методики.

Ключевые слова: малые реки, качество воды, химические показатели, экспертный метод, водный объект, вид водопользования, водные ресурсы

OPERATIONAL MANAGEMENT DECISION MAKING IN THE FIELD OF WATER ON CONTAMINATED WATER BODIES**Chernomorets A.A., Petina M.A., Putivtseva N.P., Kovalenko A.N.***Federal state Autonomous educational institution of higher education
«Belgorod State National Research University», Belgorod, e-mail: chernomorets@bsu.edu.ru*

In the article to assess the status of water bodies the method of expert estimation of objects with a maximum level of pollution in the absence of information about the source of contaminants, based on the method of analysis of hierarchies is developed. A significant deterioration in the quality condition of small rivers requires the development and preparation of schemes of rational use and protection of water resources, the establishment of a permanent system of pollution control, and accounting of water resources for the operative management of water bodies. The developed methodology is part of the intelligent control systems for monitoring and warning about the contamination of small rivers and it assesses the suitability of the water body on a range of physical, chemical and hydrobiological indicators to a specific type of water use. In conclusion, we present the evaluation of the developed technique.

Keywords: small rivers, water quality, chemical indicators, expert method, the water body, the kind of water management, water resources

В последнее время в результате интенсивного освоения региона происходит усиление антропогенной нагрузки на естественный водный режим, что приводит к значительному ухудшению качественного состояния малых рек. Это требует разработки и составления схем рационального использования и охраны водных ресурсов, создания постоянно действующей системы контроля загрязненности, учета и расходования водных ресурсов с целью оперативного управления водными объектами.

Цель исследования

Разработать методику экспертного оценивания объектов с максимальным уровнем загрязнения для принятия управленческих решений в сфере водопользования на загрязненных водных объектах, основанную на методе анализа иерархий.

Водные объекты оценивались по комплексу физических, химических и гидроби-

ологических показателей с использованием методов системного анализа, поддержки принятия решений.

Для оценки загрязненности поверхностных вод используют результаты наблюдений по совокупности загрязняющих веществ. Расчет показателей проводится по результатам регулярных наблюдений за состоянием воды рек.

Оценка уровня загрязнения поверхностных вод проводится по комплексу показателей качества воды.

В расчёте используются только нормируемые ингредиенты. В качестве норматива используются предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ для воды рыбохозяйственных, водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования – наиболее жёсткие (минимальные) значения из списков, рекомендуемых для подготовки информационных документов по качеству поверхностных

вод. Для веществ, на которые нормативными документами предусмотрено их полное отсутствие в воде, в качестве ПДК условно принимается 0,01 мкг/дм³.

В рамках создаваемой интеллектуальной системы управления процессом мониторинга и оповещения о загрязненности малых рек для оценки состояния водных объектов разработана методика экспертного оценивания объектов с максимальным уровнем загрязнения при отсутствии информации об источнике поступления загрязняющих веществ, основанная на методе анализа иерархий [2, 4, 5].

Метод анализа иерархий (МАИ) – математический инструмент системного подхода к сложным проблемам принятия решений, использующий метод парных сравнений в сочетании с методом последовательных сравнений. МАИ не предписывает лицу, принимающему решение, какого-либо «правильного» решения, а позволяет ему в интерактивном режиме найти такой вариант, который наилучшим образом согласуется с его пониманием сути проблемы и требованиями к ее решению.

МАИ применяется для моделирования многокритериальных задач принятия решения. Идея метода состоит в структуризации задач принятия решения путем построения многоуровневой иерархии, объединяющей все компоненты задачи, которые сравниваются между собой с помощью специально разработанных процедур. В результате становится возможным получение численных оценок интенсивности взаимовлияния элементов иерархии, на основе которых оцениваются степени предпочтительности альтернатив относительно главной цели [3].

Оптимальное решение вопросов использования водных ресурсов возможно лишь при наличии объективной информации о состоянии качества воды водных объектов. При возникновении угрозы экстремально высокого загрязнения необходимо произвести контрольный отбор проб и провести анализы качества воды в водотоке. В примере рассматриваются объекты 4–5 класса загрязненности.

Оперативная оценка пригодности водного объекта к определенному виду водопользования должна происходить по следующей схеме. Наклаиваются ограничения видов водопользования, далее выявляются источники загрязнения и альтернативы по очистке водных объектов.

На рис. 1 представлена иерархия принятия решения о выявлении объектов с экс-

тремальным уровнем загрязнения для последующего снятия ограничений видов водопользования, где в качестве альтернатив выступают виды водопользования.

Реализация метода анализа иерархий состоит в следующем:

1. Определение цели. Целью является оценка пригодности водного объекта для конкретного вида водопользования.

2. Определение критериев. В качестве критериев используются физические, химические и гидробиологические показатели.

К физическим показателям относятся:

- покрытие пленкой поверхности ВО на площади 2 и более кв. км при его площади более 6 кв. км;

- появление запаха интенсивностью более 4 баллов;

- покрытие пленкой более 1/3 поверхности ВО при его площади до 6 кв. км.

К химическим показателям относятся:

- превышение ПДК в 5 раз и более для веществ 1–2 класса загрязненности;

- превышение ПДК в 50 раз и более для веществ 3–4 класса загрязненности;

- снижение содержания растворимого кислорода до 2 мг/л и менее;

- увеличение БПК свыше 40 мг О₂/л.

Химические показатели являются наиболее значимыми при оценке качества водных объектов, в особенности превышения ПДК для веществ различных классов загрязненности.

К гидробиологическим показателям относят массовую гибель гидробионтов. Данный показатель является наименее значимым.

3. Определение альтернатив. В качестве альтернатив выступают виды водопользования. Различают пять видов водопользования: хозяйственно-питьевое, промышленность, рыбное хозяйство, купание, спорт, транспорт.

Для каждого уровня необходимо построить матрицы парных сравнений – по одной матрице для каждого элемента, направляющего сверху уровня. Этот элемент называют направляемым по отношению к элементу, находящемуся на нижнем уровне, так как этот элемент нижнего уровня влияет на расположенный выше элемент. Элементы любого уровня сравниваются друг с другом относительно их воздействия на направляемый элемент. Парные сравнения проводят в терминах доминирования одного из элементов над другим, затем эти суждения выражаются в целых числах.

Для указания важности отдельного критерия применяется шкала: от 1 – несущественный фактор, до 9 – абсолютная значимость (табл. 1).



Рис. 1. МАИ: Оценка качества речной воды

Таблица 1

Шкала отношений

Степень значимости	Определения
1	Несущественная значимость
3	Некоторое преобладание значимости одного действия над другим (слабая значимость)
5	Существенная или сильная значимость
7	Очевидная или очень сильная значимость
9	Абсолютная значимость
2, 4, 6, 8	Промежуточные значения между двумя соседними суждениями
Обратные величины приведенных выше ненулевых величин	Если действию i (строка матрицы парных сравнений) при сравнении с действием j (столбец матрицы парных сравнений) приписывается одно из определенных выше ненулевых чисел, то действию j при сравнении с действием i приписывается обратное значение

В табл. 2 приведен пример матрицы парных сравнений приоритетов критериев. Приоритеты критериев устанавливаются экспертным путем с учетом гипотетического уровня загрязненности на условном водном объекте.

Далее заполняются матрицы парных сравнений альтернатив относительно критериев. Для установления относительной важности элементов иерархии используется шкала отношений (табл. 1), которая позволяет ставить в соответствие степеням предпочтения одного сравниваемого объекта перед другим некоторые числа.

В табл. 3 приведен пример матрицы парных сравнений альтернатив для критерия «Превышение ПДК в 50 раз и более для веществ 3–4 класса загрязненности».

Аналогичным образом заполняются матрицы парных сравнений для остальных критериев.

Для каждой матрицы необходимо рассчитать нормализованный вектор приоритетов W , наибольшее собственное число матрицы парных сравнений $\lambda_{\max}$ и отношение согласованности.

Согласованность суждений по каждому критерию оценивается индексом согласованности (ИС) и отношением согласованности (ОС) в соответствии со следующими выражениями:

$$\text{ИС} = (\lambda_{\max} - n) / (n - 1), \quad (1)$$

где $\lambda_{\max}$ – наибольшее собственное число матрицы парных сравнений, n – число сравниваемых элементов,

$$OS = IC/M(IC), \quad (2)$$

где $M(IC)$ – среднее значение (математическое ожидание) индекса согласованности случайным образом составленной матрицы парных сравнений [4].

В результате расчетов были получены следующие значения согласованности суждений по каждому критерию (табл. 4).

Далее были установлены приоритеты альтернатив по каждому критерию и определен глобальный приоритет альтернатив,

то есть определена пригодность водного объекта для конкретного вида водопользования. Результат представлен на рис. 2.

Таким образом, условный водный объект наиболее пригоден для таких видов водопользования, как транспорт, промышленность и купание, спорт.

В итоге для отдельного водного объекта можно получить характеристику его пригодности для каждого вида водопользования (табл. 5) [1] с позиций загрязненности воды.

Таблица 2

Матрица парных сравнений приоритетов критериев

Оценка качества	Превыш. ПДК в 5 раз	Превыш. ПДК в 50 раз	Сниж. содерж. кислорода до 2 мг и менее	БПК свыше 40 мг	Покр. пленкой 2 и более кв. км	Появл. запаха	Покр. пленкой 2 1/3 поверх-ти	Массовая гибель гидробионтов
Превыш. ПДК в 5 раз	1	2	5	5	5	4	4	5
Превыш. ПДК в 50 раз	1/2	1	5	7	6	4	5	4
Сниж. содерж. кислорода до 2 мг и менее	1/5	1/5	1	1	1	1	1	2
БПК свыше 40 мг	1/5	1/7	1	1	1	1	1	2
Покр. пленкой 2 и более кв. км	1/5	1/6	1	1	1	1	1	1
Появл. запаха	1/4	1/4	1	1	1	1	1	1
Покр. пленкой 2 1/3 поверх-ти	1/4	1/5	1	1	1	1	1	2
Массовая гибель гидробионтов	1/5	1/4	1/2	1/2	1	1	1/2	1

Таблица 3

Матрица парных сравнений альтернатив для критерия «Превышение ПДК в 50 раз и более для веществ 3–4 класса загрязненности»

Превыш. ПДК в 50 раз	Промышленность	Рыбное хоз-во	Купание, спорт	Транспорт	Хоз-питьевое
Промышленность	1	3	3	2	2
Рыбное хоз-во	1/3	1	2	3	2
Купание, спорт	1/3	1/2	1	2	1/2
Транспорт	1/2	1/3	1/2	1	1/4
Хозпитьевое	1/2	1/2	2	4	1

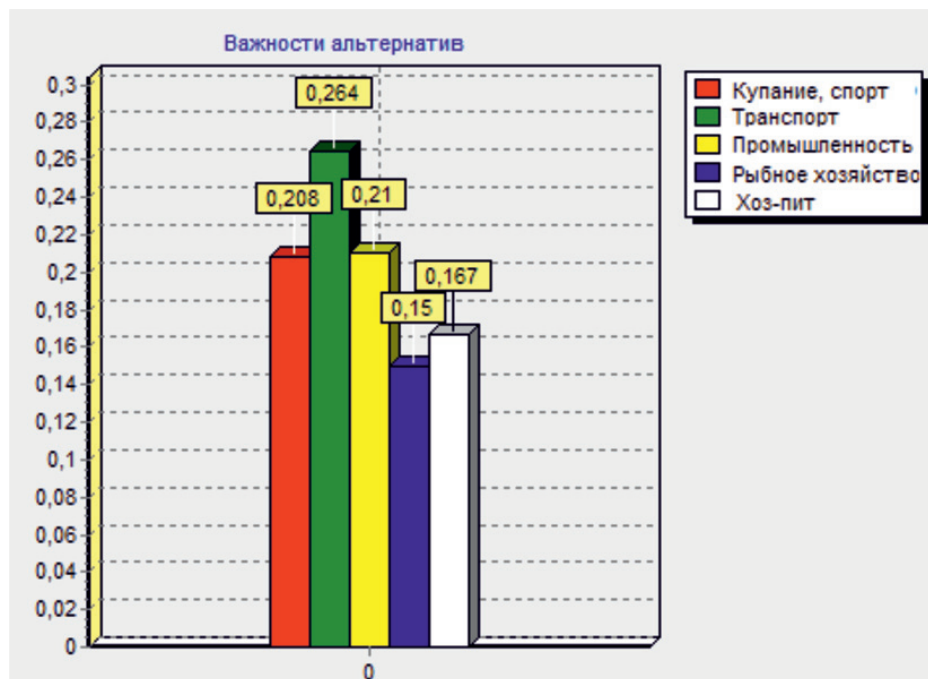


Рис. 2. Важности альтернатив

Таблица 4

Согласованность оценок по каждому критерию

Критерии	ОС
Появление запаха интенсивностью более 4 баллов	0,19
Покрывание пленкой более 1/3 поверхности ВО при его площади до 6 кв. км	0,09
Превышение ПДК в 5 раз и более для веществ 1–2 класса загрязненности	0,14
Превышение ПДК в 50 раз и более для веществ 3–4 класса загрязненности	0,09
Гибель гидробионтов	0,00
Покрывание пленкой поверхности ВО на площади 2 и более кв. км при его площади более 6 кв. км	0,11
БПК свыше 40 мг О ₂ /л	0,11
Снижение содержания растворимого кислорода до 2 мг/л и менее	0,04

Таблица 5

Характеристика водного объекта для различных видов водопользования

Качество воды	Виды водопользования				
	Хозяйственно-питьевое	Промышленность	Рыбное хозяйство	Купание, спорт	Транспорт
Загрязненная	Пригодна только со специальной очисткой	Пригодна только со специальной очисткой	Пригодна (кроме ценных видов рыб)	Использование сомнительно	Использование сомнительно
Грязная	Непригодна	Пригодна для специальных целей после очистки	Непригодна	Непригодна	Использование нежелательно

Заключение

Таким образом, разработанная методика экспертного оценивания объектов с максимальным уровнем загрязнения при отсутствии информации об источнике поступления загрязняющих веществ позволяет произвести оценку пригодности водного объекта к тому или иному виду водопользования.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 14-47-08052.

Список литературы

1. Крымская О.В. Качество вод в реках Центрально-Черноземного региона: учебное пособие / О.В. Крымская, М.Г. Лебедева. – Белгород: Изд-во «Политерра», 2004. – 100 с.

2. Петина М.А. Использование геоинформационных технологий в системах поддержки принятия решений при управлении водными ресурсами (на примере Белгородской области) / М.А. Петина // Научные ведомости БелГУ. – 2010. – № 21 (92). – Выпуск 13. – С. 151–156.

3. Саати Томас Л. Принятие решений: Метод анализа иерархий. – М.: Радио и связь, 1993. – 314 с.: ил.

4. Черноморец А.А. Разработка экспертного метода анализа состояний водных объектов / А.А. Черноморец, М.А. Петина, М.Г. Лебедева, А.Н. Коваленко // Исследование различных направлений современной науки VIII Международная научно-практическая конференция. 29 января 2016, г. Москва. – С. 1287–1290.

5. Черноморец А.А. Разработка экспертного метода принятия решений об уровне загрязненности малых рек при отсутствии информации об источнике поступления загрязняющих веществ / А.А. Черноморец, М.А. Петина, А.Н. Коваленко, М.Н. Коваленко // Академическая наука – проблемы и достижения: Материалы IX международной научно-практической конференции. 20–21 июня 2016, г. North Charleston, USA. – Т. 2. – С. 77–79.

УДК 911

ПРОБЛЕМЫ РАЗВИТИЯ СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ГЕОСИСТЕМЫ ЮЖНОУРАЛЬСКОГО МЕЗОРЕГИОНА В УСЛОВИЯХ ВОЗРАСТАЮЩЕГО АНТРОПОГЕННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ

Чибилёв А.А. (младший)*Институт степи Уральского отделения Российской академии наук, Оренбург,
e-mail: a.a.ml@mail.ru*

Проблемы развития Южноуральского мезорегиона как единой социально-экономической геосистемы тесно связаны с процессами урбанизации и трансформации сельскохозяйственного производства, происходящих в условиях возрастающего антропогенного воздействия на ландшафты. В статье рассматриваются процессы урбанизации на территории трех субъектов Южного Урала за последние 25 лет. В статье даётся оценка сложившейся структуры земельного фонда, рассматриваются причины образования неиспользуемых земельных ресурсов, приводятся показатели современного состояния невостребованного земельного фонда по Оренбургской, Челябинской областям и Республике Башкортостан. Приводится характеристика структуры ландшафтов всей рассматриваемой территории и каждого из входящих в неё субъектов. Предложен подход для определения показателей интенсивности антропогенной нагрузки на ландшафты на примере муниципальных образований степной зоны в пределах Южноуральского мезорегиона.

Ключевые слова: Южноуральский мезорегион, Оренбургская область, Республика Башкортостан, Челябинская область, процессы урбанизации, трансформация сельскохозяйственного производства, неиспользуемые земельные ресурсы, антропогенная нагрузка на ландшафты

PROBLEMS OF DEVELOPMENT OF THE SOCIO-ECONOMIC GEOSYSTEM OF SOUTH-URAL REGION IN CONDITIONS OF INCREASING ANTHROPOGENIC IMPACT

Chibilev A.A. (jr.)*Institute of Steppe of the Ural branch of the RAS, Orenburg, e-mail: a.a.ml@mail.ru*

Problems of development of South-Ural region as a single socio-economic geosystem are closely connected with the processes of urbanization and transformation of agricultural production, taking place in conditions of increasing anthropogenic impact on landscapes. The article examines the processes of urbanization in the territory of 3 constituent entities of the Southern Ural over the past 25 years. Assesses current structure of the land fund and issues of the emergence of unused land resources. The characteristic landscape structure of the region. The proposed approach for determining the intensity of anthropogenic load on the landscapes on the example of the municipal formations of the steppe zone within the South-Ural region.

Keywords: South-Ural region, Orenburg oblast, Republic of Bashkortostan, Chelyabinsk region, the processes of urbanization, transformation of agricultural production, unused land resources, anthropogenic pressure on landscapes

Площадь Южноуральского мезорегиона, который в административно-территориальном отношении формируют 3 субъекта РФ (Оренбургская область, Республика Башкортостан и Челябинская область) составляет около 355 тыс. км². На этой территории, географически занимающей срединное положение в рассматриваемом нами ранее степном пространстве РФ [5, 8], проживает более 9,5 млн человек. Проблемы развития Южноуральского мезорегиона как единой социально-экономической геосистемы тесно связаны с процессами урбанизации и трансформации сельскохозяйственного производства, проходящими в условиях возрастающего антропогенного воздействия на ландшафты.

Одной из характерных особенностей развития регионов Южного Урала на протяжении последнего столетия является усиление

процессов урбанизации, проявляющихся в формировании городских агломераций и обширных урбанизированных районов. Крупные города, областные и республиканские центры за 100 лет многократно увеличили численность своего населения (табл. 1). На 1.01.2014 г. в рассматриваемом регионе, при общей плотности населения 27 чел./км², сосредоточены 63 города, с общей численностью населения почти 6,6 млн человек. Стоит отметить, что почти 40% населения рассматриваемого региона проживает в шести городах (Челябинск, Уфа, Оренбург, Магнитогорск, Стерлитамак, Орск).

Именно эти города выступают узловыми элементами, формирующими опорный каркас расселения Южноуральского региона, который характеризуется линейно-стреми-тельной тенденцией развития расселения. Значительная часть населения приходится

на урбанизированные полосы Оренбург – Стерлитамак – Уфа и Челябинск – Магнитогорск – Орск с запада и востока горного массива Южного Урала.

Уровень урбанизации в Южноуральском мезорегионе (за счёт большой численности сельского населения Оренбургской области – 802,4 тыс. человек и Республики Башкортостан – 1559,6 тыс. человек) несколько ниже, чем в целом по РФ. Доля городского населения на его территории не превышает 69%, тогда как по России этот показатель достигает 74%. Демографическая ситуация на Южном Урале формирует темпы его социально-экономического развития.

Большую долю (63%) южноуральских городов составляют населённые пункты, население которых не превышает 50 тыс. человек. Зачастую это города, расположенные у месторождений полезных ископаемых, социально-экономическая ситуация в которых во многом зависит от уровня развития горнодобывающей и нефтегазовой промышленности и связанных с ними производств.

Максимального значения численность населения рассматриваемого региона достигала в 1995–2000 гг. (более 10 млн человек). Рассматривая динамику численности населения на территории южноуральских регионов за 25-летний период (1989–2014 гг.), приходится констатировать его сокращение на 257 тыс. человек (почти на 3%). Лишь в 24 из 63 южноуральских городов наблюдаются положительные темпы прироста населения за этот период (рис. 3). По абсолютной величине максимальные потери населения отмечены в г. Орске (– 35,9 тыс. человек), г. Златоусте (– 36,9 тыс. человек) и г. Магнитогорске (– 25,4 тыс. человек). По относительному показателю наибольшее снижение численности населения произошло в г. Ясном (– 41,4%), г. Юрюзань (– 33,3%) и г. Катав-Ивановске (– 31,2%). Наибольший положительный прирост отмечается в г. Копейске (+ 79,6%), г. Сибее (+ 32,3%) и Бирске (+ 28,1%) (рис. 2).

Важнейшим фактором ускорения процессов урбанизации полвека назад стало освоение минеральных ресурсов. Так на-

пример, в Оренбургской области разработка крупных месторождений полезных ископаемых и формирование производственной инфраструктуры дали толчок развития г. Медногорску, г. Новотроицку, г. Гаю и г. Ясному.

Значительная доля моногородов Южноуральского мезорегиона, переживающих сегодня сложные социально-экономические процессы и связанные с ними демографические кризисы, своему становлению в прошлом обязаны развитию чёрной и цветной металлургии. Позднее, когда местные месторождения были выработаны, многие из них перепрофилировались в центры машиностроения и металлообработки, которые в свою очередь также не избежали ряда социально-экономических проблем в постсоветский период.

Активная стадия повсеместного развития процесса урбанизации и рост численности населения на Южном Урале продолжались до начала 1990-х гг.. В последующие два десятилетия на территории субъектов рассматриваемого мезорегиона происходит снижение доли городского населения (рис. 3). Причиной этому стала депопуляция населения и замедление темпов сельско-городской миграции. Стоит отметить, что свой вклад в этот процесс внесли и административно-территориальные преобразования, результатом которых стал перевод посёлков городского типа в категорию сельских населённых пунктов.

В последние годы активно развиваются процессы субурбанизации приуроченные к Челябинской, Уфимской, Стерлитамакской и Оренбургской агломерациям. В целом, если рассматривать численность населения 63 городских населённых пунктов в период с 1989 по 2014 г., она сократилась всего на 61,4 тыс. человек (0,9%).

Процессы урбанизации и рурализации тесно связаны с изменением структуры земельного фонда. В структуре земельных ресурсов исследуемого региона 2/3 площади занимают земли сельскохозяйственного назначения, 1/4 часть занята под землями лесного фонда, доля земель населённых пунктов составляет 4% (табл. 2).

Таблица 1

Динамика численности населения г. Оренбурга, г. Челябинска и г. Уфы [3, 4]

Города / Годы	1897	1926	1939	1959	1970	1979	1989	2002	2010	2014
Оренбург	72	123	172	267	344	458	517	549	547	560
Челябинск	20	59	273	689	875	1030	1107	1077	1130	1169
Уфа	49	99	258	547	780	977	1080	1042	1062	1097

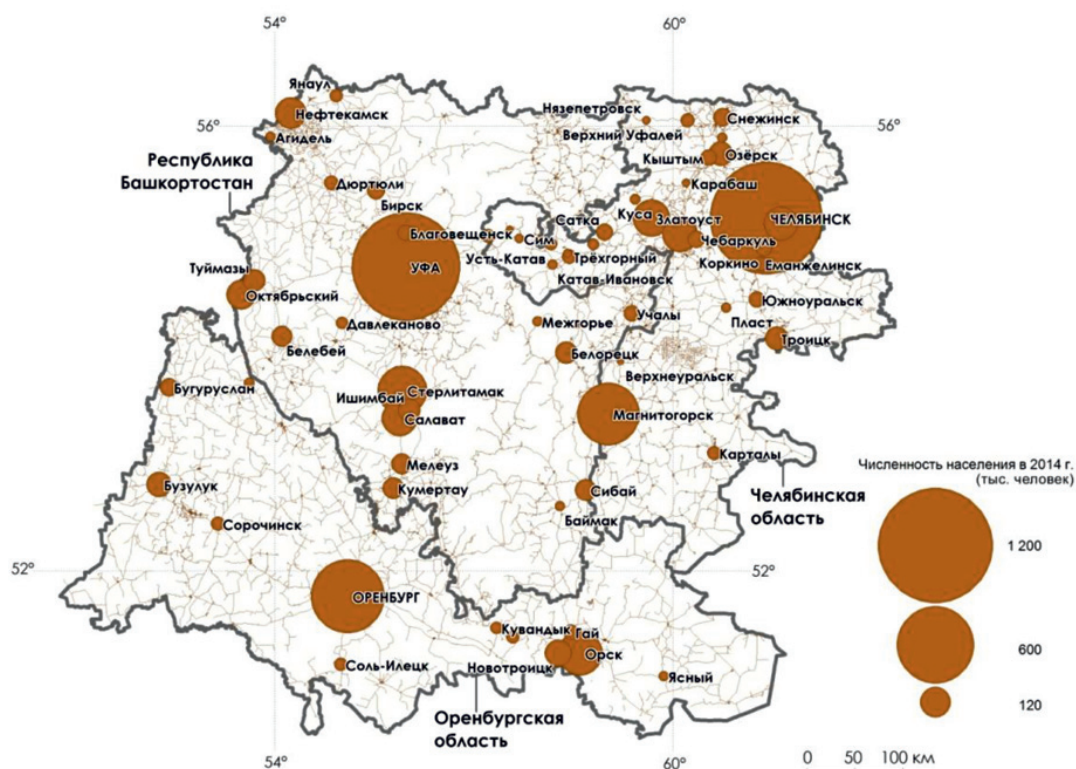


Рис. 1. Численность населения городов регионов Южного Урала (2014 г.)

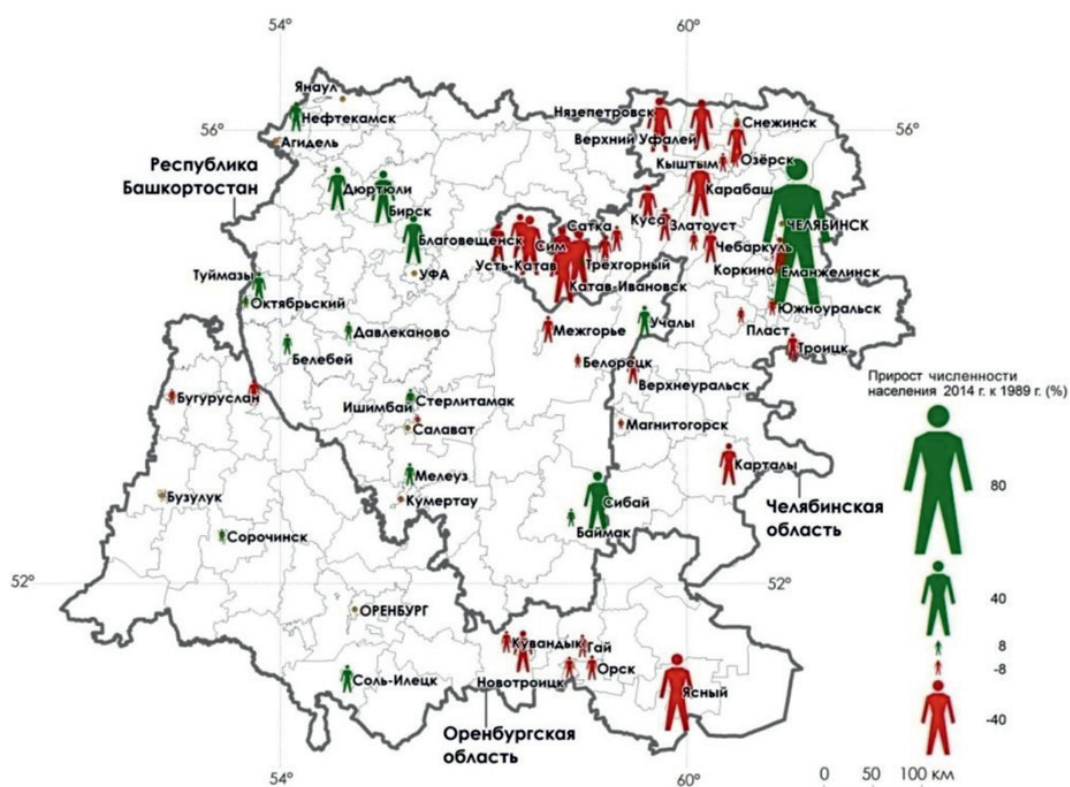


Рис. 2. Прирост численности населения 2014 г. к 1989 г. городов регионов Южного Урала

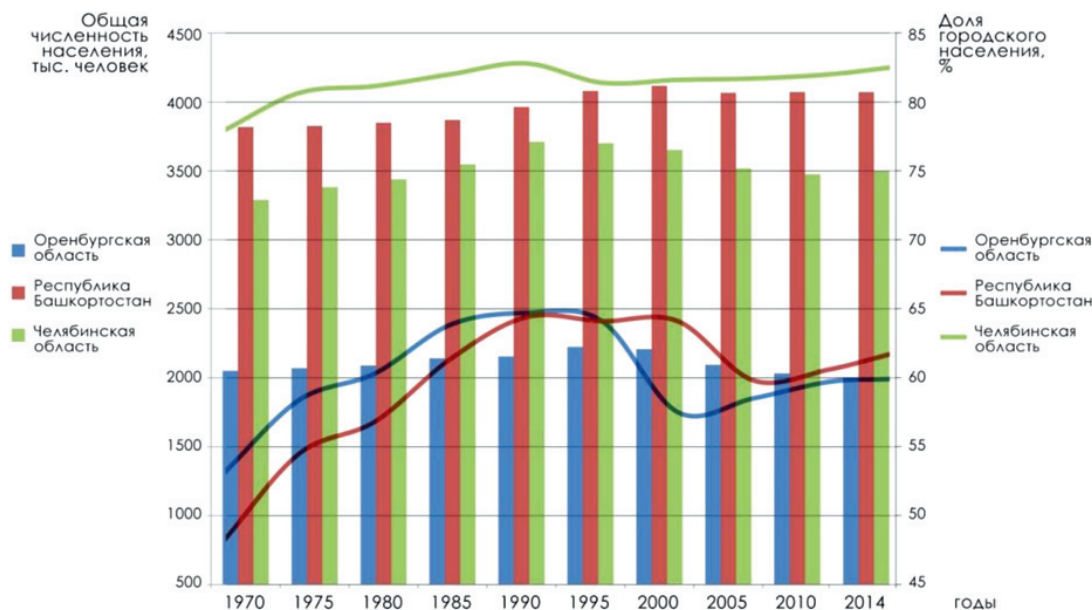


Рис. 3. Динамика численности населения и доли городского населения в 1970–2014 гг.

Таблица 2

Структура земельных ресурсов субъектов Южноуральского мезорегиона [2, 5, 6, 7]

Субъект РФ	Площадь субъекта, тыс. км ²	Доля площади ареала степного биома в общей площади территории субъекта, %	Распределение земель по категориям, тыс. га (%)						
			Земли с/х назначения	Земли населённых пунктов	Земли промышленности и иного назначения	Земли особо охраняемых территорий и объектов	Земли лесного фонда	Земли водного фонда	Земли запаса
Оренбургская область	123,7	92 %	10930,0 (88,4 %)	405,7 (3,3 %)	264,8 (2,1 %)	79,2 (0,6 %)	637,9 (5,2 %)	21,5 (0,2 %)	31,1 (0,2 %)
Республика Башкортостан	142,9	15 %	7320,2 (51,2 %)	630,6 (4,4 %)	111,9 (0,8 %)	412,0 (2,9 %)	5720,6 (40,0 %)	77,9 (0,5 %)	21,5 (0,2 %)
Челябинская область	88,5	31 %	5177,0 (58,5 %)	404,1 (4,6 %)	258,2 (2,9 %)	64,2 (0,7 %)	2782,1 (31,4 %)	29,2 (0,3 %)	138,1 (1,6 %)
Всего:	355,1	44 %	23427,2 (66,0 %)	1440,4 (4,0 %)	634,9 (1,8 %)	555,4 (1,6 %)	9140,6 (25,7 %)	128,6 (0,4 %)	190,7 (0,5 %)

В природном (ландшафтном и физико-географическом) отношении рассматриваемая территория неоднородна: она охватывает, кроме подобласти гор Южного Урала, восточные окраины Русской равнины, западные окраины Западной Сибири и на юго-востоке окраину Тургайского плато [9] (рис. 4).

Высокая доля земель сельскохозяйственного назначения обусловлена спецификой ландшафтной структуры рассматриваемой социально-экономической геосистемы. Преобладающими ландшафтами в Южноуральском мезорегионе являются степные ландшафты, на долю которых приходится почти половина его территории (рис. 5).

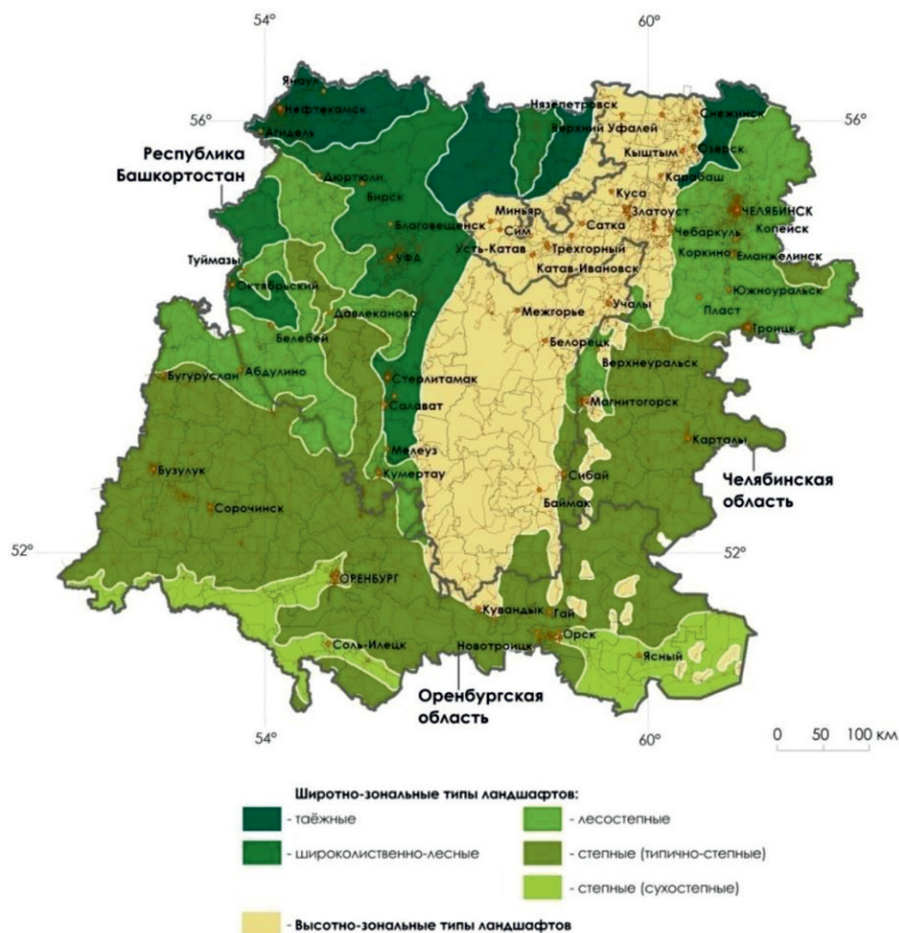


Рис. 4. Генерализованная ландшафтная схема регионов Южного Урала (по ландшафтной карте И.С. Гудилина, 1987)

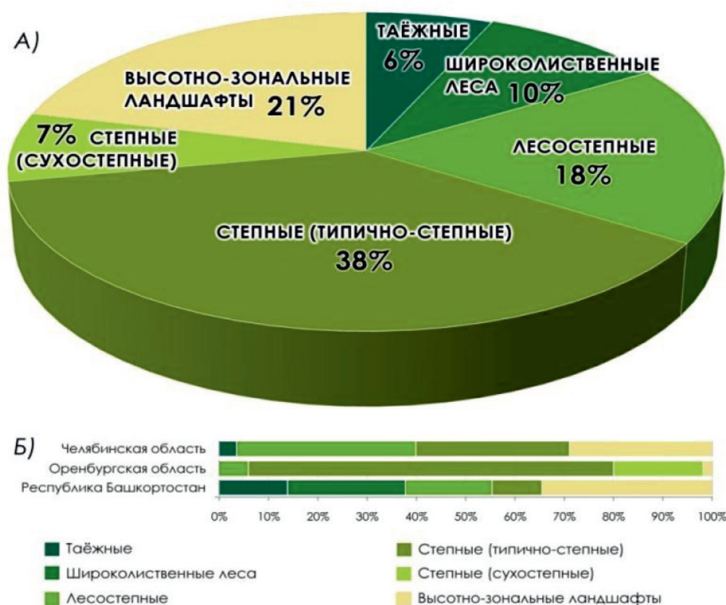


Рис. 5. Ландшафтная структура: А) мезорегиона Южный Урал, Б) входящих в него субъектов

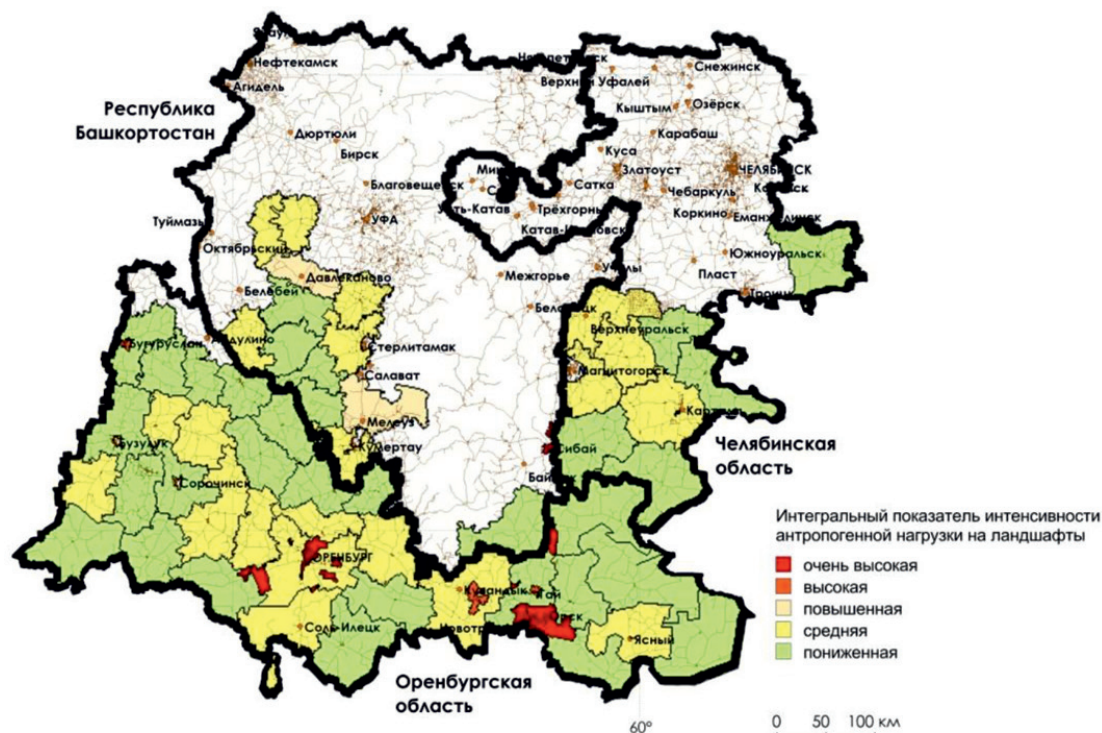


Рис. 6. Интегральный показатель интенсивности антропогенной нагрузки на степные ландшафты в разрезе муниципальных образований степной зоны Южноуральского мезорегиона

В каждом из субъектов существует своя специфика использования сельхозугодий, вместе с тем трансформация сельскохозяйственного производства в Южноуральском регионе привела к образованию значительного фонда неиспользуемых земель, который в 2013 году суммарно составлял почти 3,4 млн га или около 14,5 % от площади земель сельскохозяйственного назначения [2, 8]. Другими словами, в масштабах Южноуральского региона каждый седьмой гектар сельскохозяйственных земель не используется!

Развитие крупных городов, в том числе за счёт строительства на землях сельскохозяйственного назначения, приводит к миграции сельского населения и, как следствие, к неиспользованию сельскохозяйственных земель, увеличению брошенных сельских населённых пунктов [2]. Безусловно, это не единственная причина образования неиспользуемых земель. Формирование невостребованного земельного фонда обусловлено целым комплексом проблем, среди которых сокращение посевов невостребованных культур; снижение поголовья крупного рогатого скота – как

результат невостребованности площадей занятых ранее под кормовые угодья и т.д. Наибольшие ареалы неиспользуемых и заброшенных земель в постсоветский период именно там, где наблюдалась наименьшая рентабельность производства, более низкая урожайность [10].

Ввиду того, что степная зона покрывает около 44 % территории Южноуральского региона, целесообразно проведение исследования по оценке антропогенной нагрузки на степные ландшафты. Актуальным является проведение анализа природно-климатических и антропогенных факторов с целью выявления наиболее уязвимых ландшафтных участков в разрезе муниципальных образований, территориально включающих южноуральскую степную зону.

В настоящее время федеральной службой государственной статистики, министерством природных ресурсов и экологии, другими государственными службами в России формируется статистическая база показателей, характеризующих процессы использования природных ресурсов и антропогенного воздействия на окружающую среду в разрезе субъектов РФ и их

муниципальных образований (МО). Так например, «База данных показателей муниципальных образований» Росстата [1] по большинству МО содержит основные абсолютные и относительные показатели, отражающие степень воздействия хозяйственной деятельности на природные комплексы и антропогенную нагрузку на ландшафты.

Конечно, при помощи подобных информационных ресурсов в разрезе муниципальных районов можно лишь примерно оценить интенсивность антропогенной нагрузки на ландшафты, основываясь на таких региональных показателях, как общая плотность населения, плотность выбросов вредных веществ в атмосферу, распаханность территории, плотность и доля городского и сельского населения и т.д. Однако даже использование открытых данных Росстата позволяет определить интегральный показатель (объединяющий вышеперечисленные), указывающий в разрезе муниципальных образований степень интенсивности антропогенной нагрузки и очаги интенсивного риска (рис. 6).

Следующая задача развития настоящих исследований нами видится в определении интенсивности нагрузки на различные ландшафты Южноуральского мезорегиона в зависимости от освоенности территории промышленным или сельскохозяйственным производством с учётом их устойчивости к антропогенным и техногенным изменениям. Данные исследования необходимо проводить как в разрезе муниципальных образований, так и в рамках субрегиональных природно-хозяйственных систем.

Работа выполнена в рамках темы «Изучение историко-географических и социально-экономических аспектов освоения и развития степного пространства России и Евразии» и по проекту «Природная среда Южного Урала в условиях изменяющегося климата и возрастающего антропогенного воздействия» комплексной программы Уральского отделения РАН».

Список литературы

1. База данных показателей муниципальных образований [Электронный ресурс]; URL: http://www.gks.ru/free_doc/new_site/bd_munst/munst.htm.
2. Доклад о состоянии и использовании земель сельскохозяйственного назначения. – М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2014. – 176 с.
3. Российский статистический ежегодник. 2011: Стат. сб. – М.: Росстат, 2011. – 795 с.
4. Статистический сборник. Регионы России. Социально-экономические показатели. – М.: Росстат, 2014. – 900 с.
5. Чибилёв А.А. (мл.) Административно-территориальная характеристика степной зоны РФ // Степи Северной Евразии / Материалы VII международного симпозиума – Оренбург: ИС УрО РАН, 2015. – С. 920–924.
6. Чибилёв А.А. (мл.) Возобновляемые стратегические природные ресурсы устойчивого развития регионов степной зоны РФ // Успехи современного естествознания. – М.: Изд-во АЕ, 2016. – № 3. – С. 214–219.
7. Чибилёв А.А. (мл.) Интегральная оценка современного состояния и изменений природной среды степных регионов России на основе геоинформационного анализа и картографирования // Проблемы региональной экологии. – М.: ИД «Камертон», 2014. – № 5. – С. 7–11.
8. Чибилёв А.А. (мл.) Картографический анализ образования неиспользуемых земель в степной зоне Российской Федерации // Географический вестник. – Пермь: Изд-во ПГНИУ, 2016. – № 2 (37). – С. 40–49.
9. Чибилёв А.А. О понятии Южный Урал (Южноуральский регион) и его естественных природных рубежах / Известия Оренбургского отделения Русского географического общества. – Оренбург, 2007. – Вып. 3. – С. 44–49.
10. Шагайда Н.И. Понуждение к использованию сельскохозяйственных земель: выбор приоритета земельной политики и качество институтов / Международный сельскохозяйственный журнал. – М., 2014. – № 5. – С. 18–26.