
УСПЕХИ СОВРЕМЕННОГО ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ

№ 3

2018

ISSN 1681-7494

Двухлетний импакт-фактор РИНЦ – 0,746

Пятилетний импакт-фактор РИНЦ – 0,601

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

Чернева Ирина Николаевна, к.с.-х.н.

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
Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий,
и массовых коммуникаций.

Свидетельство – **ПИ № ФС 77-63398.**

Все публикации рецензируются. Доступ к электронной версии журнала бесплатен.

Двухлетний импакт-фактор РИНЦ – 0,746.

Пятилетний импакт-фактор РИНЦ – 0,601.

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

Журнал включен в Реферативный журнал и Базы данных ВИНТИ.

Учредитель, издательство и редакция:
ИД «Академия Естествознания»

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

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

Подписано в печать – 23.03.2018
Дата выхода номера – 23.04.2018

Формат 60x90 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.
Распространение по свободной цене.
Усл. п.л. 18,38
Тираж – 1000 экз. Заказ. УСЕ/3-2018
Подписной индекс 70062

© ИД «Академия Естествознания»

СОДЕРЖАНИЕ

Химические науки (02.00.00)

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МОЛЕКУЛЯРНЫХ РЕФРАКЦИЙ УГЛЕРОД-УГЛЕРОДНЫХ ХИМИЧЕСКИХ СВЯЗЕЙ <i>Гладченко Д.В., Путинцев Н.М., Долгопятова Н.В., Путинцев Д.Н.</i>	7
КВАНТОВО-ХИМИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ РЕАКЦИИ ЦИКЛОКОНДЕНСАЦИИ АРИЛПРОИЗВОДНЫХ 4,5,6,7-ТЕТРАГИДРО-1-БЕНЗО[4,5]ТИЕНО[2,3-D]ПИРИМИДИН-4-ОНА <i>Глушко А.А., Базганов А.Ю., Гендугов Т.А., Кодониди И.П., Щербакова Л.И., Бандура А.Ф.</i>	13
ВЛИЯНИЕ БИНАРНЫХ АНТИОКСИДАНТОВ НА ПРОЦЕСС МЕТАТЕЗИСНОЙ ПОЛИМЕРИЗАЦИИ ДИЦИКЛОПЕНТАДИЕНА И ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОЛИМЕРА <i>Заманова М.К., Бондалетов В.Г., Земляков Д.И., Та К.К., Бондалетова Л.И.</i>	19
ПЕННЫЕ И ЭМУЛЬСИОННЫЕ ПЛЕНКИ, СТАБИЛИЗИРОВАННЫЕ ЧАСТИЦАМИ МИКРОТАЛЬКА <i>Нуштаева А.В.</i>	28
ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ДЕГРАДАЦИЯ СУПЕРИОНИКА <i>Рахымбеков А.Ж., Идрисова А.Е.</i>	33
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СИЛИКАТНОГО СОРБЕНТА ДЛЯ ОЧИСТКИ ВОДНЫХ РАСТВОРОВ ОТ ИОНОВ Zn ²⁺ <i>Ярусова С.Б., Гордиенко П.С., Буравлев И.Ю., Жевтун И.Г., Нарбутович А.А.</i>	39

Сельскохозяйственные науки (06.01.00, 06.03.00)

САНИТАРНОЕ СОСТОЯНИЕ ПРИДОРОЖНЫХ ЗАЩИТНЫХ ЛЕСНЫХ ПОЛОС В УСЛОВИЯХ СЕВЕРНОГО КАЗАХСТАНА <i>Здорнов И.А., Нагимов З.Я., Капралов А.В.</i>	44
РАЗРАБОТКА МОДЕЛЕЙ РОСТА ДРЕВОСТОЕВ В ЦЕЛЯХ АКТУАЛИЗАЦИИ МАТЕРИАЛОВ ЛЕСОУСТРОЙСТВА <i>Зубова С.С., Ворожнин В.С.</i>	52
ВЛИЯНИЕ ОРОШЕНИЯ НА ФОРМИРОВАНИЕ ЭНТОМОКОМПЛЕКСОВ АГРОЛАНДШАФТОВ В НИЖНЕМ ПОВОЛЖЬЕ <i>Комарова О.П.</i>	58
ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ И РЕЗУЛЬТАТЫ СЕЛЕКЦИИ ДРЕВЕСНЫХ ВИДОВ ДЛЯ ЗАЩИТНОГО ЛЕСОРАЗВЕДЕНИЯ В ЗАСУШЛИВЫХ УСЛОВИЯХ ЮГО-ВОСТОКА ЕВРОПЕЙСКОЙ РОССИИ <i>Крючков С.Н., Морозова Е.В., Иозус А.П.</i>	65
СПЕКТРАЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВОДОРАСТВОРИМОГО ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА ОРГАНО-МИНЕРАЛЬНЫХ СУБСТРАТОВ РАЗЛИЧНОГО СОСТАВА <i>Мальцева А.Н., Пинский Д.Л.</i>	70
ВЫДЕЛЕНИЕ НОВОГО ИСХОДНОГО МАТЕРИАЛА В СЕЛЕКЦИИ СОРТОВ СЛИВЫ НА САМОПЛОДНОСТЬ <i>Солонкин А.В., Дубравина И.В.</i>	76
ОСОБЕННОСТИ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ЛЕСНОЙ ПОДСТИЛКИ ПОСЛЕ ПОЖАРА НА КЛАСТЕРНОМ УЧАСТКЕ «ПОДЗАПЛОТЫ» ЗАПОВЕДНИКА «ХАКАССКИЙ» <i>Шуркина В.В.</i>	82

Науки о Земле (25.00.00)

О СОВЕРШЕНСТВОВАНИИ ПУТЕЙ ФОРМИРОВАНИЯ СЕЙСМИЧЕСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЙ ОКОЛОСКВАЖИННОГО ПРОСТРАНСТВА ПО ДАННЫМ СКВАЖИННЫХ СЕЙСМИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ <i>Бондарев В.И., Крылатков С.М., Крылаткова Н.А.</i>	87
---	----

ОБОСНОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ ЦИЛИНДРИЧЕСКОГО ЛИНЕЙНОГО ВЕНТИЛЬНОГО ДВИГАТЕЛЯ В НЕФТЕДОБЫЧНЫХ АГРЕГАТАХ <i>Любимов Э.В., Шулаков Н.В., Шутемов С.В.</i>	94
ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ОЧИСТКИ ПО ЖЕЛЕЗУ ОБЩЕМУ ПОДЗЕМНЫХ ВОД ИНФИЛЬТРАЦИОННЫХ ВОДОЗАБОРОВ ЮГО-ВОСТОКА БЕЛАРУСИ <i>Макаров Д.В., Валеева Э.Р., Вострова Р.Н., Кантор Е.А.</i>	101
СЛЕДЫ ПОХОЛОДАНИЙ НА ЮГЕ САХАЛИНА В ПОЗДНЕЛЕДНИКОВЬЕ И АТЛАНТИЧЕСКОМ ПЕРИОДЕ ГОЛОЦЕНА <i>Микишин Ю.А., Гвоздева И.Г.</i>	107
ГЕОМОРФОМЕТРИЧЕСКИЙ ПОДХОД В ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ СЕВЕРНЫХ ТЕРРИТОРИЙ СТРАНЫ <i>Полякова Е.В.</i>	117
МЕТОД ВЫЯВЛЕНИЯ ЗОН С ОСТАТОЧНЫМИ ЗАПАСАМИ НЕФТИ <i>Уваров Ф.В.</i>	123
ПЕРЕМАГНИЧИВАНИЕ ГОРНЫХ РУД <i>Урусова Б.И., Лайпанов У.М.</i>	128
Научный обзор	
Науки о Земле	
СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ СЛЮДЯНОЙ ОБЛАСТИ. ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ <i>Шишелова Т.И., Житов В.Г.</i>	133
Сельскохозяйственные науки	
СОВРЕМЕННАЯ ДИНАМИКА ЛЕСНЫХ ПОЖАРОВ НА ПРИГРАНИЧНЫХ ТЕРРИТОРИЯХ РОССИИ, КИТАЯ И МОНГОЛИИ <i>Мишина Н.В.</i>	140

CONTENTS
Chemical sciences (02.00.00)

DETERMINATION OF MOLECULAR REFRACTIONS OF CARBON – CARBON CHEMICAL BONDS <i>Gladchenko D.V., Putintsev N.M., Dolgopyatova N.V., Putintsev D.N.</i>	7
QUANTUM-CHEMICAL STUDY OF 4,5,6,7-TETRAHYDRO-1-BENZO[4,5]THIENO[2,3-D] PYRIMIDIN-4-ONE ARYL DERIVATIVES CYCLOCONDENSATION REACTION <i>Glushko A.A., Bazganov A.Yu., Gendugov T.A., Kodonidi I.P., Scherbakova L.I., Bandura A.F.</i>	13
INFLUENCE OF BINARY ANTIOXIDANTS ON THE PROCESS OF METATESIS POLYMERIZATION OF DICYCLOPENTADIENE AND PHYSICO-MECHANICAL CHARACTERISTICS OF POLYMER <i>Zamanova M.K., Bondaletov V.G., Zemlyakov D.I., Ta K.K., Bondaletova L.I.</i>	19
FOAM AND EMULSION FILMS STABILIZED WITH MICROTALC PARTICLES <i>Nushtaeva A.V.</i>	28
ELECTRICAL DEGRADATION OF SUPERIONIC <i>Rakhymbekov A.Zh., Idrisova A.E.</i>	33
USING OF SILICATE SORBENT FOR AQUEOUS SOLUTIONS PURIFICATION FROM ZINC IONS Zn ²⁺ <i>Yarusova S.B., Gordienko P.S., Buravlev I.Yu., Zhevtun I.G., Narbutovich A.A.</i>	39

Agricultural sciences (06.01.00, 06.03.00)

SANITARY STATE OF ROADSIDE PROTECTIVE FOREST STRIPS UNDER NORTHERN KAZAKHSTAN CONDITIONS <i>Zornov I.A., Nagimov Z.Ya., Kapralov A.V.</i>	44
THE ACTUALIZATION OF FOREST INVENTORY DATA BASE BY THE DEVELOPMENT OF FOREST GROWTH MODELS <i>Zubova S.S., Vorozhnin V.S.</i>	52
IRRIGATION INFLUENCE ON ENTOMOLOGICAL COMPLEX FORMATION OF AGROLANDSCAPES IN LOWER VOLGA AREA <i>Komarova O.P.</i>	58
THE MAIN DIRECTIONS AND RESULTS OF VARIETAL PLANT BREEDING OF THE TYPES OF TREES AND SHRUBS FOR PROTECTIVE AFFORESTATION IN THE DRY CONDITIONS OF THE SOUTH-EAST OF EUROPE RUSSIA <i>Kryuchkov S.N., Morozova E.V., Iozus A.P.</i>	65
SPECTRAL CHARACTERISTICS OF THE WATER-SOLUBLE ORGANIC MATTER OF ORGANO-MINERAL SUBSTRATES OF VARIOUS COMPOSITION <i>Maltseva A.N., Pinskiy D.L.</i>	70
SELECTION OF A NEW INITIAL MATERIAL IN THE BREEDING OF PLUM VARIETIES AT SELF-PRODUCTION <i>Solonkin A.V., Dubravina I.V.</i>	76
THE FEATURES RECOVERY OF FOREST FLOOR AFTER A FIRE ON THE CLUSTER SITE «PODZAPLOTY» OF THE RESERVE KHAKASSKY <i>Shurkina V.V.</i>	82

Earth sciences (25.00.00)

ON IMPROVEMENT OF WAYS FORMATION OF SEISMIC IMAGES OF THE NEAR-WELBORE ON THE DATA OF BOREHOLE SEISMIC OBSERVATIONS <i>Bondarev V.I., Krylatkov S.M., Krylatkova N.A.</i>	87
---	----

JUSTIFICATION OF CYLINDRICAL LINEAR ELECTRIC MOTOR AS A PART OF OIL PRODUCTION UNIT <i>Lyubimov E.V., Shulakov N.V., Shutemov S.V.</i>	94
EVALUATION OF EFFICIENCY OF PURIFICATION ON THE IRON OF GENERAL UNDERGROUND WATER OF INFLATERAL WATER RESERVOIRS OF THE SOUTH-EAST OF BELARUS <i>Makarov D.V., Valeeva E.R., Vostrova R.N., Kantor E.A.</i>	101
TRACES OF COOLING IN THE SOUTHERN SAKHALIN IN THE LATE-GLACIAL AND ATLANTIC PERIOD OF HOLOCENE <i>Mikishin Yu.A., Gvozdeva I.G.</i>	107
GEOMORPHOMETRIC APPROACH IN GEOECOLOGICAL RESEARCH OF THE NORTHERN TERRITORIES OF THE COUNTRY <i>Polyakova E.V.</i>	117
THE METHOD OF IDENTIFICATION OF THE AREAS WITH THE RESIDUAL OF PETROLEUM <i>Uvarov F.V.</i>	123
REMAGNETIZATION OF MINING ORES <i>Urusova B.I., Laypanov U.M.</i>	128
Scientific review	
Earth sciences	
MODERN CONDITION OF THE MICA SPHERE. PROBLEMS AND PROSPECTS <i>Shishelova T.I., Zhitov V.G.</i>	133
Agricultural sciences	
CURRENT DYNAMICS OF FOREST FIRES AT THE BORDER TERRITORIES OF RUSSIA, CHINA AND MONGOLIA <i>Mishina N.V.</i>	140

УДК 544.144.9

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МОЛЕКУЛЯРНЫХ РЕФРАКЦИЙ УГЛЕРОД-УГЛЕРОДНЫХ ХИМИЧЕСКИХ СВЯЗЕЙ

¹Гладченко Д.В., ¹Путинцев Н.М., ¹Долгопятова Н.В., ²Путинцев Д.Н.

¹ФГБОУ ВО «Мурманский государственный технический университет», Мурманск,
e-mail: glagchenkodmitriy@gmail.com, putintsevnm@mstu.edu.ru, iranion@yandex.ru;

²Институт системного анализа ФИЦ ИУ РАН, Москва, e-mail: 2001dnp@mail.ru

Рефрактометрия используется как предварительное исследование к спектроскопическим методам определения структуры молекул. При этом предполагается, что молекулярная рефракция может быть представлена в виде суммы молекулярных рефракций химических связей, образующих молекулу. В статье предлагается оригинальный метод расчета значений молекулярных рефракций углерод-углеродных химических связей. Метод исследования основывается на теоретически обоснованном уравнении молекулярной рефракции R_M . Это уравнение отличается от формулы Лоренца – Лоренца тем, что в его левой части нет знаменателя $(n^2 + 2)$. Значения молекулярных рефракций вещества и химических связей рассчитываются по справочным данным. Расчет значений R_M различных по природе веществ ведется для 20 °С и для желтой линии натрия (589,26 нм). Учет температуры необходим для стандартизации энергетического состояния молекул. Для классификации химических связей используется понятие гибридизации атомов углерода. Гибридизация атомов углерода позволяет частично учесть ближнее окружение атомов данной связи и избавиться от «экзальтации», использующихся в рефрактометрическом методе. Метод аддитивности молекулярной рефракции вещества, рассматривающийся в работе, учитывает гибридизацию атомов углерода, участвующих в химических связях. Рассчитаны значения молекулярных рефракций 14 типов химических связей ($C_X - C_Y$). Показано, что абсолютные значения молекулярных рефракций этих связей отличаются от соответствующих значений, приведенных в справочной литературе. Показано, что данное отличие обусловлено не только отсутствием члена $(n^2 + 2)$ в уравнении для R_M , но и в однозначности величин молекулярных рефракций связей x_0 , x_1 , x_2 и x_3 , использующихся в нашем методе.

Ключевые слова: поляризация, рефракция, молекулярная рефракция вещества, метод аддитивности, показатель преломления, электронная поляризуемость молекулы

DETERMINATION OF MOLECULAR REFRACTIONS OF CARBON – CARBON CHEMICAL BONDS

¹Gladchenko D.V., ¹Putintsev N.M., ¹Dolgopyatova N.V., ²Putintsev D.N.

¹Murmansk State Technical University, Murmansk, e-mail: glagchenkodmitriy@gmail.com,
putintsevnm@mstu.edu.ru, iranion@yandex.ru;

²Institute for Systems Analysis, FRC CSC RAS, Moscow, e-mail: 2001dnp@mail.ru

Refractometry is used as a preliminary study to spectroscopic methods for determining the structure of molecules. It is assumed that the molecular refraction can be represented as a sum of molecular refractions of the chemical bonds forming the molecule. The article proposes an original method for calculating the values of molecular refractions of carbon-carbon chemical bonds. The method of investigation is based on the theoretically grounded equation of molecular refraction of R_M . This equation differs from the Lorentz-Lorentz formula in that there is no denominator $(n^2 + 2)$ in its left-hand side. The values of molecular refractions of the substance and chemical bonds are calculated from reference data. The calculation of R_M values of different substances is carried out for 20 °C and for the yellow sodium line (589.26 nm). Temperature accounting is necessary to standardize the energy state of molecules. The concept of hybridization of carbon atoms is used to classify chemical bonds. Hybridization of carbon atoms allows us to partially take into account the near environment of the atoms of a given bond and to get rid of the «exaltations» used in the refractometric method. The method of additivity of molecular refraction of matter, considered in the work, takes into account the hybridization of carbon atoms participating in chemical bonds. The values of molecular refractions of 14 types of chemical bonds ($C_X - C_Y$) are calculated. It is shown that the absolute values of the molecular refractions of these bonds differ from the corresponding values given in the reference literature. It is shown that this difference is due not only to the absence of the term $(n^2 + 2)$ in the equation for R_M , but also to the uniqueness of the molecular refraction values of the x_0 , x_1 , x_2 and x_3 bonds used in our method.

Keywords: polarization, refraction, molecular refraction of matter, additivity method, refractive index, electron polarizability of a molecule

В настоящее время рефрактометрия используется как предварительное исследование к спектроскопическим методам определения структуры молекул [1–3]. При этом предполагается, что молекулярная рефракция может быть представлена в виде суммы молекулярных рефракций химических связей R_{Mi} (X – Y), образующих молекулу.

Вклады в молекулярную рефракцию вещества определяются из формулы (1) и табулированы [4, 5]

$$R_M^* = \frac{(n_v^2 - 1)}{(n_v^2 + 2)} \frac{M}{d_4} = \frac{N_A}{3\epsilon_0} \alpha_{эл} \quad (1)$$

где R_M^* – молекулярная рефракция исследуемого вещества, n_v – абсолютный показатель

преломления на частоте ν , $\alpha_{\text{эл}}$ – среднее значение электронной поляризуемости молекулы, d_4 – плотность вещества, $N_A = 6,022 \times 10^{23}$ моль⁻¹, M – молярная масса, $\epsilon_0 = 8,85419 \times 10^{-12}$ Ф/м.

Цель исследования

В работе поставлена задача модернизировать метод аддитивности молекулярной рефракции вещества. В [6] показано, что молекулярная рефракция R_M должна определяться из выражения

$$R_M = (n_v^2 - 1) \frac{M}{d_4} = \frac{N_A}{\epsilon_0} \alpha_{\text{эл}} \quad (2)$$

Из левых частей формул (1) и (2) следует, что величина отношения R_M / R_M^* равна $(n_v^2 + 2)$. Очевидно, что суммарное значение молекулярных рефракций химических связей анализируемых молекул также будет отличаться в $(n_v^2 + 2)$ раза. В случае разреженного газа величина $(n_v^2 + 2)$ примерно равна 3, поэтому значения R_M^* незначительно отличаются от значений R_M , что позволяет использовать выражение (1) для оценки величины $\alpha_{\text{эл}}$ и в настоящее время. В плотных средах величина отношения $(n_v^2 + 2)/3$ заметно больше 1. Например, у воды на линии насыщения при 20 °C величина $(n_v^2 + 2)/3$ в жидкой фазе равна 1,25926, а в газовой фазе – 1,000004 [7]. Естественно, что в плотных средах формула Лоренца – Лоренца непригодна для расчета значений $\alpha_{\text{эл}}$. Модифицированные формулы Лоренца – Лоренца [7] уменьшают погрешность расчета показателей преломления вещества, но не дают точных определений величины электронной поляризуемости молекул.

Материалы и методы исследования

В настоящей работе для расчета значений R_M вещества и химических связей используется формула (2). Значения R_M рассчитываются по справочным данным работ [4, 8]. Расчет значений R_M различных по природе веществ ведется для 20 °C и для желтой линии натрия (589,26 нм). Учет температуры необходим для стандартизации энергетического состояния молекул.

Для классификации химических связей используется понятие гибридизации атомов углерода. Гибридизация атомов углерода позволяет частично учесть ближнее окружение атомов данной связи и избавиться от «экзальтации», использующихся в рефрактометрическом методе. Естественно,

что строгой аддитивностью данный метод не обладает, так как он не учитывает все «ближнее» окружение данной связи, и поэтому он применяется для получения предварительной информации о структуре молекулы.

Из формулы (2) следует, что абсолютный показатель преломления определяется величиной электронной поляризуемости молекул [9, 10]. Следовательно, формула (2) наиболее непосредственным образом связывает макроскопические свойства вещества (показатель преломления и плотность) с поляризуемостью молекулы.

Результаты исследования и их обсуждение

Для расчета значений R_M^{20} химических связей представим молекулярную рефракцию воды в виде суммы молекулярных рефракций связей (O–H):

$$R_M = 2R_M^{20}(\text{O–H}) = 14,010 \times 10^{-6} \text{ м}^3/\text{моль}.$$

Обозначая $R_M^{20}(\text{O–H})$ как x_0 , получаем $x_0 = R_M^{20}(\text{O–H}) = 7,005 \times 10^{-6} \text{ м}^3/\text{моль}$. Используя значения n_v и d_4 молекул тетрахлорметана (CCl_4 : $n_v = 1,46018$, $d_4 = 1594,03$ кг/м³, $M = 153,823 \times 10^{-3}$ кг/моль [8]) и дихлорметана (CH_2Cl_2 : $n_v = 1,42416$, $d_4 = 1325,60$ кг/м³, $M = 84,930 \times 10^{-3}$ кг/моль [8]), находим: $x_1 = 5,627 \times 10^{-6} \text{ м}^3/\text{моль}$. Из данных по n_v и d_4 гексана и $x_1 = 5,627 \times 10^{-6} \text{ м}^3/\text{моль}$ определяем величину рефракции связи ($\text{C}_{\text{sp}^3} - \text{C}_{\text{sp}^3}$): $x_3 = R_M^{20}(\text{C}_{\text{sp}^3} - \text{C}_{\text{sp}^3}) = 7,516 \times 10^{-6} \text{ м}^3/\text{моль}$. Из данных по n_v и d_4 этанола ($R_M = 49,822 \times 10^{-6} \text{ м}^3/\text{моль}$) и ранее найденных значений x_0 , x_1 и x_3 определяем величину $x_2 = R_M^{20}(\text{C}_{\text{sp}^3} - \text{O}) = 7,166 \times 10^{-6} \text{ м}^3/\text{моль}$.

Далее, обозначая молекулярные рефракции химических связей, входящих в уравнения для R_M ацетона (62,201), ацетальдегида (43,703), метилацетата (67,673), ацетилхлорида (65,926), тетрахлорметана (129,504), гексена-1 (115,797), муравьиной кислоты (33,230), диметилкарбоната (73,592) и 2-метил-1-бутена ($96,877 \times 10^{-6} \text{ м}^3/\text{моль}$), как x_4 , x_5 , x_6 , x_7 , x_{16} и x_{26} соответственно, составляем систему линейных уравнений. Для полученной переопределенной системы уравнений методом наименьших квадратов находим решение минимальной нормы при $x_0 = 7,005$; $x_1 = 5,627$; $x_2 = 7,166$ и $x_3 = 7,516 \times 10^{-6} \text{ м}^3/\text{моль}$, а полученные значения заносим в табл. 1:

$$x_4 = R_M(\text{C}_{\text{sp}^2} - \text{O}) = 8,021;$$

$$x_5 = R_M(\text{C}_{\text{sp}^2} = \text{O}) = 9,583;$$

$$x_6 = R_M(C_{sp^2} - H) = 8,142; x_7 = R_M(C_{sp^3} - C_{sp^2}) = 9,364;$$

$$x_{16} = R_M(C_{sp^2} = C_{sp^2}) = 9,122; x_{26} = R_M(C_{sp^2} - Cl) = 27,312 \times 10^{-6} \text{ м}^3/\text{моль}.$$

Расчеты были сделаны в программном пакете MATLAB.

Из молекулярной рефракции этилаллена (C_5H_8 : $M = 68,120 \times 10^{-3}$ кг/моль, $n_D = 1,42091$, $d_4 = 692,57$ кг/м³ [4])

$$R_M = 3x_6 + 2x_{37} + x_7 + 5x_1 + x_3 = 100,226 \times 10^{-6} \text{ м}^3/\text{моль}$$

по известным x_1 , x_3 , x_6 и x_7 находим величину $x_{37} = R_M(C_{sp^2} = C_{sp}) = 15,392 \times 10^{-6} \text{ м}^3/\text{моль}$. Для нахождения значений $x_{13} = R_M(C_{sp} - C_{sp^3})$, $x_{15} = R_M(C_{sp} \equiv C_{sp})$, $x_{24} = R_M(C_{sp^2} - C_{sp^2})$, $x_{24}^{comp} = R_M(C_{sp^2} - C_{sp^2})$, $x_{27} = R_M(C_{sp^2} - C_{sp})$, $x_{30} = R_M(C_{ar} - C_{sp})$ и $x_{32} = R_M(C_{sp} - C_{sp})$ требуется определить молекулярные рефракции связей $x_8 = R_M(C_{ar} - C_{ar})$, $x_9 = R_M(C_{ar} - H)$ и $x_{10} = R_M(C_{ar} - C_{sp^3})$. Величину молекулярной рефракции x_{10} ($4,128 \times 10^{-6} \text{ м}^3/\text{моль}$) определяем из уравнения для *n*-ксилола, а x_8 и x_9 находим из системы уравнений для бензола (C_6H_6), пиридина (C_5H_5N) и хинолина (C_9H_7N):

$$(6x_8 + 6x_9) = 111,381 \times 10^{-6} \text{ м}^3/\text{моль} - \text{бензол},$$

$$(4x_8 + 5x_9 + 2x_{17}) = 103,027 \times 10^{-6} \text{ м}^3/\text{моль} - \text{пиридин},$$

$$(9x_8 + 7x_9 + 2x_{17}) = 194,636 \times 10^{-6} \text{ м}^3/\text{моль} - \text{хинолин}.$$

Отсюда имеем

$$x_8 = R_M^{20}(C_{ar} - C_{ar}) = 18,160 \times 10^{-6} \text{ м}^3/\text{моль},$$

$$x_9 = R_M^{20}(C_{ar} - H) = 0,404 \times 10^{-6} \text{ м}^3/\text{моль},$$

$$x_{17} = R_M^{20}(C_{ar} - N_{ar}) = 14,184 \times 10^{-6} \text{ м}^3/\text{моль}.$$

Из молекулярных рефракций R_M акрилонитрила C_3H_3N (61,563), фенилацетилена C_8H_6 (153,013), пропаргилового эфира уксусной кислоты $C_5H_6O_2$ (99,324), тетрилового альдегида C_4H_4O (80,261), бензилцианида C_8H_7N (152,002), нитрил амилпропиоловой кислоты $C_8H_{11}N$ (159,189), бензонитрила C_6H_5N (136,958), циановодорода HCN (23,288) и 5-децина $C_{10}H_{18}$ ($190,911 \times 10^{-6} \text{ м}^3/\text{моль}$) составляем систему линейных уравнений. Решаем ее методом наименьших квадратов, используя ранее найденные значения $x_0 - x_9$ и x_{16} . Полученные значения (x_{13} , x_{15} , x_{24} , x_{24}^{comp} , $x_{27} - x_{30}$ и x_{32}) заносим в табл. 1.

Таблица 1

Значения молекулярных рефракций углерод-углеродных связей (C – C) при 20 °C

Связь	x_i	$R_M^{20}, 10^{-6} \text{ м}^3/\text{моль}$	
		Настоящая работа	Рефракции по Фогелю [4]
1	2	3	4
$(C_{sp^3} - C_{sp^3})$	x_3	7,516	$R_M^{*20}(C - C) = 1,296$
$(C_{sp^3} - C_{sp^2})$	x_7	9,364	То же
$(C_{sp^3} - C_{sp})$	x_{13}	7,148	То же
$(C_{sp^3} - C_{ar})$	x_{10}	4,128	То же
$(C_{sp^2} - C_{sp^2})$	x_{24}	12,309	То же
$(C_{sp^2} - C_{sp^2})$	x_{24}^{comp} (сопряженные диены)	20,308	То же

Окончание табл. 1			
1	2	3	4
$(C_{sp^2} = C_{sp^2})$	x_{16}	9,122	4,17
$(C_{sp^2} - C_{sp})$	x_{27}	10,315	$R_M^{*20} (C - C) = 1,296$
$(C_{sp^2} - C_{ar})$	x_{14}	11,414	То же
$(C_{sp^2} = C_{sp})$	x_{37}	15,392	–
$(C_{sp} \text{ } ^\circ C_{sp})$	x_{15}	27,371	$R_M^{*20} (C \equiv C)$: 5,87 (концевая), 6,24 (не концевая)
$(C_{ar} - C_{ar})$	x_8	18,160	2,688; 2,69
$(C_{sp} - C_{ar})$	x_{30}	9,986	$R_M^{*20} (C - C) = 1,296$
$(C_{sp} - C_{sp})$	x_{32}	15,069	$R_M^{*20} (C - C) = 1,296$

В табл. 2 приведены значения молекулярных рефракций химических связей атома углерода с другими атомами (X).

Таблица 2

Значения связей $R_M^{*20} (C - X)$ при 20 °С [4]

Связь	$R_M^{*20} \times 10^6 \text{ м}^3/\text{моль}$	Связь	$R_M^{*20} \times 10^6 \text{ м}^3/\text{моль}$
(C – H)	1,676	(N – H)	1,76
(C – Cl)	6,51	(N – O)	2,43
(C – O), эфиры	1,54	(O – H), спирты	1,66
(C – O), ацетали	1,46	(O – H), кислоты	1,80
(C = O)	3,32	(C – C), циклопропан	1,50
(C = O), метилкетон	3,49	(C – C), циклобутан	1,38
(C – N)	1,57	(C – C), циклопентан	1,27
(C = N)	3,75	(C – F)	1,55
(C \equiv N)	4,82	(C – Br)	9,39

Примечание. Величина $R_M^{*20} (O - H)$ в воде из формулы (2) равна $1,854 \times 10^{-6} \text{ м}^3/\text{моль}$.

Для сравнения величин молярных рефракций, найденных по данным табл. 1 (R_M^{20}) и табл. 1; 2 ($R_M^{*20} \times (n_D^2 + 2)$), рассчитаем значения молекулярных рефракций исследуемых веществ и занесем их в табл. 3.

Таблица 3

Значения молекулярных рефракций некоторых веществ

Вещество	Молекулярная рефракция, $10^{-6} \text{ м}^3/\text{моль}$		$(n_D^2 + 2)$	$R_M^{20 \text{ экс}}$ [4, 8]
	R_M^{20}	$R_M^{*20} \times (n_D^2 + 2)$		
1	2	3	4	5
CCl_4 , тетрахлорметан	$4R(C_{sp^3} - \text{Cl}) = 109,248$	107,601	4,132126	109,249
CH_2Cl_2 , дихлорметан	$2R(C_{sp^3} - \text{H}) + 2R(C_{sp^3} - \text{Cl}) = 65,878$	65,950	4,028232	65,878
C_6H_{14} , гексан	$14R(C_{sp^3} - \text{H}) + 5R(C_{sp^3} - C_{sp^3}) = 116,358$	116,489	3,890240	116,358

Окончание табл. 3				
1	2	3	4	5
C_7H_{16} , гептан	$16R(C_{sp^3} - H) + 6R(C_{sp^3} - C_{sp^3}) = 135,128$	135,792	3,925544	135,638
CH_3OH , метанол	$3R(C_{sp^3} - H) + R(C_{sp^3} - O) + R(O - H) = 31,052$	30,976	3,764646	30,971
C_2H_5OH , этанол	$5R(C_{sp^3} - H) + R(C_{sp^3} - O) + R(O - H) +$ $+R(C_{sp^3} - C_{sp^3}) = 49,822$	49,618	3,853492	49,822
$C_4H_{10}O$, этоксизетан	$10R(C_{sp^3} - H) + R(C_{sp^3} - C_{sp^3}) +$ $+2(C_{sp^3} - O) = 85,634$	85,904	3,829527	86,162
$C_4H_{10}O_2$, 1,2-диметоксиэтан	$10R(C_{sp^3} - H) + R(C_{sp^3} - C_{sp^3}) +$ $+4(C_{sp^3} - O) = 92,450$	92,433	3,868142	92,029
C_3H_6O , пропанон	$6R(C_{sp^3} - H) + R(C_{sp^2} - O) +$ $+2(C_{sp^3} - C_{sp^2}) = 62,073$	62,067	3,846039	62,201
$C_3H_5O_2$, 2-оксопропанол (ацетилкарбинол)	$5R(C_{sp^3} - H) + R(C_{sp^3} - O) + R(O - H) +$ $+2R(C_{sp^3} - C_{sp^2}) + R(C_{sp^2} = O) = 70,617$	71,092	4,043470	71,416
$C_2H_4O_2$, этановая кислота	$3R(C_{sp^3} - H) + R(C_{sp^3} - C_{sp^2}) + (C_{sp^2} - O) +$ $+R(O - H) + R(C_{sp^2} = O) = 50,854$	50,755	3,882110	50,472
$C_3H_6O_2$, пропановая кислота	$5R(C_{sp^3} - H) + R(C_{sp^3} - C_{sp^3}) +$ $+R(C_{sp^2} - O) + R(C_{sp^3} - C_{sp^2}) +$ $+R(C_{sp^2} = O) + R(O - H) = 69,624$	69,557	3,924879	69,070
$C_3H_6O_2$, метилацетат	$6R(C_{sp^3} - H) + R(C_{sp^3} - O) + R(C_{sp^2} - O) +$ $+2R(C_{sp^3} - C_{sp^2}) + R(C_{sp^2} = O) = 67,896$	67,789	3,853410	67,673
$C_4H_8O_2$, пропилформат	$7R(C_{sp^3} - H) + 2R(C_{sp^3} - C_{sp^3}) +$ $+R(C_{sp^3} - O) + R(C_{sp^2} - O) +$ $+R(C_{sp^2} = O) + R(C_{sp^2} - H) = 87,175$	87,308	3,895936	87,175
C_3H_8O , пропанол-1	$7R(C_{sp^3} - H) + 2R(C_{sp^3} - C_{sp^3}) +$ $+R(C_{sp^3} - O) + R(O - H) = 68,592$	68,925	3,919776	68,783
CH_2O_2 , метановая кислота	$R(O - H) + R(C_{sp^2} - O) + R(C_{sp^2} = O) +$ $+R(C_{sp^2} - H) = 32,751$	32,698	3,880656	33,226
$\sum_1^{16} \Delta(R_M^{20\text{расч}} - R_M^{20\text{экс}}) = -0,650; \sum_1^{16} \Delta[(R_M^{*20\text{расч}}) \times (n_D^2 + 2) - R_M^{20\text{экс}}] = -1,250$				

«Экспериментальные» значения молекулярных рефракций находились из формулы (2) по справочным данным абсолютного показателя преломления и плотности [4, 8]. Из табл. 3 видно, что величина среднего отклонения молекулярной рефракции из 16 различных по природе веществ $\langle \Delta R_M^{20} \rangle = \langle (R_M^{20\text{расч}} - R_M^{20\text{экс}}) \rangle$ по нашим данным практически равна величине $\left[\sum_1^{16} (R_M^{*20\text{расч}}) \times (n_D^2 + 2) - R_M^{20\text{экс}} \right] / 16$. При этом следует отметить, что значения молекулярных рефракций некоторых связей (O–H), $(C_{\text{sp}^3} - \text{Cl})$, $(C_{\text{sp}^3} - C_{\text{sp}^3})$ и $(C_{\text{sp}^3} - \text{O})$ имеют однозначные величины. Этот факт, кроме знаменателя $\{(n_D^2 + 2)\}$ в формуле (1), является одной из причин расхождения значений молекулярных рефракций химических связей, определенных нами и в литературе [4].

Заключение

Таким образом, в настоящей работе предложен метод расчета значений молекулярной рефракции химических связей, основанный на теоретически обоснованном выражении для R_M , что позволяет рассчитывать значения электронной поляризуемости различных по природе молекул в реальном веществе, в то время как формула Лорентц – Лоренца в настоящее время используется как первое приближение только для сильно разреженных газов.

Список литературы

1. Weiss L., Tazibt A., Tidu A., Aillerie M. Water density and polarizability deduced from the refractive index determined by interferometric measurements up to 250 MPa // The Journal of Chemical Physics. – 2014. – Vol. 141. – 149904.
2. Lemoine F., Castanet G. Temperature and chemical composition of droplets by optical measurement techniques: a state-of-the-art review // Experiments in Fluids, 2013, no. 1. Available at: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00348-013-1572-9> (дата обращения: 17.12.17). DOI: 10.1007/s00348-013-1572-9.
3. Martinez-Reina M., Amado-Gonzalez E., Gomez-Jaramillo W. Experimental Study and Modeling of the Refractive Indices in Binary and Ternary Mixtures of Water with Methanol, Ethanol and Propan-1-ol at 293.15K // Journal of Solution Chemistry – 2015. – Vol. 44, № 2. – P. 206-222. DOI: 10.1007/s10953-015-0305-5.
4. Справочник химика. Т. 4. Аналитическая химия. Спектральный анализ. Показатели преломления / Б.П. Никольский [и др.]. – 2-е изд., испр. – Л.: Химия, 1967. – 919 с.
5. Putintsev N.M., Putintsev D.N., Zinov'eva A.B., Stepanova N.V. The method of bond additivity for the deformation polarization of substances // Russian Journal of Physical Chemistry A – 2010. – Vol. 84, № 4. – P. 624-628. DOI: 10.1134/S0036024410040187.
6. Путинцев Н.М., Путинцев Д.Н. Классическая теория поляризации молекулярных систем. – М.: Физматлит, 2011. – 176 с.
7. Harvey A.H., Gallagher J.S., Levelt Sengers J.M.H. Revised Formulation for Refractive Index of Water and Steam as a Function of Wavelength, Temperature and Density // J. Phys. Chem. Ref. Data. – 1998. – Vol. 27, № 4. – P. 761. DOI: 10.1063/1.556029.
8. Ахадов Я.Ю. Диэлектрические параметры чистых жидкостей: справочник / Я.Ю. Ахадов. – М.: Изд-во МАИ, 1999. – 856 с.
9. Putintsev N.M., Dolgopyatova N.V., Gladchenko D.V., Putintsev D.N. A method for calculating the molecular refraction of binary solvent mixtures // Russian Journal of Physical Chemistry A – 2016. – Vol. 90, № 2. – P. 507-510. DOI: 10.1134/S0036024416020254.
10. Zotov S.D., Kazantsev S.Yu., Kudryavtsev E.M., Kuznetsov A.A., Lebedev A.A., Firsov K.N. Measuring the refractive index in a wave excited in water by a laser pulse // Instruments and Experimental Techniques – 2017. – Vol. 60, № 6. – P. 858-863. DOI: 10.1134/S0020441217050207.

References

1. Weiss L., Tazibt A., Tidu A., Aillerie M. Water density and polarizability deduced from the refractive index determined by interferometric measurements up to 250 MPa. The Journal of Chemical Physics, 2014, no. 141, pp. 149904.
2. Lemoine F., Castanet G. Temperature and chemical composition of droplets by optical measurement techniques: a state-of-the-art review. Experiments in Fluids, 2013, no. 1. Available at: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00348-013-1572-9> (accessed 17.10.2017). DOI: 10.1007/s00348-013-1572-9.
3. Martinez-Reina M., Amado-Gonzalez E., Gomez-Jaramillo W. Experimental Study and Modeling of the Refractive Indices in Binary and Ternary Mixtures of Water with Methanol, Ethanol and Propan-1-ol at 293.15K. Journal of Solution Chemistry, 2015, vol. 2, no. 44, pp. 206-222. DOI: 10.1007/s10953-015-0305-5.
4. Nikol'skii B.P. Spravochnik khimika. Tom 4. Analiticheskaia khimiia. Spektral'nyi analiz. Pokazateli prelomleniia. [Reference book of the chemist. Volume 4. Analytical chemistry. Spectral analysis. Refractive indices.]. 2-e izd., ispr. Leningrad, Khimiia, 1967, vol. 4, 919.
5. Putintsev N.M., Putintsev D.N., Zinov'eva A.B., Stepanova N.V. The method of bond additivity for the deformation polarization of substances. Russian Journal of Physical Chemistry A, 2010, vol. 4, no. 84, pp. 624-628. DOI: 10.1134/S0036024410040187.
6. Putintsev N.M., Putintsev D.N. Klassicheskaia teoriia poliarizatsii molekuliarnykh sistem [The classical theory of polarization of molecular systems]. Moscow, Fizmatlit, 2011, 176.
7. Harvey A.H., Gallagher J.S., Levelt Sengers J.M.H. Revised Formulation for Refractive Index of Water and Steam as a Function of Wavelength, Temperature and Density. J. Phys. Chem. Ref. Data, 1998, vol. 4, no. 27, pp. 761. DOI: 10.1063/1.556029.
8. Akhadov Ia.Iu. Dielektricheskie parametry chistykh zhidkosti: spravochnik [Dielectric parameters of pure liquids: a reference book]. Moscow, Izd-vo MAI, 1999, 856.
9. Putintsev N.M., Dolgopyatova N.V., Gladchenko D.V., Putintsev D.N. A method for calculating the molecular refraction of binary solvent mixtures. Russian Journal of Physical Chemistry A, 2016, vol. 2, no. 90, pp. 507-510. DOI: 10.1134/S0036024416020254.
10. Zotov S.D., Kazantsev S.Yu., Kudryavtsev E.M., Kuznetsov A.A., Lebedev A.A., Firsov K.N. Measuring the refractive index in a wave excited in water by a laser pulse. Instruments and Experimental Techniques, 2017, vol. 6, no. 60, pp. 858-863. DOI: 10.1134/S0020441217050207.

УДК 547.539:615

**КВАНТОВО-ХИМИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ
РЕАКЦИИ ЦИКЛОКОНДЕНСАЦИИ АРИЛПРОИЗВОДНЫХ
4,5,6,7-ТЕТРАГИДРО-1-БЕНЗО[4,5]ТИЕНО[2,3-D]ПИРИМИДИН-4-ОНА**

**Глушко А.А., Базганов А.Ю., Гендугов Т.А., Кодониди И.П.,
Щербакова Л.И., Бандура А.Ф.**

*Пятигорский медико-фармацевтический институт – филиал ФГБОУ ВО ВолгГМУ
Минздрава России, Пятигорск, e-mail: alexander.glushko@lcmmp.ru*

Функционально замещенные производные бензтиенопиримидин-4-онов являются весьма перспективными веществами для создания субстанций лекарственных препаратов. Актуальность поиска новых физиологически активных веществ в этой группе соединений подтверждается многочисленными патентами, в которых описаны структуры веществ с противовоспалительной, антиадренергической, кардиотропной, нейротропной и другими видами биологической активности. Исходя из этого поиск новых биологически активных соединений среди близких по строению к бензтиенопиримидинам, содержащих циклический насыщенный фрагмент, так же представляется перспективным. Такой группой веществ являются производные 5,6,7,8-тетрагидро-3H-бензо[4,5]тиофено[2,3-d]пиримидин-4-она. Целью данного исследования являлось квантово-химическое изучение реакции получения 2-фенильных производных 5,6,7,8-тетрагидро-3H-бензо[4,5]тиофено[2,3-d]пиримидин-4-она циклоконденсацией 2-аминотетрагидробензотиофен-3-карбоксамидов с замещенными ароматическими альдегидами. В ходе исследования осуществлено квантово-химическое изучение реакций синтеза производных тетрагидро-3H-бензо[4,5]тиено[2,3-d]пиримидин-4-она путем циклоконденсации 2-амино-4,5,6,7-тетрагидро-1-бензотиофен-3-карбоксамидов с ароматическими альдегидами. С целью выявления препаративных особенностей протекания реакции синтеза 5,6,7,8-тетрагидро-3H-бензо[4,5]тиофено[2,3-d]пиримидин-4-онов были рассчитаны энтальпии, энтропии и энергии Гиббса исходных веществ и продуктов реакций. Расчет термодинамических характеристик исходных веществ и продуктов реакций был проведен с применением теории функционала плотности (ТФП) в программном пакете Gaussian 16. Для оптимизации геометрии пространственных структур, колебательного анализа и расчета термодинамических характеристик использовался метод ТФП с использованием функционалов B3LYP и PBE с обобщенным градиентным приближением (GGA) с диффузным базисом 6-311++g(2d,2p). Отрицательное изменение энергии Гиббса свидетельствует о возможности самопроизвольного протекания исследуемых реакций. Полученные в ходе исследования результаты позволяют предположить термодинамические характеристики взаимодействий, которые могут использоваться для препаративного синтеза производных 5,6,7,8-тетрагидро-3H-бензо[4,5]тиено[2,3-d]пиримидин-4-она.

Ключевые слова: тетрагидробензотиофен, производные 5,6,7,8-тетрагидро-3H-бензо[4,5]тиено[2,3-d]пиримидин-4-она, циклоконденсация, ab initio, B3LYP, PBE, термодинамические характеристики

**QUANTUM-CHEMICAL STUDY
OF 4,5,6,7-TETRAHYDRO-1-BENZO[4,5]THIENO[2,3-D]PYRIMIDIN-4-ONE
ARYL DERIVATIVES CYCLOCONDENSATION REACTION**

**Glushko A.A., Bazganov A.Yu., Gendugov T.A., Kodonidi I.P.,
Scherbakova L.I., Bandura A.F.**

*Pyatigorsk Medical Pharmaceutical Institute of Volgograd Medical State University of the Ministry
of Health Care of Russia, Pyatigorsk, e-mail: alexander.glushko@lcmmp.ru*

Functionally substituted benzthienopyrimidin-4-ones derivatives appears to be very perspective substances for medicinal substances preparation. Actuality of the search for new physiologically active substances in this group of compounds is confirmed by many patents, in which structures substances are described having anti-inflammatory, anti-adrenergic, cardiotropic, neurotropic and other types of biological activity. According to this the search of new biologically active substances among those close by structure to the benzthienopyrimidines containing a cyclic saturated fragment also seems perspective. Such a group of substances is derivatives of 5,6,7,8-tetrahydro-3H-benzo[4,5]thiopheno[2,3-d] pyrimidin-4-one. The goal of this research was quantum-chemical study of reaction of 2-phenylic derivatives synthesis of 5,6,7,8-tetrahydro-3H-benzo[4,5]thiopheno[2,3-d] pyrimidin-4-one by cyclocondensation of 2-aminotetrahydrobenzothiophene-3-carboxamide with substituted aromatic aldehydes. During the research a quantum-chemical study of synthesis reactions of five 5,6,7,8-tetrahydro-3H-benzo[4,5]thiopheno[2,3-d] pyrimidin-4-one aryl derivatives based on cyclocondensation of 2-amino-5,6,7,8-tetrahydro-1-benzothiophene-3-carboxamide with aromatic aldehydes. With the aim of revealing of preparative features of the reaction of synthesis of 5,6,7,8-tetrahydro-3H-benzo[4,5]thiopheno[2,3-d] pyrimidin-4-ones enthalpies, entropies and Gibbs energies of initial substances and products of the reactions were calculated. Calculation of thermodynamic characteristics of substances – participants of studied reactions was performed using density functional theory (DFT) in Gaussian 16 program pack. Geometry optimization of spatial structures, vibrational analysis and thermodynamic characteristics calculations of reactions participants was performed using DFT method with usage of B3LYP and PBE functionals with generalized gradient approximation (GGA) with diffuse basis 6-311++g(2d,2p). Negative change of Gibbs energy indicates the possibility of spontaneous flow of studied reactions. Results of quantum-chemical calculations obtained during the study allow to suggest thermodynamic characteristics of interactions that can be used for preparative synthesis of 5,6,7,8-tetrahydro-3H-benzo[4,5]thiopheno[2,3-d] pyrimidin-4-one derivatives.

Keywords: tetrahydrobenzothiophene, 5,6,7,8-tetrahydro-3H-benzo[4,5]thiopheno[2,3-d] pyrimidin-4-one derivatives, synthesis, ab initio, B3LYP, PBE, thermodynamic characteristics

Одним из наиболее эффективных направлений развития фармацевтической науки является поиск новых рядов биологически активных соединений (БАС) [1]. В первую очередь к таким группам БАС относятся многоядерные, конденсированные гетероциклические системы. В этом плане неослабевающий интерес вызывают различные производные оксопиримидина, содержащие аннелированные гетероциклы, так как среди соединений данного ряда обнаружено значительное количество высокоэффективных биологически активных веществ [2].

Синтез близких по структуре конденсированных бензтиенопиримидин-4-онов, во многом обусловил развитие комбинаторной химии этих гетероциклических систем. Исходя из этого функционально замещенные производные бензтиенопиримидин-4-онов являются весьма перспективными веществами для создания субстанций лекарственных препаратов [3]. Актуальность поиска новых физиологически активных веществ в этой группе соединений подтверждается многочисленными патентами. Например, в патенте Юохитоми Фармасьютиклз (Япония) описаны структуры, обладающие анксиолитическими и противовоспалительными свойствами, Митсубиси Индастри (Япония) – вещества, действующие на сердечно-сосудистую систему, Аббот Лабораториз (США) адренергические антагонисты. Зонтичный патент фирмы Зольвай Фармасьютиклз (Голандия) со-

держит 151 полученное соединение, обладающее способностью ингибировать фермент 17^{β} -гидроксистероид-дегидрогеназы (17^{β} -HSD). По мнению авторов, наиболее предпочтительно ингибирование фермента 17^{β} -HSD типа 1, 2 или 3, что позволяет использовать эти соединения для лечения нейродегенеративных заболеваний центральной нервной системы, для создания противоопухолевых и противовоспалительных средств.

Исходя из этого поиск новых БАС среди близких по строению к бензтиенопиримидинам, содержащих циклический насыщенный фрагмент представляется перспективным. Такой группой веществ являются производные 5,6,7,8-тетрагидро-3Н-бензо[4,5]тиофено[2,3-d]пиримидин-4-она [4].

С целью выявления препаративных особенностей протекания реакции синтеза 5,6,7,8-тетрагидро-3Н-бензо[4,5]тиофено[2,3-d]пиримидин-4-онов были рассчитаны термодинамические характеристики исходных веществ и продуктов реакций, а также суммарные энергии Гиббса (рис. 1).

Цель исследования

Целью данного исследования являлось квантово-химическое изучение реакции получения 2-фенильных производных 5,6,7,8-тетрагидро-3Н-бензо[4,5]тиофено[2,3-d]пиримидин-4-она циклоконденсацией 2-аминотетрагидробензотиофен-3-карбоксамидов с замещенными ароматическими альдегидами.

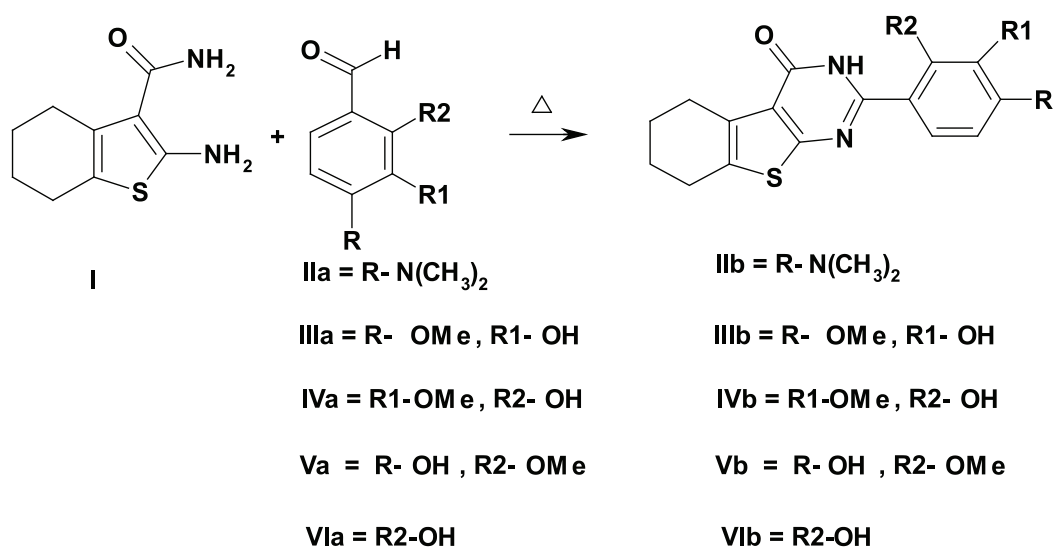


Рис. 1. Исследуемые процессы образования производных 5,6,7,8-тетрагидро-3Н-бензо[4,5]тиофено[2,3-d]пиримидин-4-он

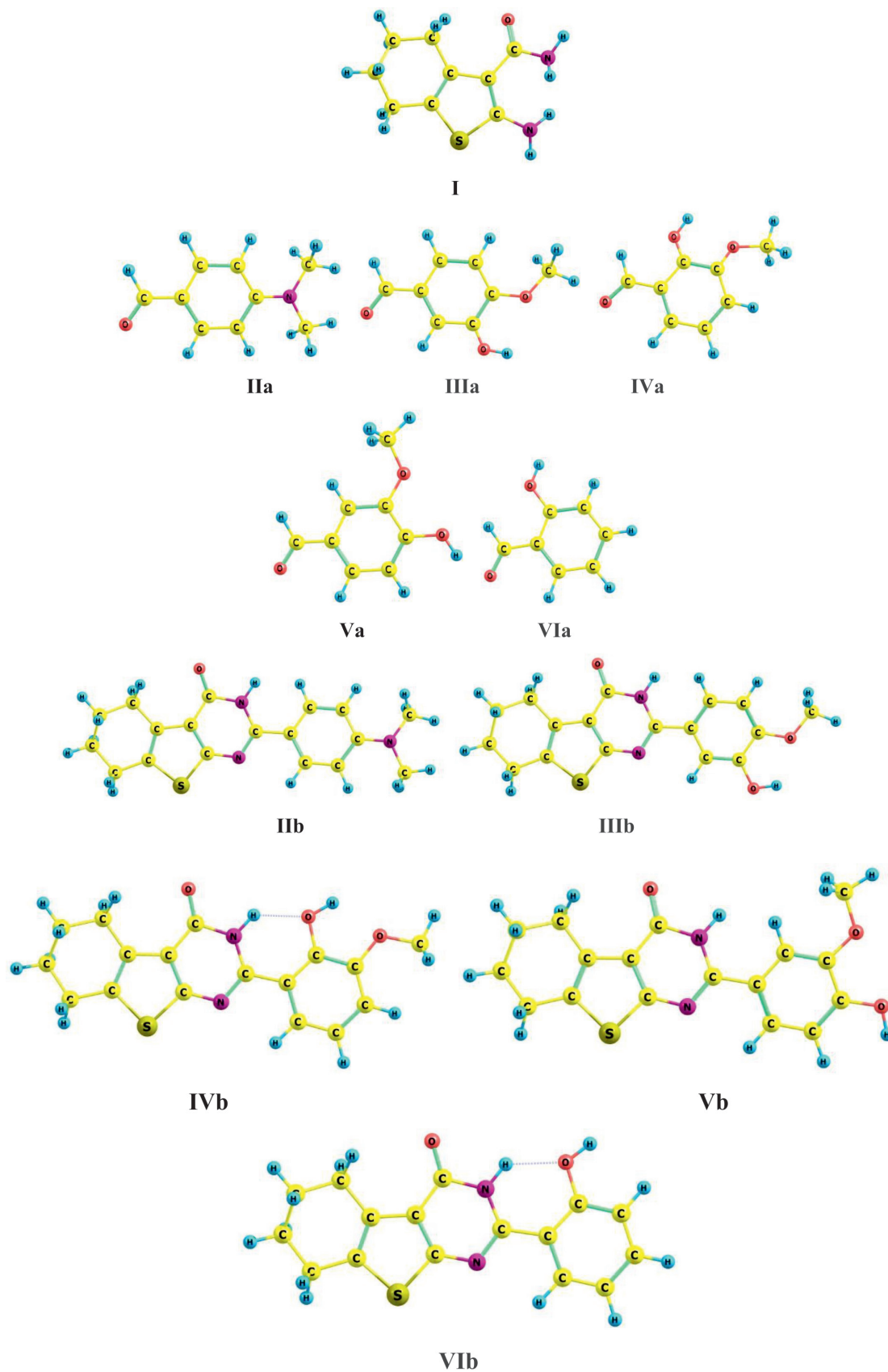


Рис. 2. Оптимизированная геометрия исследуемых структур

Материалы и методы исследования

Расчет термодинамических характеристик исследуемых веществ был осуществлен с применением теории функционала плотности (ТФП) [5] в программном пакете Gaussian 16. Оптимизация геометрии пространственных структур, колебательный анализ и расчет термодинамических характеристик изучаемых соединений осуществлялся методом ТФП с использованием функционалов B3LYP [5–7] и PBE [8] с обобщенным градиентным приближением (GGA) [8] с диффузным базисом 6-311++g(2d,2p) [9, 10]. Пространственные структуры исходных веществ и продуктов реакций приведены на рис. 2.

Результаты исследования и их обсуждение

По результатам проведенного колебательного анализа структур с использованием

программы Gaussian 16 были вычислены термодинамические характеристики изучаемых взаимодействий. Результаты расчетов энтальпии, энтропии и энергии Гиббса исходных веществ и продуктов реакций методом ТФП PBE/6-311++G** приведены в табл. 1.

В табл. 2 приведены результаты расчета энтальпии, энтропии и суммарной энергии Гиббса исследуемых химических превращений.

Отрицательное изменение энергии Гиббса (табл. 2) свидетельствует о возможности самопроизвольного протекания исследуемых реакций. В ряду изомерных ванилинов наибольшее изменение свободной энергии Гиббса наблюдается для *o*-ванилина, а наименьшее для ванилина.

Аналогично осуществлен расчет энтальпии, энтропии и энергии Гиббса исследуемых взаимодействий с использованием функционала B3LYP (табл. 3).

Таблица 1

Энтальпия, энергия Гиббса и энтропия исходных соединений и продуктов реакций (PBE/6-311++G**)

Шифр вещества	Сумма электронных и термальных энтальпий, а.е.	Сумма электронных и термальных свободных энергий, а.е.	Энтропия, кал/(моль*К)
Исходные вещества			
I	-932,272	-932,323	109,098
IIa	-478,897	-478,946	103,536
IIIa	-534,711	-534,758	98,634
IVa	-534,707	-534,754	98,83
Va	-534,712	-534,759	98,539
VIa	-420,308	-420,349	86,081
Продукты			
IIb	-1333,67	-1333,75	154,632
IIIb	-1389,49	-1389,56	148,85
IVb	-1389,49	-1389,56	147,402
Vb	-1389,48	-1389,55	148,634
VIb	-1275,09	-1275,15	135,289
H ₂ O	-76,3514	-76,3728	45,138
2H	-1,15302	-1,16783	31,175

Таблица 2

Изменение энтальпии, энергии Гиббса и энтропии в ходе реакции (PBE/6-311++G**)

Реакция	Энтальпия реакции, ккал/моль	Свободная энергия Гиббса реакции, ккал/моль	Изменение энтропии в ходе реакции, кал/(моль*К)
I + IIa → IIb + H ₂ O + 2H	-5,7	-11,2	18,3
I + IIIa → IIIb + H ₂ O + 2H	-6,3	-11,5	17,4
I + IVa → IVb + H ₂ O + 2H	-9,0	-13,7	15,8
I + Va → Vb + H ₂ O + 2H	-2,0	-7,2	17,3
I + VIa → VIb + H ₂ O + 2H	-8,7	-13,6	16,4

Таблица 3

Энтальпия, энергия Гиббса и энтропия исходных соединений и продуктов (B3LYP/6-311++G**)

Шифр вещества	Сумма электронных и термальных энтальпий, а.е.	Сумма электронных и термальных свободных энергий, а.е.	Энтропия, кал/(моль*К)
Исходные вещества			
I	-479,501	-479,55	103,374
IIa	-535,338	-535,384	97,836
IIIa	-535,334	-535,381	98,039
IVa	-535,338	-535,385	97,773
Va	-420,803	-420,844	85,14
VIa	-933,106	-933,158	108,008
Продукты			
IIb	-1335,01	-1335,08	151,186
IIIb	-1390,85	-1390,92	146,439
IVb	-1390,85	-1390,92	145,397
Vb	-1390,84	-1390,91	146,474
VIb	-1276,32	-1276,38	133,452
H ₂ O	-76,4369	-76,4583	45,077
2H	-1,15302	-1,18143	31,133

Таблица 4

Изменение энтальпии, энергии Гиббса и энтропии в ходе реакции (B3LYP/6-311++G**)

Реакция	Энтальпия реакции, ккал/моль	Свободная энергия Гиббса реакции, ккал/моль	Изменение энтропии в ходе реакции, кал/(моль*К)
I + IIa → IIb + H ₂ O + 2H	4,6	-8,7	15,0
I + IIIa → IIIb + H ₂ O + 2H	4,1	-9,4	15,8
I + IVa → IVb + H ₂ O + 2H	1,1	-11,5	14,6
I + Va → Vb + H ₂ O + 2H	8,5	-5,0	15,9
I + VIa → VIb + H ₂ O + 2H	-0,5	-13,9	15,5

В табл. 4 приведены энтальпии, энтропии и энергии Гиббса исследуемых реакций, полученные на основе расчетов с применением функционала B3LYP и базисного набора 6-311++G**.

Наибольшее изменение свободной энергии Гиббса наблюдается для продукта циклоконденсации 2-аминотетрагидробензотиофен-3-карбоксамид (I) с о-ванилином (IVa), а наименьшее с ванилином (Va) при использовании обоих функционалов (PBE и B3LYP). Для большинства исследуемых взаимодействий величина изменения энтальпии в ходе реакции на 10 ккал/моль больше (менее негативна) при использовании функционала B3LYP в отличие от результатов, полученных с использованием функционала PBE. В случае изменения энергии Гиббса разница между данными полученными в двух функционалах составляет всего 2,5 ккал/моль.

Заключение

Полученные результаты термодинамических расчетов циклоконденсации 2-амино-4,5,6,7-тетрагидро-1-бензотиофен-3-карбоксамид с ароматическими альдегидами позволяют предположить квантово-химические характеристики этих превращений, что может быть использовано для оптимизации методов синтеза производных 5,6,7,8-тетрагидро-3H-бензо[4,5]тиофено[2,3-d]пиримидин-4-она.

Авторы выражают благодарность научному сотруднику Университета имени Фридриха – Александра в Эрлангене и Нюрнберге Дмитрию Игоревичу Шарпе за помощь в проведении квантово-химических расчетов.

Список литературы/References

1. Doak B.C., Norton R.S., Scanlon M.J. The ways and means of fragment-based drug design // Pharmacology & Therapeutics. – 2016. – Vol. 167 – P. 28–37.

2. Lewis R.A., Sirockin F. 3.09 – 2/3D Pharmacophore Definitions and Their Application // Reference Module in Chemistry, Molecular Sciences and Chemical Engineering Comprehensive Medicinal Chemistry III. – 2017. – P. 189–220.
3. Fabrizio Micheli. 1,2,4-Triazol-3-yl-thiopropyl-tetrahydrobenzazepines: A Series of Potent and Selective Dopamine D₃ Receptor Antagonist / Micheli Fabrizio [et al.] // J. Med. Chem. – 2007. – № 50. – P. 5076–5089.
4. Keri R.S., Chand K., Budagumpi S., Balappa Somappa S., Patil S.A., Nagaraja B.M. An overview of benzo[b]thiophene-based medicinal chemistry // Eur. J. Med. Chem. – 2017. – Vol. 138. – P. 1002–1033.
5. Jafar Rezaia, Hadi Behzadi, Abbas Shockravi, Morteza Ehsani, Elahe Akbarzadeh. Synthesis and DFT calculations of some 2-aminothiazoles // Journal of Molecular Structure. – 2018. – Vol. 1157. – P. 300–305.
6. Abkari A., Chaabane I., Guidara K. DFT (B3LYP/LanL2DZ and B3LYP/6311G+(d,p)) comparative vibrational spectroscopic analysis of organic–inorganic compound bis(4-acetyl-anilinium) tetrachlorocuprate(II) // Physica E: Low-dimensional Systems and Nanostructures. – 2016. – Vol. 81. – P. 136–144.
7. Legler C.R., Brown N.R., Dunbar R.A., Harness M.D., Nguyen K., Oyewole O., Collier W.B. Scaled Quantum Mechanical scale factors for vibrational calculations using alternate polarized and augmented basis sets with the B3LYP density functional calculation model // Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy. – 2015. – Vol. 145. – P. 15–24.
8. Perdew J.P., Burke K., Ernzerhof M. Generalized gradient approximation made simple // Phys. Rev. Lett. – 1996. – Vol. 77. – № 18. – P. 3865–3868.
9. Zaric M.M., Bugarski B., Kijevcanin M.L. Best methods for calculating interaction energies in 2-butene and butane systems // Computational and Theoretical Chemistry. – 2017. – Vol. 1117. – P. 150–161.
10. McLean A.D., Chandler G.S., Contracted Gaussian basis sets for molecular calculations. I. Second row atoms, Z=11–18 // J. Chem. Phys. – 1980. – Vol. 72. –P. 5639.

УДК 541:544

**ВЛИЯНИЕ БИНАРНЫХ АНТИОКСИДАНТОВ НА ПРОЦЕСС
МЕТАТЕЗИСНОЙ ПОЛИМЕРИЗАЦИИ ДИЦИКЛОПЕНТАДИЕНА
И ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОЛИМЕРА**

¹Заманова М.К., ²Бондалетов В.Г., ³Земляков Д.И., ²Та К.К., ²Бондалетова Л.И.

¹*National Ciao Tung University, Taipei, Taiwan, e-mail: zmargok@mail.ru;*

²*Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
Томск, e-mail: bondaletovVG@mail.ru;*

³*ООО «Альтаир», Томск, e-mail: Dimmtomsk@sibmail.com*

В представленной работе рассмотрены вопросы влияния системы наиболее часто используемых для промышленных полиолефинов антиоксидантов на основе пространственно затрудненных полифенолов (ВНТ и Ирганокс-1010) и фосфитов на свойства полимеров на основе дициклопентадиена. Полидициклопентадиен является уникальным полимером с трехмерной структурой, образующейся в процессе полимеризации с раскрытием непредельных циклических фрагментов с использованием катализаторов Шрока – Граббса на основе комплексов хлорида рутения. Обнаружено, что концентрация окисленных форм мономера на стадии полимеризации дициклопентадиена на порядок превосходит суммарную концентрацию стандартно используемых систем антиоксидантов типа «фенол – фосфит». Установлено, что нижним рабочим концентрационным пределом для систем антиоксидантов ВНТ + Irgafos-168 и Ирганокс-1010 + Irgafos-168 в процессе полимеризации дициклопентадиена является 1% + 1% (мас.). Определено, что повышение концентрации антиоксидантов от 1% + 1% до 2% + 2% (мас.) приводит как к значимому снижению теплоты дополнительной сшивки, так и к улучшению физико-механических свойств полидициклопентадиена. Предложены варианты механизмов побочных реакций, приводящих к дезактивации катализатора и образованию линейных фрагментов в полимерной цепи, которые ухудшают физико-механические характеристики полимера. Установлено, что в условиях метатезисной полимеризации дициклопентадиена при соотношении катализатор: мономер, равном 15 000:1 в интервале температур 120–180 °С более эффективным фенольным компонентом бинарной системы «фенол – сульфит» является ВНТ (2,6-ди-tert-бутил-4-метилфенол) по сравнению с Ирганокс-1010. Сделан вывод о необходимости использования фосфитных антиоксидантов в составе бинарных ввиду особенностей их взаимодействия с продуктами аллильного окисления мономеров, являющихся «ядами» для катализаторов Шрока – Граббса.

Ключевые слова: полидициклопентадиен, метатезисная полимеризация, катализаторы Шрока – Граббса, физико-механические характеристики, антиоксиданты

**INFLUENCE OF BINARY ANTIOXIDANTS ON THE PROCESS
OF METATELISIS POLYMERIZATION OF DICYCLOPENTADIENE
AND PHYSICO-MECHANICAL CHARACTERISTICS OF POLYMER**

¹Zamanova M.K., ²Bondaletov V.G., ³Zemlyakov D.I., ²Ta K.K., ²Bondaletova L.I.

¹*National Ciao Tung University, Taipei, Taiwan, e-mail: zmargok@mail.ru;*

²*National Research Tomsk Polytechnic University, Tomsk, e-mail: bondaletovVG@mail.ru;*

³*LLC «Altair», Tomsk, e-mail: Dimmtomsk@sibmail.com*

The questions of the influence of the system of antioxidants most frequently used for industrial polyolefins on the basis of spatially hindered polyphenols (BHT and Irganox-1010) and phosphites on the properties of polymers based on dicyclopentadiene are considered. Polydicyclopentadiene is a unique polymer with a three-dimensional structure formed in the polymerization process with the disclosure of unsaturated cyclic fragments using Shrock-Grubbs catalysts. It was found that the concentration of oxidized forms of the monomer in the stage of dicyclopentadiene polymerization is an order of magnitude higher than the total concentration of the standard systems of antioxidant type «phenol-phosphite». It was found that the lower working concentration limit for the antioxidant systems BHT + Irgafos-168 and Irganox-1010 + Irgafos-168 during the polymerization of dicyclopentadiene is 1% + 1% (by weight). It was determined that an increase in the concentration of antioxidants from 1% + 1% to 2% + 2% (weight). leads both to a significant decrease in the heat of the additional cross-linking, and to an improvement in the physico-mechanical properties of polydicyclopentadiene. Variants of mechanisms of adverse reactions leading to deactivation of the catalyst and the formation of linear fragments in the polymer chain that degrade the physico-mechanical characteristics of the polymer are proposed. It was found that under the conditions of metathesis polymerization of dicyclopentadiene with a catalyst: monomer ratio of 15,000: 1 in the temperature range 120-180 °C, the more effective phenolic component of the phenol-sulfite binary system is BHT (2,6-di-tert-butyl-4-methylphenol) as compared to Irganox-1010. The conclusion is made that it is necessary to use phosphite antioxidants as binary compounds in view of their interaction with the products of allylic oxidation of monomers, which are «poisons» for Shrock-Grubbs catalysts.

Keywords: polydicyclopentadiene, metathesis polymerization, Schrock-Grubbs catalysts, physical and mechanical characteristics, antioxidants

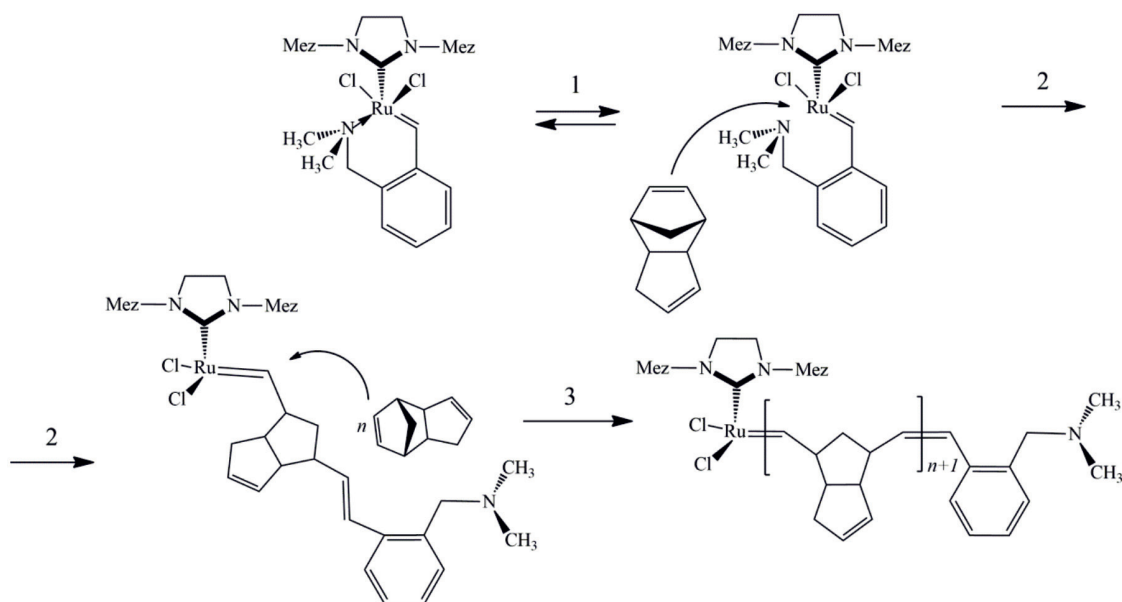
Одним из перспективных в настоящее время карбоцепных полимеров является полидициклопентадиен (ПДЦПД), получаемый из дициклопентадиена, входящего

в состав C₅ и C₉ фракций побочных продуктов пиролиза. ПДЦПД представляет собой сшитый полимер, обладающий совокупностью превосходных механических

свойств, что позволяет изготавливать из него ударопрочные изделия больших размеров и сложной формы. Изделия из ПДЦПД находят применение в различных отраслях промышленности, в том числе для изготовления защитных деталей машин и агрегатов различного назначения (бамперы, крылья, накладки, спойлеры, крышки двигателя, части кабины, облицовочные панели), емкостей, работающих под давлением.

Полидициклопентадиен получают по реакции метатезисной полимеризации с раскрытием цикла (ROMP) дициклопентадиена в присутствии катализаторов и каталитических систем на основе соединений вольфрама, молибдена и рутения. На первой стадии происходит раскрытие наиболее

напряженного норборненового цикла с образованием линейной полимерной цепи. На второй стадии при увеличении температуры до 150–200 °С в реакцию вступает менее активная периферийная двойная связь циклопентенового кольца полимерной цепи, а процесс полимеризации – в стадию сшивки макромолекул. Взаимодействие активного центра с двойной связью циклопентенового кольца приводит к образованию четырехлучевых узлов, что обуславливает формирование в массе полимера пространственной полимерной сетки [1]. Общая схема полимеризации ПДЦПД по реакции ROMP под действием катализатора Граббса схематически выглядит следующим образом:



Вследствие того, что структура ПДЦПД обладает значительным количеством двойных связей и третичных атомов углерода, материалы из ПДЦПД достаточно легко подвергаются фото- и термоокислению кислородом воздуха, как при получении изделий в процессе синтеза полимера, так и при переработке, хранении и эксплуатации [2]. Окисление полимера можно замедлить введением антиоксидантов. При их введении повышается стойкость полимера к внешним воздействиям, расширяются области применения изделий и увеличиваются сроки их эксплуатации [3]. Однако влияние антиоксидантов на процесс полимеризации с использованием катализаторов Шрока – Граббса рассмотрено недостаточно полно по сравнению с процессами радикальной полимеризации.

В данной работе исследуется влияние состава и содержания компонентов систем антиоксидантов на процесс полимеризации и физико-механические характеристики материалов на основе ПДЦПД, получаемых с помощью катализаторов Шрока – Граббса.

Материалы и методы исследования

Для приготовления полимерной композиции использовали дициклопентадиен с содержанием основного вещества 96% (ПАО «Нижнекамскнефтехим», Россия), структурирующую добавку этилен-пропиленового каучука Royalene 563 EPDM (Lion Copolymer, США), рутениевый катализатор Граббса 2-го поколения [4], промышленные антиоксиданты фирмы BASF (Германия): ВНТ, Irganox-1010 и Irgafos-168.

Для удаления кислородсодержащих примесей дициклопентадиен с каучуком (4%) кипятили с металлическим Na в атмосфере азота в течение 6 час. с последующей перегонкой в вакууме. Перед полимеризацией исходную композицию смешивали с рутениевым катализатором при соотношении 15000 : 1 мас. частей соответственно, после чего заливали в алюминиевую форму и нагревали при атмосферном давлении и при ступенчатом повышении температуры от 50 °С до 120 °С в течение 0,25 часа, а затем выдерживали при 180 °С в течение 0,5 часа. Полученную композицию охлаждали в форме до 20–25 °С.

Образцы для физико-механических испытаний изготавливали с помощью фрезерального станка Roland EGX 350 (Япония). Относительное удлинение при разрыве (ГОСТ 11262), модуль упругости при растяжении и изгибе (ГОСТ 9550) выполняли с помощью испытательной машины GOTESH AI-7000M (Тайвань). Измерения ударной вязкости по Изоду (ГОСТ 19109) проводили на маятниковом копре GOTESH GT 7045 НМН (Тайвань). Для получения данных ДСК и определения температуры стеклования (ISO 11357) образцы полимера анализировали на сканирующем калориметре NETZSCH DSC 200 F3 Maia (Германия) при нагревании от 30 °С до 300 °С в инертной атмосфере при скорости нагрева 5 °С/с.

Результаты исследования и их обсуждение

Результаты физико-механических испытаний полимерных композиций, приведенные в табл. 1, указывают на то, что исполь-

зование различных систем антиоксидантов на стадии полимеризации в значительной мере влияет на физико-механические свойства ПДЦПД.

Также были рассмотрены термограммы ДСК полученных композиций, которые приведены на рис. 1.

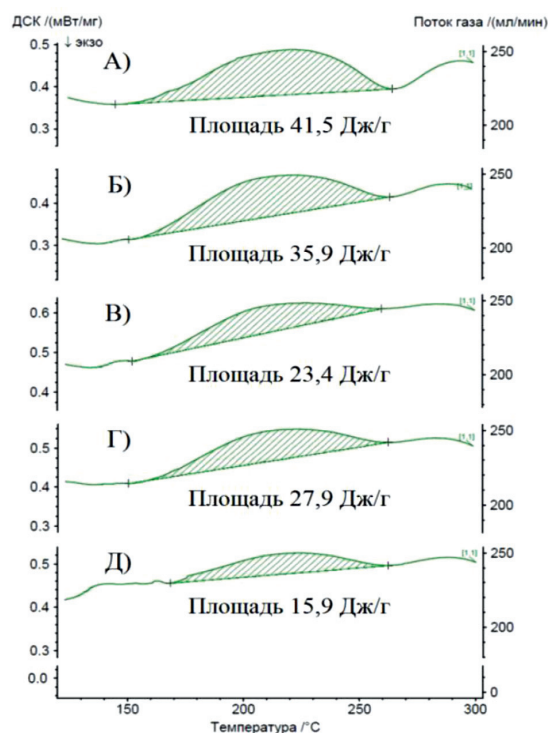


Рис. 1. Термограммы ДСК композиционных материалов на основе ПДЦПД: А) нестабилизированный; Б) 0,1% Irganox-1010 и 0,1% Irgafos-168; В) 0,2% Irganox-1010 и 0,2% Irgafos-168; Г) 0,1% BHT и 0,1% Irgafos-168; Д) 0,2% BHT и 0,2% Irgafos-168

Таблица 1

Физико-механические характеристики полидициклопентадиена, стабилизированного системами антиоксидантов

Показатель	Без антиоксидантов	0,1% Irganox-1010 0,1% Irgafos-168	0,2% Irganox-1010 0,2% Irgafos-168	0,1% BHT 0,1% Irgafos-168	0,2% BHT 0,2% Irgafos-168
Модуль упругости при растяжении E_p , МПа	1790	1640	1780	1630	2010
Модуль упругости при изгибе $E_{изг}$, МПа	1820	2010	2100	1900	2330
Ударная вязкость по Изоду, кДж/м ²	52,9	53,4	54,3	57,4	63,7
Температура стеклования T_g , °С	121,0	143,1	143,5	142,9	142,0

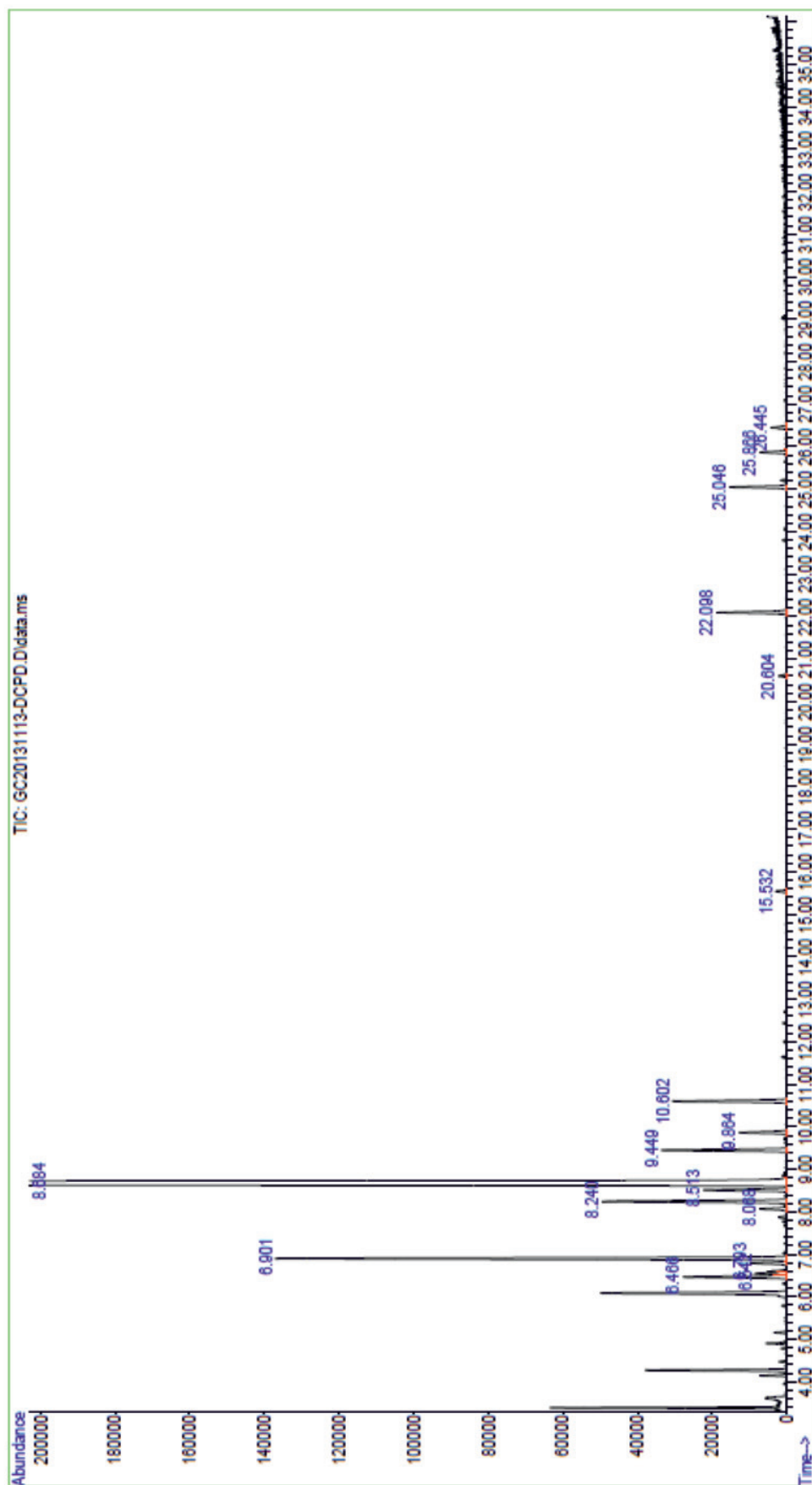


Рис. 2. Масс-хроматограмма образца ДЦПД

Согласно данным ДСК [5, 6], наличие антиоксидантов в мономере влияет на глубину превращения мономеров в процессе РОМР. В области температур 230–240 °С наблюдается комплексный пик дополнительной сшивки. Из термограмм следует, что при увеличении содержания антиоксидантов в композиции и замене Irganox-1010 на ВНТ снижается величина тепловыделе-

ния в области пика дополнительной сшивки полимера. Следовательно, полимеризация протекает более полно, о чем свидетельствует повышение температуры стеклования от 121 °С для нестабилизированного ПДЦПД до 145 °С для стабилизированного полимера. Результаты, полученные с использованием термограмм ДСК, достаточно хорошо согласуются с данными табл. 1.

Таблица 2

Анализ чистоты и идентификация примесей в образце дициклопентадиена

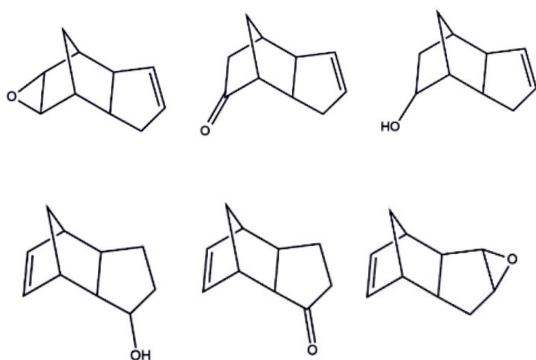
№ п/п	Соединение			Конц., % мас.	Конц., моль/л, 10 ⁻⁴
	Время уд., мин	Наименование	Структура		
1	6,5	4,7-метано-1Н-инден, 2,3,3а, 4,7,7а-гексагидро-		0,341	2,490
2	6,6	3а, 4,5,6,7,7а-гексагидро-4,7-метано-инден		0,100	0,729
3	6,8	4,7-метано-1Н-инден, 2,3,3а, 4,7,7-гексагидро-		0,114	8,831
4	6,9	5-аллил-2-норборнен		1,665	13,000
5	8,1	Не идентифицировано	М.м. 128	0,086	0,657
6	8,5	4,7-метаноинден, 3а, 4,5,6,7,7а-гексагидро, эндо-		0,278	2,028
7	9,4	Не идентифицировано	М.м. 146	0,423	2,832
8	9,9	Не идентифицировано	М.м. 146	0,157	1,051
9	10,6	Не идентифицировано	М.м. 146	0,379	2,537
10	15,5	(3 а - α, 4 α, 7 α, 7 а - α) - 3 а, 4, 7,7а-тетрагидро-4,7-метано-1-он		0,032	0,214
11	20,6	4-оксатетрацикло [6.2.1.0 (2,7).0 (3,5)] ундец-9-ен (эндо)-		0,022	0,145
12	22,1	9-оксатетрацикло [5.3.1.0 (2,6).0 (8,10)]ундец-3-ен		0,221	1,460
13	25,0	Трициклопентадиен		0,175	1,160
14	25,9	Трицикло [5.2.1.0 (2,6)] дека-4,8-диен-3-он		0,088	0,590
15	26,4	4,7-метано-1Н-инден-1-ол, 3а, 4,7,7а-тетрагидро-		0,054	0,357

Для адекватной оценки роли каждого из антиоксидантов следует внимательно рассмотреть процессы, происходящие с мономерами при подготовке к процессу, и процессы, протекающие при полимеризации по метатезисному механизму.

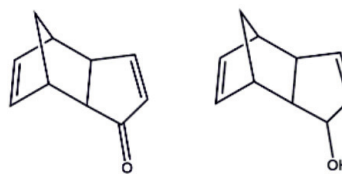
В процессе хранения, очистки и полимеризации ДЦПД при температурах 140–200 °С образуются окисленные формы дициклопентадиена, представленные на хроматограмме на рис. 2 и в табл. 2.

В работах [7, 8] были достаточно полно идентифицированы основные продукты окисления ДЦПД, которые можно условно разделить на две группы:

1. Продукты окисления по двойной связи в форме α -оксидов и продуктов их перегруппировки в форме более стабильных карбонильных соединений:



2. Продукты аллильного окисления в форме α -кето(оксо)- и α -гидрокси-непредельных соединений:



Продукты окисления первой группы фактически являются 1,2-дизамещенными цикломоноолефинами и способны вступать в реакцию метатезисной полимеризации, образуя продукты линейного строения (рис. 3).

Эти звенья не способны к дальнейшему сшиванию ввиду отсутствия второй двойной связи, что приводит к повышенной фрагментарной подвижности образующегося полимера, влияющей на его физико-механические характеристики и температуру стеклования.

Продукты аллильного окисления ДЦПД реагируют с катализатором, образуя неакционноспособный комплекс, полностью его дезактивируя. Рост цепи прекращается (типичный обрыв цепи на примеси), что приводит к значимому снижению эффективной концентрации катализатора. В результате длина полимерных цепей может значительно снизиться, что также значительно влияет на характеристики полимерного материала (рис. 4).

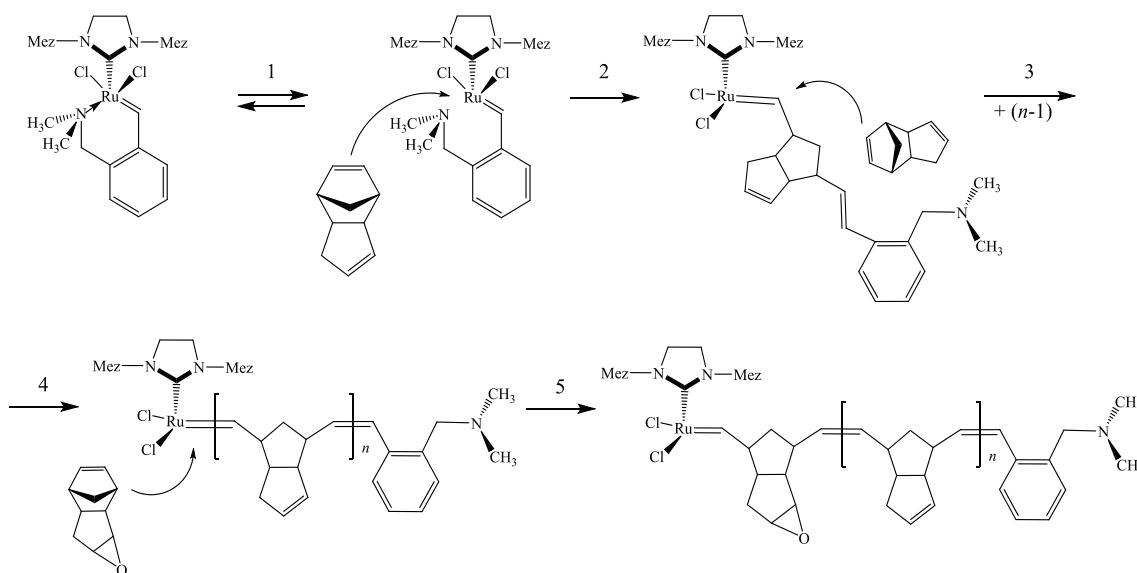


Рис. 3. Схема реакции продолжения цепи дициклопентадиеном с окисленным циклопентеновым кольцом

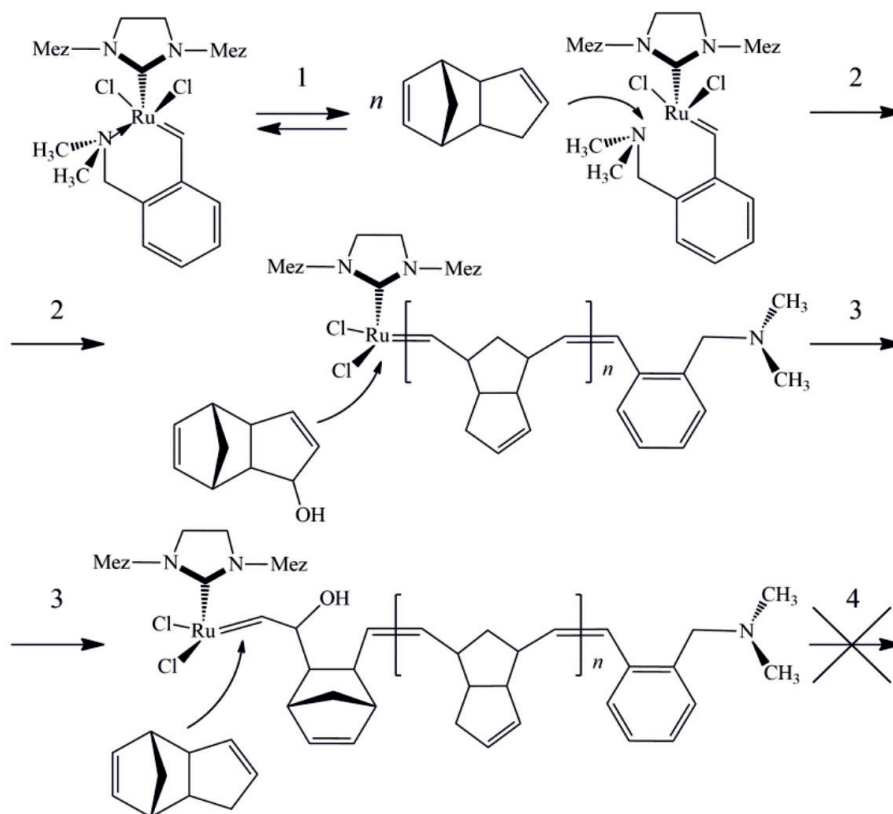
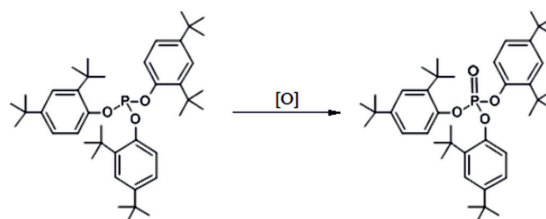


Рис. 4. Схема реакции обрыва цепи (мономер) с аллильным окисленным циклопентеновым кольцом

Очевидно, что проблемам и процессам очистки ДЦПД следует уделять повышенное внимание, потому что полученные материалы, по своим свойствам не отвечающие предъявляемым требованиям, не могут быть использованы вторично. Существующие методы очистки, основанные на кипячении товарного мономера с металлическим натрием, позволяют избавиться мономер от наиболее реакционноспособных примесей, таких как аллилнорборнен, ряда 1,2-эпоксисоединений, частично карбонильных и гидроксисоединений. Однако последующие операции освобождения мономера от образовавшихся олигомерных продуктов, несмотря на использование вакуума и инертной атмосферы, могут не привести к желаемой реакционной чистоте дициклопентадиена, потому что очень реакционноспособные примеси могут образовываться при растворении (перемешивании) катализатора, модификатора, пластификатора или наполнителя, а также при десорбции со стенок формы.

Поэтому большое значение приобретает использование антиоксидантов на стадии

полимеризации. Фосфитные и фосфонатные ингибиторы (вторичные), работа в системе с фенольными, первыми реагируют с первичными продуктами окисления (гидропероксиды, пероксиды), восстанавливая их и прерывая цепь окисления:



После завершения окисления трехвалентного фосфора до пятивалентного заметную роль начинает играть фенольная составляющая фосфитных ингибиторов, а также фенольные ингибиторы. Однако фосфитные ингибиторы обладают специфической реакционной способностью по отношению к карбонильным соединениям, находящимся в сопряжении с двойной связью [9], образуя фосфорорганические соединения, не вступающие в реакцию в силу стерических препятствий с катализаторами

Шрока – Граббса. Ниже представлена схема одной из вероятных реакций восстановления образующихся карбонильных соединений норборнена (рис. 5).

Из табл. 2 следует, что концентрация реакционноспособных примесей в товарном ДЦПД может значительно превосходить концентрацию катализатора. Суммарная концентрация примесей составляет $38,08 \times 10^{-4}$ моль/литр, в том числе кислородсодержащих – $9,19 \times 10^{-4}$ моль/литр. Концентрация катализатора при его соотношении к мономеру (мас.) 1 : 15000 равна $1,07 \times 10^{-4}$ моль/литр. Особенно заметно концентрация примесей может возрасти на начальных стадиях процесса полимеризации, при которых температура достигает 120–180 °С.

Используемые в эксперименте концентрации (в моль/литр) антиоксидантов лежат в интервалах $4,44\text{--}8,90 \times 10^{-5}$ моль/литр для ВНТ, $8,30\text{--}16,60 \times 10^{-6}$ для Ирганокс-1010 и $1,40\text{--}2,80 \times 10^{-5}$ моль/литр для Иргифос-168, соответственно. Очевидно, что они ниже вероятно достигаемых концентраций кислородсодержащих производных дидециклопентадиена и не являются оптимальными для получения полидидециклопентадиена. Этих концентраций антиоксидантов, возможно, недостаточно для полного ингибирования реакций образования кислородсодержащих примесей, представленных выше. Отличающиеся характеристики по-

лимерных композиций, полученных в одинаковых условиях, но в присутствии разных систем и концентраций антиоксидантов, также обусловлены различным совместным влиянием рассматриваемых стабилизирующих систем антиоксидантов как на состав мономеров, так и на рост полимерной цепи.

Из полученных данных следует, что наиболее эффективной из рассмотренных является система 0,2% ВНТ + 0,2% Irgafos-168, в присутствии которой были достигнуты повышение модулей упругости и ударной вязкости по Изоду. Система 0,2% Irganox-1010 + 0,2% Irgafos-168 менее эффективна. Значимо отличающиеся результаты последовательного увеличения концентрации антиоксидантов в ряду 0% до 0,1% (мас.) и от 0,1% до 0,2% (мас.), указывают на то, что концентрация 0,1% не является «рабочей» для обеих систем в условиях полимеризации. Однако дальнейшее увеличение концентрации антиоксидантов вдвое ожидаемо приводит к непропорциональному улучшению физико-механических характеристик, что указывает на нелинейную зависимость между концентрацией антиоксиданта и скоростью ингибирования процессов окисления мономеров в условиях полимеризации. Это также подтверждается повышением температуры стеклования и снижением теплоты дополнительной сшивки.

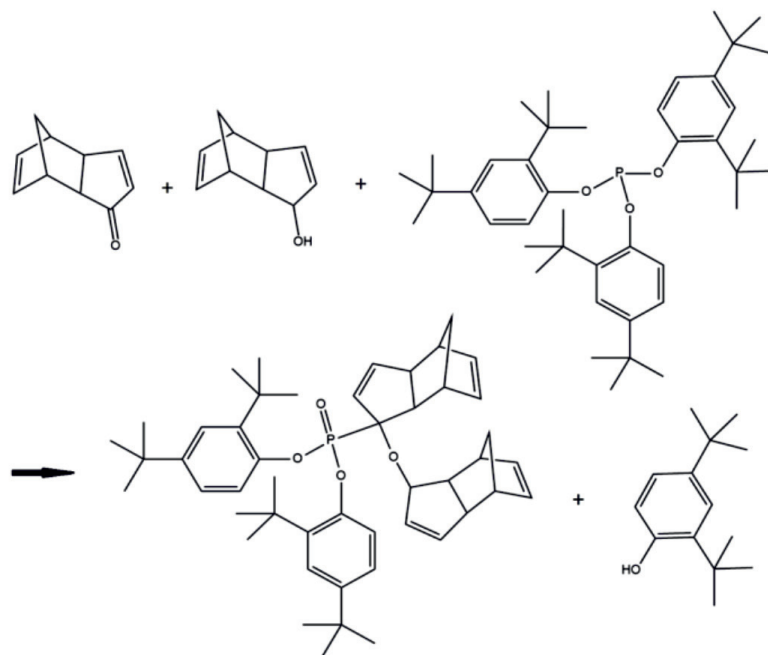


Рис. 5. Схема реакции восстановления карбонильных производных дидециклопентадиена фосфитными стабилизаторами

Различия в результатах, полученных для систем, содержащих ВНТ, от систем с Irganox-1010, определяются не столько повышенным содержанием фенольного фрагмента от $3,31 \times 10^{-5}$ до $4,44 \times 10^{-5}$ моль/литр, сколько молекулярной массой антиоксиданта. Олигомерный Irganox-1010, высокоэффективный при хранении и первичной переработке термопластичных полиолефинов при низких скоростях диффузии кислорода в полимерную матрицу и, соответственно, образования продуктов окисления, оказывается менее пригодным для их ингибирования в условиях высоких температур полимеризации и низкой вязкости реакционной массы на стадии разогрева. С другой стороны, ВНТ, благодаря относительно низкой молекулярной массе, достаточно легко диффундирует в полимере даже при значительном повышении вязкости реакционной массы, определяя возможность быстрой дезактивации пероксидных радикалов. Однако ВНТ является низкотемпературным антиоксидантом, в значительной мере разлагаясь при температурах полимеризации, поэтому, вероятно, для эффективного проведения высокотемпературной метатезисной полимеризации и дальнейшего использования композиционных изделий из полидициклопентадиена будет перспективно использовать системы, содержащие как ВНТ, так и Irganox-1010.

Выводы

1. Показано, что концентрация окисленных форм мономера на стадии полимеризации дициклопентадиена на порядок превосходит суммарную концентрацию стандартно используемых систем антиоксидантов типа «фенол-фосфит». Установлено, что нижним рабочим концентрационным пределом для систем антиоксидантов ВНТ + Irgafos-168 и Ирганокс-1010 + Irgafos-168 в процессе полимеризации дициклопентадиена является 1% + 1% (мас.).

2. Определено, что повышение концентрации антиоксидантов от 1% + 1% до 2% + 2% (мас.) приводит как к значимому снижению теплоты дополнительной сшивки, так и к улучшению физико-механических свойств полидициклопентадиена.

3. Показано, что в условиях метатезисной полимеризации дициклопентадиена при соотношении катализатор : мономер, равном 15 000 : 1 в интервале температур 120–180 °С более эффективным фенольным компонентом бинарной системы «фенол – сульфит» является ВНТ (2,6-ди-трет-бутил-4-метилфенол) по сравнению с Ирганокс-1010.

4. Сделан вывод о необходимости использования фосфитных антиоксидантов

в составе бинарных ввиду особенностей их взаимодействия с продуктами аллильного окисления мономеров, являющихся «ядами» для катализаторов Широка – Граббса.

Список литературы

1. Лебедев В.В. Ударопрочные композиции на основе полидициклопентадиена // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2012. – № 10(59). – С. 21–23.
2. Dicyclopentadiene Polymerization in Solution under the Action of Various Catalytic Systems / A.A. Lyapkov [et al] // Procedia Chemistry. – 2014. – № 10. – P. 223–228. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.proche.2014.10.037>.
3. Смирнова А.И. Функциональные материалы в производстве пластмасс: Антиоксиданты / А.И. Смирнова, И.И. Осовская. – СПб.: Изд. СПбГТУРП, 2015. – 31 с.
4. Пат. РФ 2409420 Российская Федерация, МПК В 01 J 23/46, В 01 J 31/18, С 08 F 4/80, С 07 F 15/00, С 08 F 32/00, С 08 G 61/08, С 08 K 5/56. (2011). Рутениевый катализатор метатезисной полимеризации дициклопентадиена и способ его получения / Колесник В.Д., Аширов Р.В., Шеглова Н.М., Новикова Е.С., Якимов Р.В., Носиков А.А., Богомолова Н.М., Черемухина Н.М.; заявитель и патентообладатель ОАО «СИБУР Холдинг». – № 2009131789/04; заявл. 21.01.11; опубл. 20.01.11, Бюл. № 2. – 6 с.
5. Thermal properties of ruthenium alkylidene-polymerized dicyclopentadiene // Y. Vidavsky [et al] // Beilstein J. Org. Chem. – 2015. – № 11. – P. 1469–1474. DOI: 10.3762/bjoc.11.159.
6. Correlation between Temperature Setting and DSC Complex Peak Energy and in ROMP of Dicyclopentadiene / D.A. Rusakov [et al] // Procedia Chemistry. – 2014. – № 10. – P. 490–493. DOI: 10.1016/j.proche.2014.10.082.
7. Stehrmeier L.G. Fate of Dicyclopentadiene in the Environment: PhD dissertation. – Calgary, Canada, 1997. – 221 p.
8. Ruberto M.A. Polymers and Additives Used in Fabrication of Disposable Bioprocess Equipment // BioProcess International. – 2010. – № 4. – P. 36–41.
9. Взаимодействие эфиров фосфористых кислот с карбоксильными группами в полиэтилене / Н.А. Мукменева [и др.] // Высокомолекулярные соединения. – 1983. – Т. 25(А), № 6. – С. 1302–1306.

References

1. Lebedev V.V. Impact resistant compositions on the basis of polydicyclopentadiene [Udaroprochnye kompozitsii na osnove poliditsiklopentadiena]. Vostochno-evropeiskii zhurnal peredovykh tekhnologii – Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 2012, vol. 59, no. 10, pp. 21–23.
2. A.A. Lyapkov, E.L. Gvozdokov, A.N. Tarakanovskaya, O.D. Tarnovskaya, Y.S. Yakovleva Dicyclopentadiene Polymerization in Solution under the Action of Various Catalytic Systems. Procedia Chemistry, 2014, no. 10, pp. 223–228. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.proche.2014.10.037>.
3. Smirnova A.I., Osovskaya I.I. Funktsional'nye materialy v proizvodstve plastmass: Antioksidanty [Functional materials in production of plastic: Antioxidants]. St. Petersburg, SPb.: Izd. SPbGTURP, 2015, 31.
4. Kolesnik V. D., Ashirov R.V., Shcheglova N.M., Novikova E.S., Yakimov R.V., A.A., Bogomolov N.M., Cheremukhin N.M. Noses. Ruthenic catalyst of metathesis polymerization of a dicyclopentadiene and way of his receiving. Patent of the Russian Federation No. 2009131789/04; 1.20.2011.
5. Yuval Vidavsky, Yotam Navon, Yakov Ginzburg, Moshe Gottlieb, N. Gabriel Lemcoff Thermal properties of ruthenium alkylidene-polymerized dicyclopentadiene. Beilstein J. Org. Chem, 2015, no. 11, pp. 1469–1474. DOI: 10.3762/bjoc.11.159.
6. D.A. Rusakov, A.A. Lyapkov, E.I. Korotkova, N.V. Thank, T.Q. Cuong, M.K. Zamanova Correlation between Temperature Setting and DSC Complex Peak Energy and in ROMP of Dicyclopentadiene. Procedia Chemistry, 2014, no. 10, pp. 490–493. DOI: 10.1016/j.proche.2014.10.082.
7. Stehrmeier L.G. Fate of Dicyclopentadiene in the Environment: PhD dissertation. Calgary, Canada, 1997. 221 p.
8. Ruberto M.A. Polymers and Additives Used in Fabrication of Disposable Bioprocess Equipment. BioProcess International, 2010, no. 4, pp. 36–41.
9. Mukmeneva N.A. Interaction of air of phosphorous acids with carboxyl groups in polyethylene [Vzaimodeistvie efirov fosforistykh kislot s karboksil'nymi gruppami v polietilene]. Vysokomolekuliarnye soedineniya – High-molecular connections, 1983, vol. 6, no. 25, pp. 1302–1306.

УДК 544.773

ПЕННЫЕ И ЭМУЛЬСИОННЫЕ ПЛЕНКИ, СТАБИЛИЗИРОВАННЫЕ ЧАСТИЦАМИ МИКРОТАЛЬКА**Нуштаева А.В.***ФГБОУ ВО «Пензенский государственный университет архитектуры и строительства»,
Пенза, e-mail: nushtaeva.alla@yandex.ru*

Полидисперсные пластинчатые частицы микроталька Талькон Т-20 (Байкальские минералы) со средним диаметром $d_{50} = 6$ мкм применяли для стабилизации свободных (изолированных) водных пленок. Получены высокоустойчивые макроскопические пенные и эмульсионные пленки, стабилизированные микрочастицами талька. Время жизни самопроизвольно утончающихся под действием гравитации пленок достигало 1 часа и более. Исследовалось изменение толщины пленки при самопроизвольном утончении. Толщину пленок (водных) определяли кондуктометрическим методом. Пенные пленки утончались за 3–5 мин до квазиравновесной толщины, которая составила 60 мкм или более в зависимости от способа формирования межфазного слоя твердых частиц. Эффективный диаметр твердых частиц, рассчитанный из равновесной толщины, составил 45 мкм. Это значение было близко к максимальному размеру пластинчатых частиц 30–35 мкм, полученному микроскопическим методом. В отличие от пенных пленок утончение эмульсионной пленки (водной в гексане) продолжалось в течение всего периода измерений (120 мин); и наименьшая достигнутая толщина была равна примерно 160 мкм. В соответствии с устойчивыми эмульсионными пленками (как водными, так и углеводородными) получены также устойчивые объемные эмульсии как прямого, так и обратного типа в зависимости от типа фазы масла (гексан или оливковое масло). Это объясняется неоднородностью поверхности частиц талька, на которой есть базальные гидрофобные и боковые гидрофильные грани. Предполагается, что дифильные компоненты оливкового масла могут адсорбироваться на боковых гранях частиц талька, делая их полностью гидрофобными. Несмотря на высокую стабильность свободных пленок, объемные пены не формировались ни при встряхивании, ни при перемешивании миксером.

Ключевые слова: микрочастицы, пены, эмульсии, пленки**FOAM AND EMULSION FILMS STABILIZED WITH MICROTALC PARTICLES****Nushtaeva A.V.***Penza State University of Architecture and Construction, Penza, e-mail: nushtaeva.alla@yandex.ru*

Polydisperse lamellar particles of microtalc Talcon T-20 (Baikal minerals) with mean diameter of $d_{50} = 6$ μm were used for stabilization of free (isolated) aqueous films. The high stable macroscopic foam and emulsion films stabilized by the talc microparticles were formed. Life time of the films thinning spontaneously under the influence of gravity reached one hour or more. The change in the film thickness during spontaneous thinning was investigated. The thickness of the aqueous film was measured by the conductometric method. The foam films was thinning for 3-5 minutes until quasi-equilibrium thickness that was equal to 60 μm or more in depending on a method for forming the interphase layer of solid particles. The effective diameter of the solid particles, calculated from the equilibrium thickness, was equal to 45 μm . This value was close to the maximum size of the lamellar particles 30-35 microns that was determined by microscopic method. Unlike foam films the thinning of the emulsion film (aqueous in hexane) continued throughout the entire measurement period (120 min); and the smallest achieved thickness was equal to approximately 160 μm . In accordance with stable emulsion films (both aqueous and hydrocarbon) the stable bulk emulsions of both direct and inverse type were also obtained depending on the type of oil phase (hexane or olive oil). This is due to the heterogeneity of the surface of the talc particles, on which there are basal hydrophobic and lateral hydrophilic facets. It is assumed that the diphylic components of olive oil can be adsorbed on the lateral faces of the talc particles, making them completely hydrophobic. Despite the high stability of free films bulk foams were not formed either by shaking or stirring with a mixer.

Keywords: microparticles, foams, emulsions, films

Тальк – природный слоистый минерал с частицами пластинчатой формы, продукт механического измельчения горной породы талькит. По химическому содержанию тальк представляет собой магниевый силикат состава $4\text{SiO}_2 \cdot 3\text{MgO} \cdot \text{H}_2\text{O}$, который не растворим ни в воде, ни в органических растворителях. Этот минерал широко применяется в промышленности, косметологии, медицине и фармакологии (как адсорбирующая присыпка и как источник магния и кремния), в пищевой промышленности (зарегистрирован как пищевая добав-

ка E553b). Тальк характеризуется неспособностью служить питательной средой для микроорганизмов и дешевой.

С точки зрения смачивания частицы талька являются гидрофильно-гидрофобными [1]: на их поверхности есть базальные грани (гидрофобные) и боковые грани (гидрофильные) (рис. 1). Угол смачивания такой частицы зависит от соотношения базальной и боковой поверхностей, а значит, и от степени помола. Эффективный (средний) угол смачивания молотого талька водой равен $70\text{--}73^\circ$ [1]. При уменьшении

среднего медианного размера частиц от 15,2 мкм до 2,9 мкм угол смачивания водой уменьшается от 70 до 65° [2] за счет увеличения доли боковых поверхностей. Угол смачивания непосредственно базальной поверхности – 80° [1].



Рис. 1. Схематичное изображение частицы талька

Теоретически микрочастицы талька обладают оптимальными характеристиками, необходимыми для стабилизации пен и эмульсий Пикеринга. Экспериментально найдено [3], что лучшими стабилизаторами являются частицы с размером частиц от нескольких десятков нм до нескольких мкм и краевым углом ~70° (для формирования однослойных пленок, т.е. содержащих один слой твердых частиц) или ~86° (для бислойных пленок). Целью данного исследования было экспериментальное изучение стабилизации микрочастицами талька пенных и эмульсионных пленок, составляющих структуру концентрированных пен и эмульсий и определяющих их устойчивость. Объектом исследования были свободные (изолированные) водные пленки, полученные вне эмульсий и пен.

Материалы и методы исследования

В работе использовался микротальк Талькон Т-20 (Байкальские минералы, Россия) с размером частиц от 0,5 до 20 мкм (средний диаметр $d_{50} = 6$ мкм), плотностью частиц 2,7–2,8 г/см³, рН водной вытяжки 7,5–9,5, согласно данным производителя.

В качестве водной фазы применяли дистиллированную воду или 0,1 М раствор хлорида калия. В качестве фазы масла мы использовали:

- 1) н-гексан (ос.ч., НПК Криохром, Россия) с плотностью 0,655 г/см³ и вязкостью $0,294 \cdot 10^{-3}$ Па·с (при температуре 25 °С) [4];
- 2) оливковое масло (марка Pomace olive oil, Villa Dorada, Испания) с плотностью 0,910 г/см³ и вязкостью $65,5 \cdot 10^{-3}$ Па·с (при температуре 25 °С).

Вязкость масла измеряли методом вискозиметрии с помощью капиллярного вискозиметра ВПЖ-2-0.56. Максимальный размер частиц определяли с помощью оптического микроскопа (Levenhuk, Китай) с объективами 4, 10 и 40х и камерой (Levenhuk С310). Микрофотографии также получали, применяя микроскоп и камеру Levenhuk.

Получение и характеристика свободных пленок

Для получения пленок в химическом стакане формировали межфазную поверхность вода/воздух или вода/масло с межфазным (адсорбционным) слоем частиц талька. Для этого на поверхность 0,1 М водного раствора КСl напыляли небольшое количество порошка талька и распределяли его по поверхности медленным вращением стаканчика (первый вариант). Во втором варианте метода водную фазу, содержащую 1% (мас.) талька и 0,1 М КСl, перемешивали с помощью миксера. Так формировался межфазный слой твердых частиц на поверхности вода/воздух. Затем осторожно наливали сверху гексан, не допуская эмульгирования; в результате получали межфазный слой твердых частиц на поверхности вода/масло.

Водные пленки формировали методом вытягивания круглой платиновой рамки из водной фазы в фазу масла (или воздуха). Внутренний диаметр рамки – 4,8 мм, толщина проволоки – 0,26 мм (рис. 2). Толщину свободной водной пленки h определяли кондуктометрическим методом, измеряя ее электропроводность α_f кондуктометром «Эксперт-002» (Россия) и рассчитывая h по формуле [5]:

$$h = \alpha_f \cdot \frac{\ln(r_2 / r_1) \cdot nB}{2\pi\alpha_{sp}}$$

где α_{sp} – удельная электропроводность 0,1 М раствора КСl при температуре проведения эксперимента; $r_2 = 2,25$ и $r_1 = 0,28$ мм – радиусы внешнего и внутреннего электродов с учетом водных менисков; $nB = 3,3$ – множитель, учитывающий кратность пленки n , содержащей твердые частицы, и эмпирический коэффициент B , зависящий от распределения жидкости между частицами [5].

Для формирования пленки гексана в воде применяли рамку из фторопласта с внутренним диаметром 5,0 мм и толщиной 0,2 мм. В этом случае рамку погружали из фазы масла в водную фазу.

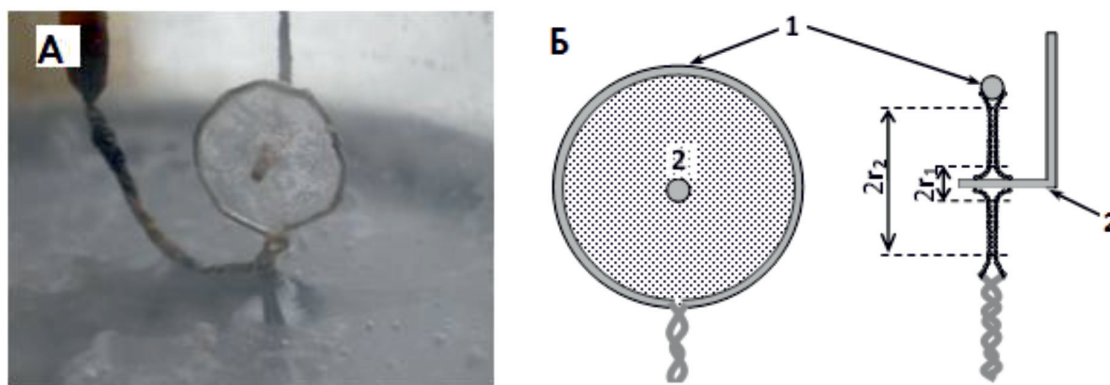


Рис. 2. Иллюстрация к методу определения толщины свободной пленки кондуктометрическим методом: (а) фотография пенной пленки, полученной из 1% суспензии талька на платиновой рамке диаметром 4,5 мм; (б) схема рамки с пленкой; 1 и 2 – внешний и внутренний электроды; r_1 и r_2 – радиусы электродов с учетом водных менисков

Приготовление эмульсий

Для приготовления эмульсий с объемной долей масла $\Phi_0 = 0,5$ брали 10 мл дистиллированной воды и 10 мл масла. В случае $\Phi_0 = 0,25$ или 0,75 общий объем жидкой фазы оставался равным 20 мл. Навеску порошка талька диспергировали в одной из фаз (либо в воде, либо в масле) с помощью миксера (Frother Clatronic MS 3502, Китай). Затем добавляли вторую жидкую фазу при непрерывном перемешивании миксером. Готовую эмульсию переливали в мерную пробирку с притертой пробкой для отстаивания. Тип эмульсии определяли по направлению седиментации капель или методом смешивания капли эмульсии с каплей воды на часовом стекле в случае, когда эмульсия не выделяла ни воду, ни масло. Наблюдение за эмульсиями продолжали в течение недели.

Результаты исследования и их обсуждение

Гидрофильно-гидрофобные частицы микроталька самопроизвольно закреплялись на поверхности раздела фаз, образуя межфазную пленку (или адсорбционный слой). Такая межфазная пленка была хорошо видна как на поверхности капли воды в воздушной среде, так и на поверхности эмульсионных капель гексана в воде под микроскопом (рис. 3).

В наших экспериментах были получены макроскопические свободные пленки, состоящие из двух таких межфазных слоев, как пенные, так и эмульсионные: водные в гексане (на платиновой рамке) и углеводородные (гексана в воде на фторопластовой рамке). Макропленки из талька были непрозрачны-

ми и матовыми (рис. 2, а), что характерно для пленок, полученных из твердых стабилизаторов [5], в отличие от пленок, стабилизированных растворимыми ПАВ, которым свойственны прозрачность и интерференция.

Свободные эмульсионные и пенные пленки из талька были высокоустойчивыми. Время жизни некоторых из них достигало 1 ч и более. Рис. 4 иллюстрирует утончение таких устойчивых пленок вследствие вытекания внутренней жидкой фазы под действием гравитации. Пенные пленки утончались за 2–3 мин до равновесной толщины h_e , равной 60 мкм (в случае напыления талька на поверхность воды) и 105 мкм (в случае перемешивания суспензии). Из равновесной толщины h_e и краевого угла $\theta \sim 70^\circ$ был рассчитан эффективный диаметр

твердых частиц $d_{ef} = \frac{h_e}{1 + \cos \theta}$ (т.е. диаметр

эквивалентной сферы, в предположении бислойной структуры пленки: два контактирующих межфазных монослоя твердых частиц [5]). Для самых тонких пленок значение d_{ef} составило 45 мкм, близкое к максимальному размеру частиц – 30–35 мкм, измеренному с помощью микроскопа. В отличие от пенных пленок утончение эмульсионной пленки (водной в гексане) продолжалось в течение всего периода измерений (120 мин). Наименьшая достигнутая толщина была равна 159 мкм. Вероятно, более толстые пенные и эмульсионные пленки состояли из нескольких слоев талька, что соответствует полислоистой структуре пленки, когда каждый межфазный слой состоит из нескольких слоев структурированных твердых частиц.

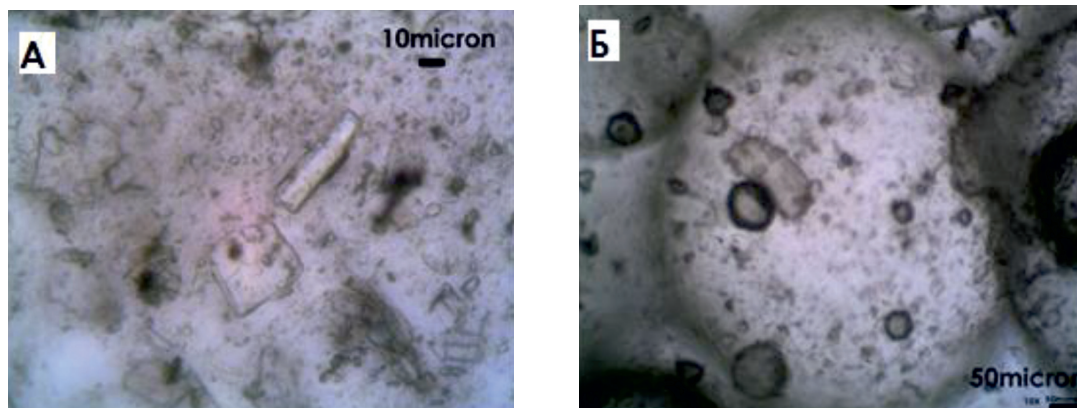


Рис. 3. Микрофотографии межфазных пленок частиц микроталька, образованных: (а) на поверхности сидячей капли воды (на поверхности стекла в воздушной среде, увеличение 400х); (б) на поверхности капли эмульсии гексана в воде с концентрацией микроталька 5% (мас.) при увеличении 100х

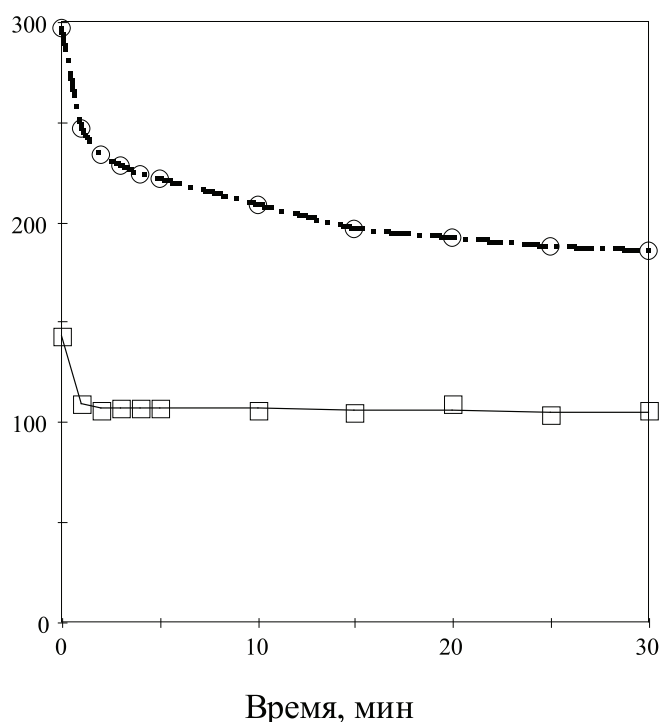


Рис. 4. Самопроизвольное утончение вертикальных свободных водных пленок под действием гравитации. Водная фаза содержит 1% талька и 0,1 М КСl. Сплошная линия – пенная пленка; штрих-пунктирная – эмульсионная пленка (водная в гексане)

В объемных эмульсиях и пенах подобные пленки (эмульсионные и пенные) представляют собой прослойки дисперсионной среды между деформированными каплями (пузырями). Исследовалась возможность стабилизации эмульсий не модифицированными микрочастицами талька с концентрацией от 1 до 30% (мас.) в пересчете на водную фазу.

Были получены эмульсии как прямые (масло в воде), так и обратные (вода в масле) в зависимости от типа углеводородной фазы. В случае предельного углеводорода (гексан) при объемной доле фазы масла $\phi_0 = 0,5$ могли быть получены эмульсии обоих типов: масла в воде, если частицы талька были предварительно диспергированы в воде, или

масла в воде при диспергировании талька в гексане. При доле масла $\phi_0 = 0,25$ (гексан) формировались прямые эмульсии, а при $\phi_0 = 0,75$ – обратные независимо от порядка диспергирования частиц. При использовании оливкового масла в качестве органической фазы формировались только обратные эмульсии во всех случаях: даже при иммерсии порошка талька в воду, а также при доле масла $\phi_0 \geq 0,3$. При дальнейшем уменьшении доли масла (увеличении доли воды ϕ_w) эмульсия разрушалась, но обращение фаз не наблюдалось. Причиной получения только обратных эмульсий может быть адсорбция на боковых (гидрофильных) поверхностях частиц талька компонентов оливкового масла, в результате чего гидрофильно-гидрофобные частицы становятся полностью гидрофобными. Известно, что тальк является хорошим адсорбентом. На его поверхности могут адсорбироваться как отдельные дифильные молекулы, так и их агрегаты [6]. Адсорбция из водной среды (например, анионного ПАВ олеата натрия в [6]) протекает на базальных гидрофобных поверхностях частиц талька. В случае же углеводородной среды адсорбция маслорастворимых ПАВ будет протекать на боковых гидрофильных поверхностях частиц. В отличие от предельного углеводорода гексана оливковое масло состоит из глицеридов жирных кислот (~99%), в основном олеиновой, пальмитиновой, линолевой. Кроме того, в нем содержатся такие маслорастворимые дифильные молекулы, как фенольные соединения («полифенолы»: гидрокситирозол и его производные), фосфолипиды, алифатические спирты, витамин Е (токоферолы), витамин К, каротиноиды (провитамин А) [7], которые могут гидрофобизировать боковые поверхности частиц талька.

Однако, несмотря на высокую стабильность свободных пенных пленок, объемная пена совершенно не формировалась ни при встряхивании, ни при взбивании с помощью миксера исследованных суспензий талька – с концентрацией твердых частиц от 0,5 до 50% (мас.). Это не согласуется с практикой применения твердых стабилизаторов, поскольку, во-первых, как было уже отмечено выше, микрочастицы талька обладают оптимальными характеристиками, необходимыми для стабилизации пен (как и эмульсий). Во-вторых, механизмы стабилизации твердыми частицами пен и эмульсий одинаковы [3]: закрепление частиц на межфазной поверхности с образованием защитного слоя вокруг пузырей (или капель), устойчивость пенных (или эмульсионных) пленок и струк-

турообразование в дисперсионной среде. Как показали наши исследования, частицы талька образуют межфазные пленки, а также устойчивые пенные и эмульсионные пленки. Поэтому остается пока непонятным, почему тальк не стабилизирует пены.

Заключение

Гидрофильно-гидрофобная поверхность пластинчатых частиц талька позволяет использовать их в качестве твердых стабилизаторов жидких пленок разного типа: пенных, эмульсионных водных и углеводородных. Микрочастицы талька могут стабилизировать эмульсии как прямого, так и обратного типа в зависимости от вида масла и иммерсии частиц в водную фазу или фазу масла.

Список литературы

1. Tarasevich Y.I., Aksenenko E.V. Hydrophobicity of talc basal surface // *Colloid Journal*. – 2014. – vol. 76, № 4. – P. 483–489.
2. Миронюк А.В. Реологическое поведение водных суспензий талька / А.В. Миронюк, А.А. Сикорский, Т.А. Караваев, В.А. Сви́дерский // *Восточно-Европейский журнал передовых технологий*. – 2012. – Т. 6, № 6. – С. 12–14.
3. Horozov T.S. Foams and foam films stabilized by solid particles // *Current Opinion in Colloid & Interface Science*. – 2008. – vol. 13. – P. 134–140.
4. Новый справочник химика и технолога. Процессы и аппараты химических технологий / ред. Островского Г.М. – СПб.: АНО НПО «Профессионал», 2004. – 848 с.
5. Nushtaeva A.V. Properties of emulsion and free emulsion (aqueous) films stabilized with hexylamine-modified silica / A.V. Nushtaeva, A.A. Shumkina // *Colloid Journal*. – 2013. – vol. 75, № 3. – P. 326–332.
6. Яковлева А.А. Изучение адсорбционной способности исходного и модифицированного талька к канифоли / А.А. Яковлева, С.Н. Чыонг // *Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология*. – 2011. – № 1. – С. 74–79.
7. Boskou D., Tsimidou M., Blekas G. Polar phenolic compounds, in: *Olive oil*, ed. by D. Boskou // *Chemistry and Technology*. – Elsevier, 2006. – P. 73–92.

References

1. Tarasevich Y.I., Aksenenko E.V. Hydrophobicity of talc basal surface. *Colloid Journal*, 2014, vol. 4, no. 76, pp. 483–489.
2. Mironiuk A.V., Sikorskii A.A., Karavaev T.A., Sviderskii V.A. Rheological Behavior of Talc Aqueous Suspensions [Reologicheskoe povedenie vodnykh suspenziy tal'ka]. *Vostochno-Evropeskii zhurnal peredovykh tekhnologii - Eastem-European Journal of Enterprise Technologies*, 2012, no. 6, pp. 12–14.
3. Horozov T.S. Foams and foam films stabilized by solid particles. *Current Opinion in Colloid and Interface Science*, 2008, no. 13, pp. 134–140.
4. Ostrovskii G.M. *Novyi spravochnik khimika i tehnologa. Protsessy i apparaty khimicheskikh tekhnologii* [New reference book by the chemist and technologist. Processes and devices of chemical technologies]. St. Petersburg, ANO NPO «Professional», 2004, 848.
5. Nushtaeva A.V., Shumkina A.A. Properties of emulsion and free emulsion (aqueous) films stabilized with hexylamine-modified silica. *Colloid Journal*, 2013, no. 75, pp. 326–332.
6. Iakovleva A.A., Chyong S.N. Studying of the adsorptive ability of the initial and modified talc to rosin [Izuchenie adsorbtsionnoi sposobnosti iskhodnogo i modifitsirovannogo tal'ka k kanifoli]. *Izvestiia vuzov. Prikladnaia khimiia i biotekhnologiya - News of higher education institutions. Applied chemistry and biotechnology*, 2011, no. 1, pp. 74–79.
7. Boskou D., Tsimidou M., Blekas G. Polar phenolic compounds, in: *Olive oil*, ed. by D. Boskou, *Chemistry and Technology*, Elsevier, 2006, pp. 73–92.

УДК 544.623

ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ДЕГРАДАЦИЯ СУПЕРИОНИКА

Рахымбеков А.Ж., Идрисова А.Е.

*Жетысуский государственный университет имени И. Жансугурова, Талдыкорган,
e-mail: rahim_tal@mail.ru*

В работе рассмотрен предельный режим работы твердого оксидного суперионного проводника в условиях больших плотностей тока, сопровождающийся электрическим старением или деградацией, приводящей к выходу из строя суперионного прибора. Исследованы экстремальные режимы работы кислородного насоса на основе твердого электролита или суперионика на основе стабилизированного оксида циркония для получения кислорода. Предложена модель электролитического восстановления, методика анализа кинетики установления вольт-амперных режимов, проведено обсуждение процесса в рамках электронной зонной модели. Показано, что восстановление начинается на стороне, примыкающей к объему, из которого выкачивается кислород. Это позволяет полагать, что процессы, протекающие на этой стороне, становятся лимитирующей стадией суммарной реакции. Возможно, что подведение кислорода к электроду из газовой фазы отстает от электрохимической отдачи. Установлен механизм электрохимической деградации твердого оксидного суперионного проводника на основе стабилизированного оксида циркония при больших плотностях тока $I = 8 \text{ A/m}^2$, при площади поперечного сечения суперионика $S \geq 24 \text{ cm}^2$. Предложена эквивалентная модель, электрическая схема деградирующей части суперионика с «абсолютно непроницаемым» для кислорода катодом и «проницаемым» для кислорода анодом. Получены вольт-амперные кривые для трех режимов работы суперионика: в бескислородной атмосфере, в момент восстановления суперионика, в режиме исключительно кислородноионной проводимости. Выведены математические зависимости удельных ионной и электронной электропроводностей во время установления вольт-амперных режимов от концентраций носителей и избыточных вакансий при соответствующих парциальных давлениях кислорода.

Ключевые слова: твердый, оксидный, суперионный проводник, температура, ток, электродвижущая сила, поле, деградация, катод, анод

ELECTRICAL DEGRADATION OF SUPERIONIC

Rakhymbekov A.Zh., Idrisova A.E.

Zhetysu State University named after I. Zhansugurov, Taldykorgan, e-mail: rahim_tal@mail.ru

The limiting mode of operation of solid oxide superionic conductor under conditions of high current densities, accompanied by electrical aging or degradation, leading to failure of the superionic device, is considered in this work. Extreme modes of operation of an oxygen pump based on solid electrolyte or superionic based on stabilized zirconium oxide for obtaining oxygen were studied. A model of electrolytic reduction, a technique for analyzing the kinetics of the establishment of current-voltage regimes, and a discussion of the process in the framework of the electronic band model are proposed. It is shown that recovery begins on the side adjacent to the volume from which oxygen is pumped out. This allows us to believe that the processes taking place on this side become the limiting stage of the total reaction. It is possible that the supply of oxygen to the electrode from the gas phase lags behind the electrochemical pumping. A mechanism for the electrochemical degradation of a solid oxide superionic conductor based on stabilized zirconium oxide is established at high current densities $I = 8 \text{ A/m}^2$, with a superionic cross-sectional area $S \geq 24 \text{ cm}^2$. An equivalent model is proposed, the electric circuit of the degrading part of the superionic with an «absolutely impermeable» oxygen cathode, and an oxygen permeable anode. Volt-ampere curves were obtained for three modes of operation of the superionics: in an oxygen-free atmosphere, at the time of restoration of the superionic, in the regime of exclusively oxygen-conduction. Mathematical dependences of the specific ionic and electronic conductivities during the establishment of the current-voltage regimes on the carrier concentrations and excess vacancies at the corresponding partial oxygen pressures are derived.

Keywords: solid, oxide, superionic conductor, temperature, current, electromotive force, field, degradation, cathode, anode

Актуальность исследования электрической деградации суперионных проводников на основе стабилизированной оксида циркония связана с разработкой кислородного насоса для получения особо чистого кислорода из состава инертных газов, подаваемых в технологические камеры, а также для очистки кислородосодержащих расплавов полупроводников и цветных металлов. Электрическая деградация суперионика или его восстановление является основной причиной отказа при работе таких приборов. Восстановление неизбежно

наступает при увеличении тока. Отсюда вытекает противоречие между требованиями производительности и надежности работы приборов. В нашей работе исследованы экстремальные режимы работы кислородного насоса на основе твердого электролита или суперионика на основе стабилизированного оксида циркония для получения кислорода [1]. Транспортные свойства твердых оксидных суперионных проводников (ТОСП) положены в основу различных приложений. На перегородке из такого материала, снабженной инертными

электродами и разделяющей среды с разными химическими потенциалами кислорода (рис. 1, а), существует кислородная концентрационная электродвижущая сила (ЭДС), пропорциональная логарифму отношения концентраций кислорода

$$\varepsilon = t_u \cdot \frac{RT}{4F} \cdot \ln \frac{P^1_{O_2}}{P^2_{O_2}}. \quad (1)$$

Здесь R – универсальная газовая постоянная, F – число Фарадея, T – температура, P^1 и P^2 – давления кислорода по обе стороны перегородки. От формулы Нернста

$$\varepsilon = \frac{RT}{4F} \cdot \ln \frac{a_{ox}}{a_{red}} \quad (2)$$

выражение (1) отличается множителем «ионная доля проводимости ионного диэлектрика» t_u . Такие ячейки «без переноса» используют для термодинамических исследований, для газового анализа и для измерения ионной доли проводимости оксидных диэлектриков.

Если в такой системе ионный диэлектрик – электронный проводник – кислородсодержащие среды электроды замкнуть на пассивную нагрузку (рис. 1, б), то в цепи потечет ток, пропорциональный логарифму отношения концентраций кислорода. Такие ячейки «с переносом без внешнего источника» используют в качестве топливных элементов.

Если через подобную систему пропускать ток от внешнего источника, то можно регулировать содержание кислорода в одном из объемов (рис. 1, в). Приращение концентрации кислорода (Δp_{O_2}) в объеме V

за время τ пропорционально току (i), проинтегрированному за это время:

$$\Delta p = \frac{RT}{4FV} \cdot \int_0^\tau i d\tau. \quad (3)$$

Такая ячейка «с переносом от внешнего источника» представляет собой наиболее общую модель кислородного насоса – устройства дозирования кислорода с помощью твердых оксидных ионных проводников. С середины 1960-х гг. публикуется много работ, главным образом физико-химиков и электрохимиков, посвященных исследованию известных и поискам новых твердых кислородноионных проводников, а также развитию их приложений. Последним, наиболее крупным обобщением явилась монография В.Н. Чеботина и М.В. Перфильева [2]. Круг приложений стабилизированного оксида ZrO_2 расширяется. Путем измерения ЭДС электрохимических ячеек с электролитом из стабилизированного оксида ZrO_2 , кроме термодинамических измерений и газового анализа, проводят кинетические и диффузионные исследования активности кислорода в расплавленном металле, измерение температуры, контроль газопроницаемости. Стабилизированный диоксид циркония ZrO_2 используют в качестве эталона при разработке методов измерения ионной доли проводимости оксидных керамических материалов.

В результате наших исследований предложена модель электролитического восстановления, методика анализа кинетики установления вольт-амперных режимов, проведено обсуждение процесса в рамках электронной зонной модели.

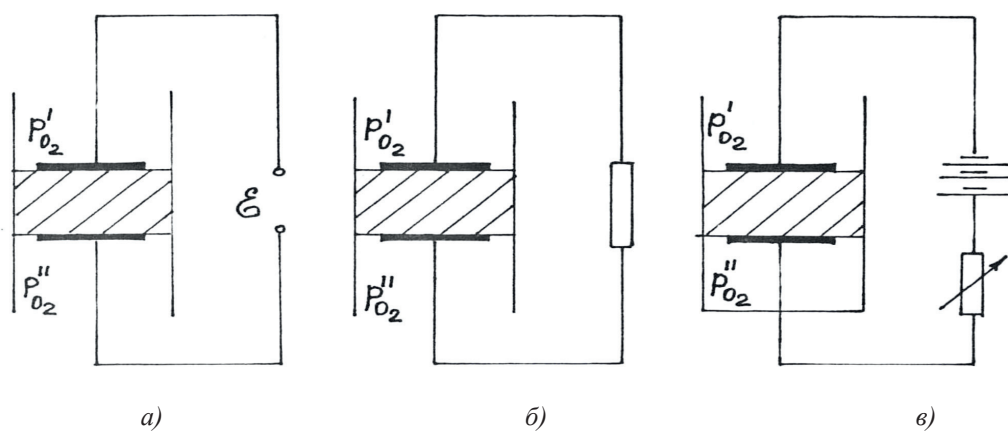


Рис. 1. Основные типы концентрационных ячеек из ТОСП: а) ячейка из ТОСП, как источник электродвижущей силы ЭДС; б) ячейка из ТОСП, как источник тока; в) ячейка из ТОСП, как регулируемый кислородный насос (КН)

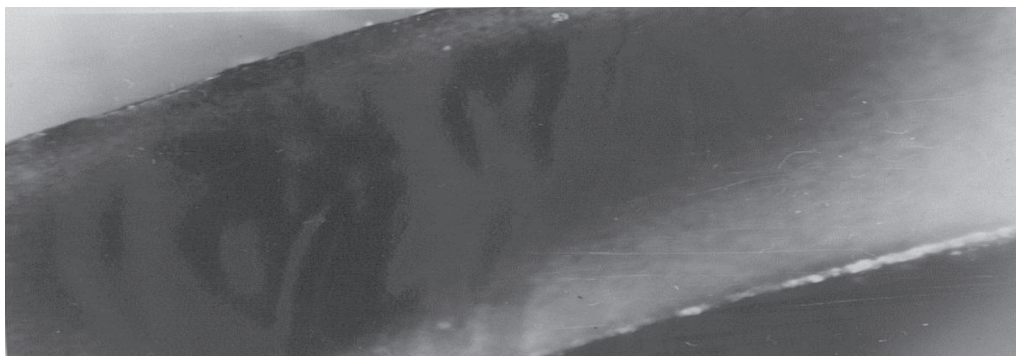


Рис. 2. Шлиф поперечного сечения кислородного насоса после восстановления твердого электролита

Экспериментально установлено, что надежность устройства ограничивается необратимым восстановлением или деградацией суперионного твердого электролита при условиях больших плотностей тока. На рис. 2. показан шлиф поперечного сечения кислородного насоса, доведенного до разрушения электрическим током при величине $I = 8 \text{ A}$ ($S \geq 24 \text{ cm}^2$). Восстановленная часть сечения, как видно из рисунка, потемнела. Для наглядности выбрано сечение, в котором можно видеть незавершенную картину восстановления. Оно начинается на стороне, примыкающей к объему, из которого выкачивается кислород. Очевидно, процессы на этой стороне становятся лимитирующей стадией суммарной реакции. Возможно, что подведение кислорода к электроду из газовой фазы отстает от электрохимической откачки.

Напряжение сосредотачивается на этой границе, пока не начинается инжекция электронов из электрода в приграничную область электролита на образующиеся вакансии кислорода. Это касается вакансий, концентрация которых связана с наложением электрического поля и является избыточной по сравнению с постоянной, присущей электролиту «собственной» концентрации, заданной стабилизирующей примесью [3].

Известно, что электроны, инжектированные на эти вакансии, ответственны за электронную проводимость, свойственную восстановленному электролиту наряду с ионной проводимостью. Появление электронной проводимости в восстановленном слое обеспечивает дальнейшее развитие процесса, по электронному шунту электроны подводятся к границе восстановленной-невосстановленной областей, где они за-

мещают отрицательный заряд, уносимый ионами O^{2-} .

В результате фронт восстановления перемещается к положительному электроду. При этом ток в цепи обусловлен ионами кислорода, «выбранными» из твердого электролита. Количество электричества ΔQ , перенесенное этим током за время сквозного восстановления τ_b , связано с образовавшейся избыточной концентрацией вакансий n_b зависимостью (3):

$$\Delta Q = \int_0^{\tau_b} I dt = n_b \cdot V \cdot 2e, \quad (4)$$

где V – объем электролита.

Когда фронт достигает противоположного электрода, появляется сквозной электронный ток, и восстановление прекращается. Нам представляется, что исследование деградации полезно для оценки концентрации избыточных вакансий, а также для обеспечения надежности работы устройств путем определения угрожающей ситуации по характеристикам работающего прибора. Мы предлагаем подход к такому исследованию, изложенный в работе [4].

Рассмотрим, каким должно быть поведение вольт-амперной характеристики при восстановлении электролита, на примере идеализированной ячейки, показанной на рис. 3, где электрод 1 – непроницаем для кислорода, электрод 2 – абсолютно проницаем для кислорода, а остальная поверхность электролита 3 герметизирована. Исходная проводимость электролита исключительно кислородноионная, сечение электролита S , толщина h , текущее значение глубины восстановления y . Давление кислорода в окружающем газе намного выше того, при котором электролит восстанавливается [5].

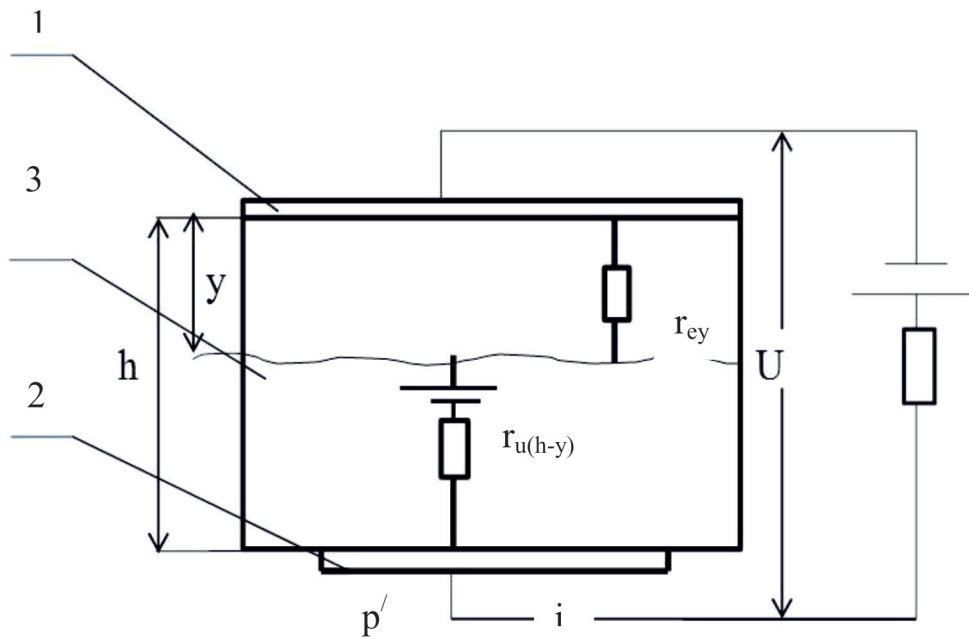


Рис. 3. Восстановление твердого оксидного электролита вследствие пропускания тока при непроницаемом для кислорода на катоде: 1 и 2 – электроды; 3 – герметизированная поверхность

При $\tau = 0$ к ячейке подключается внешний источник минусом к электроду 1. Если напряжение U превышает пороговое U_B , то течет ток, связанный с восстановлением. Пусть степень восстановления формируется скачком, отвечая давлению кислорода p_B и концентрации электронных носителей n_B . Тогда процесс сводится к продвижению фронта восстановления – увеличению y , причем электронная проводимость σ_e в области $(0 - y)$ равна $\sigma_{эв}$, а в области $(y - h)$ – «работает» электронная проводимость, на участке $(y - h)$ – ионная.

На границе восстановленной и невосстановленной областей внешнему источнику приходится преодолевать встречную концентрационную ЭДС (5):

$$E_B = \frac{RT}{4F} \cdot \ln \frac{P}{P_B} = U_B. \quad (5)$$

Для тока можно записать выражение

$$I = \frac{(U - E_B) \cdot S \cdot \sigma_{и}}{y \left(\frac{\sigma_{и}}{\sigma_{эв}} - 1 \right) + h},$$

$$i_{y=0} = \frac{(U - E_B) \sigma_{и} \cdot S}{h},$$

$$i_{y=h} = \frac{(U - E_B) \sigma_{эв} \cdot S}{h}. \quad (6)$$

Видно, что каждой точке вольт-амперной кривой, измеряемой на «свежем» образце, при начале восстановления отвечает исключительно ионной, а по завершении восстановления – исключительно электронной проводимости всего образца. Соответственно этому на рис. 4 точка с кривой А, отвечающей условию $\sigma = \sigma_{и}$, по мере восстановления перемещается на кривую В в случае $\sigma_{эв} < \sigma_{и}$, либо на кривую Б в случае $\sigma_{эв} > \sigma_{и}$.

Путь перемещения, очевидно, зависит от режима работы источника. При $\sigma_{эв} > \sigma_{и}$ перемещения не будет.

$$U_{\tau=0} = \frac{h \cdot I}{S \cdot \sigma_{и}} + U_B,$$

$$U_{\tau=\tau_B} = \frac{h \cdot I}{S \cdot \sigma_{эв}} + U_B, \quad (7)$$

$$\tau_B = \frac{2hSe}{I} \cdot n_B,$$

$$U_{I=0} = U_B = \frac{RTP}{4F} \cdot \frac{1}{P_B}, \quad (8)$$

где τ_B – время установления напряжения. Наблюдая время установления вольт-амперных режимов, можно с помощью этих выражений рассчитывать удельные электропроводности $\sigma_{и}$ и $\sigma_{эв}$, избыточную кон-

центрацию вакансий n_b и соответствующее ей давление кислорода p_b . Сопоставляя скорость изменения напряжения со справедливым для идеального случая выражением (9)

$$\frac{dU}{dt} = \left(\frac{I}{S}\right)^2 \cdot \frac{\sigma_{эв} - \sigma_{и}}{\sigma_{и}} \cdot \frac{1}{2en_b}, \quad (9)$$

можно контролировать адекватность модели [6]. Подобный характер установления вольт-амперных режимов мы неоднократно наблюдали при исследовании устройств дозирования кислорода в потоке инертного газа в режимах глубокой откачки, как например, на рис. 5.

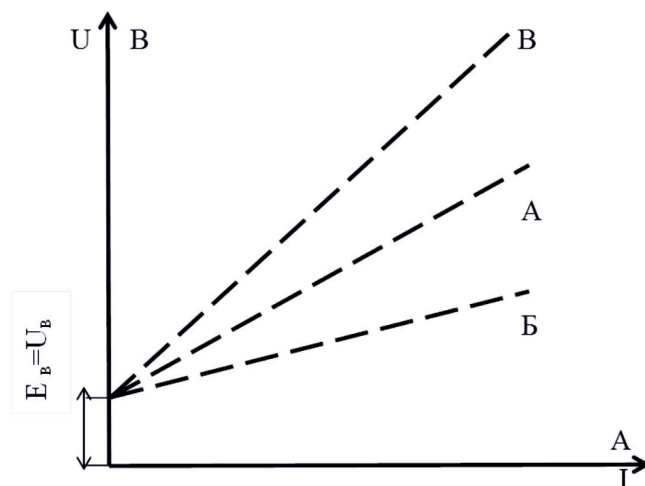


Рис. 4. Установление вольт-амперных режимов ячейки с твердым оксидным электролитом при непроницаемом для кислорода катоде: А – в первый момент измерения; Б – по окончании восстановления, при $\sigma_{эв} > \sigma_{и}$; В – при $\sigma_{эв} < \sigma_{и}$

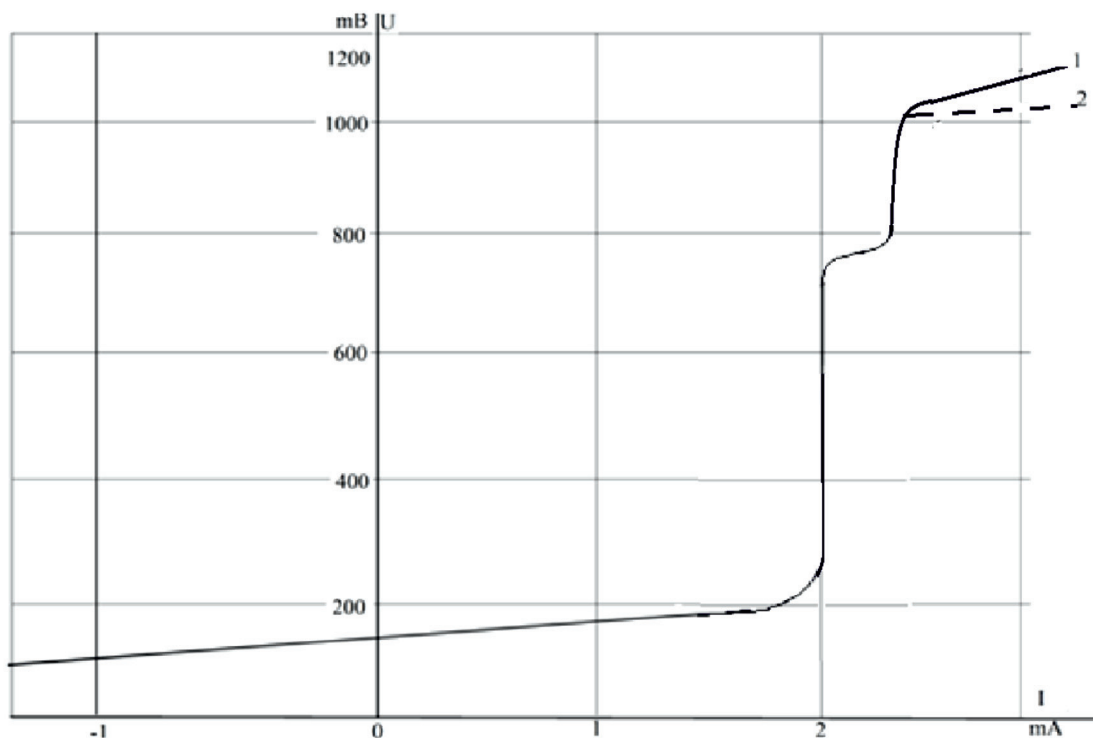


Рис. 5. Входная характеристика кислородного насоса для дозирования кислорода в потоке инертного газа при $T = 970 \text{ K}$, $v = 0,7 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3/\text{с}$, $p_0 = 9,9 \text{ Па}$; $p = 2,1 \cdot 10^4 \text{ Па}$: 1 – установившийся режим; 2 – в начале каждого измерения

Выводы

1. Установлен механизм электрохимической деградации твердого оксидного суперионного проводника на основе стабилизированного оксида циркония при больших плотностях тока $I = 8 \text{ A/m}^2$, ($S \geq 24 \text{ cm}^2$).

2. Предложена эквивалентная модель, электрическая схема деградирующей части суперионика с «абсолютно непроницаемым» для кислорода катодом и «проницаемым» для кислорода анодом.

3. Получены вольт-амперные кривые для трех режимов работы суперионика (А – в бескислородной атмосфере, Б – в момент восстановления суперионика при $\sigma_{\text{зв}} > \sigma_{\text{и}}$; В – при режиме исключительно кислородно-ионной проводимости, когда $\sigma_{\text{зв}} < \sigma_{\text{и}}$).

4. Выведены математические зависимости удельных ионной $\sigma_{\text{и}}$ и электронной $\sigma_{\text{з}}$ электропроводностей во время установления вольт-амперных режимов от концентраций носителей и избыточных вакансий при соответствующих парциальных давлениях кислорода.

5. Установлено подобие кривых путем относительного сравнения вольт-амперных кривых при экстремальных режимах работ суперионика в процессе дозирования кислорода в потоке инертного газа при $T = 970 \text{ K}$, $v = 0,7 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3/\text{с}$, $p_0 = 9,9 \text{ Па}$; $p = 2,1 \cdot 10^4 \text{ Па}$.

Список литературы

1. Укше Е.А. Твердые электролиты / Е.А. Укше, Н.Г. Букун. – М.: Наука, 2015. – 146 с.
2. Чеботин В.Н. Электрохимия твердых электролитов / В.Н. Чеботин, М.В. Перфильев. – М.: Химия, 2014. – 345 с.
3. Рахымбеков А.Ж. Концентрационные ячейки на основе ТОИП / А.Ж. Рахымбеков, Р.А. Садуакасова, Г.С. Нурбосынова // 13-ая международная научная практическая конференция. Наука и Просвещение. – 2017. – ч. 1. – С. 12–16.
4. Rakhymbekov A.Zh. Oxydenpump from ahardel ectrolyte // Global Science and innovation. – Chicago, 2015. – March 12–13th. – P. 296–298.
5. Батенков В.А. Электрохимия полупроводников / В.А. Батенков. – Барнаул: Изд-во Алт. ун-та, 2002. – 162 с.
6. Дамаскин Б.Б. Электрохимия: учебник / Б.Б. Дамаскин, О.А. Петрий, Г.А. Цирлина. – М.: Химия, 2001. – 624 с.

References

1. Ukshe E.A., Bukun N.G. Tverdye elektrolity [Solid electrolytes]. Moscow, M.: Nauka, 2015, 146.
2. Chebotin V.N., Perfil'ev M.V. Elektrokhimiiia tverdykh elektrolitov [Electrochemistry of Solid Electrolytes]. Moscow, M.: Khimiia, 2014, 345.
3. Rakhymbekov A.Zh., Saduakasova R.A., Nurbosynova G.S. Kntsentratsionnye iacheiki na osnove tverdykh oksidnykh ionnykh provodnikov [Concentration Cell Based on Solid Oxide Ion Conductors]. LUCHShA1a NAUChNA1a STAT"1a 2017: sbornik statei XIII Mezhdunarodnogo nauchno- prakticheskogo konkursa [The BEST SCIENTIFIC ARTICLE of 2017: collection of articles XIII International scientific practical competition]. Penza, Penza: MTsNS «Nauka i Prosveshchenie», 2017, pp. 12-15.
4. Rakhymbekov A.Zh. Oxydenpump from ahardel ectrolyte . Proceedings of the Global Science and innovation (Chicago, March 12-13, 2015), , Chicago, 2015, pp. 296-298.
5. Batenkov V.A. Elektrokhimiiia poluprovodnikov [Electrochemistry of semiconductors]. Barnaul, Izd-vo Alt. un-ta, 2002, 162.
6. Damaskin B.B. Elektrokhimiiia [electrochemistry]. Moscow, M.: Khimiia, 2001, 624.

УДК 544.726

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СИЛИКАТНОГО СОРБЕНТА ДЛЯ ОЧИСТКИ ВОДНЫХ РАСТВОРОВ ОТ ИОНОВ Zn^{2+}

^{1,2}Ярусова С.Б., ²Гордиенко П.С., ^{2,3}Буравлев И.Ю., ²Жевтун И.Г., ¹Нарбутович А.А.

¹ФГБОУ ВО «Владивостокский государственный университет экономики и сервиса», Владивосток, e-mail: narbutovich7451@bk.ru;

²ФГБУН «Институт химии» Дальневосточного отделения Российской академии наук, Владивосток, e-mail: yarusova_10@mail.ru;

³ФГАОУ ВО «Дальневосточный федеральный университет», Владивосток

В работе представлены результаты исследования сорбционных свойств силикатного сорбента, полученного автоклавным методом из отходов производства борной кислоты с содержанием основных компонентов, мас. %: SiO_2 – 32,2%; CaO – 28,4; SO_3 – 31,3%; Fe_2O_3 – 2,7%. Исследован процесс сорбции ионов цинка из водных растворов в статических условиях при 20 °С из водных растворов хлорида цинка. Установлено, что максимальная сорбционная емкость силикатного сорбента составляет 1,4 ммоль·г⁻¹. Показано, что процесс сорбции ионов Zn^{2+} протекает достаточно интенсивно, и время достижения равновесия составляет 30 мин. Проведен расчет значений свободной энергии Гиббса (ΔG°_{xp}) для соответствующих химических реакций хлорида цинка с компонентами сорбента. Согласно рассчитанным значениям ΔG°_{xp} , термодинамически возможными являются реакция взаимодействия хлорида цинка с силикатом кальция (-291,4 кДж·моль⁻¹) и реакция взаимодействия хлорида цинка с карбонатом кальция (-249,6 кДж·моль⁻¹). Данные атомно-абсорбционной спектроскопии показали, что с увеличением исходной концентрации ионов Zn^{2+} в растворах увеличивается и концентрация ионов Ca^{2+} в фильтрах после сорбции. Результаты, полученные методом атомно-абсорбционной спектроскопии, коррелируют с результатами анализа элементного состава твердых осадков после сорбции, выполненного с помощью энергодисперсионного рентгенофлуоресцентного метода. Указанные физико-химические методы анализа фильтратов и твердых осадков после сорбции показали, что основным механизмом сорбции во всех рассматриваемых случаях является катионный обмен ионов Ca^{2+} на ионы Zn^{2+} в соединениях, присутствующих в составе силикатного сорбента.

Ключевые слова: отходы производства борной кислоты, силикатный сорбент, ионы цинка, сорбция

USING OF SILICATE SORBENT FOR AQUEOUS SOLUTIONS PURIFICATION FROM ZINC IONS Zn^{2+}

^{1,2}Yarusova S.B., ²Gordienko P.S., ^{2,3}Buravlev I.Yu., ²Zhevtun I.G., ¹Narbutovich A.A.

¹Vladivostok State University of Economics and Service, Vladivostok, e-mail: narbutovich7451@bk.ru;

²Institute of Chemistry, Far-Eastern Branch, Russian Academy of Sciences, Vladivostok, e-mail: yarusova_10@mail.ru;

³Far Eastern Federal University, Vladivostok

The paper presents the results of sorption properties study of silicate sorbent obtained by autoclave method from wastes of boric acid production with the content of the main components, by weight. %: SiO_2 – 32.2%; CaO – 28.4; SO_3 – 31.3%; Fe_2O_3 – 2.7%. The process of zinc ions sorption from aqueous solutions under static conditions at 20 °C from aqueous solutions of zinc chloride was studied. It is found that the maximum sorption capacity of silicate sorbent is 1.4 mmol·g⁻¹. It is shown that the process of Zn^{2+} ions sorption is intensive, and achieves equilibrium time is 30 minutes. The values of the Gibbs energy (ΔG°) for the corresponding chemical reactions of zinc chloride with sorbent components are calculated. According to the calculated values of ΔG° , the reaction of zinc chloride interaction with calcium silicate (-291.4 kJ mol⁻¹) and interaction of zinc chloride with calcium carbonate (-249.6 kJ mol⁻¹) is thermodynamically possible. The data of atomic absorption spectrometry showed that an increase of the initial concentration of Zn^{2+} ions in solutions also causes the increase of Ca^{2+} ions concentration after sorption. The results obtained by the method of atomic absorption spectrometry correlate with the analysis results of the elemental composition of solid precipitates after sorption performed with the energy dispersive X-ray fluorescent method. These physicochemical methods for the analysis of filtrates and solid precipitates after sorption showed that the main mechanism of sorption in all cases is the cation exchange of Ca^{2+} ions for Zn^{2+} ions in compounds present in the silicate sorbent composition.

Keywords: boric acid production waste, silicate sorbent, zinc ions, sorption

Загрязнение окружающей среды тяжелыми металлами в результате деятельности различных промышленных предприятий является актуальной проблемой, требующей разработки экологически безопасных и дешевых сорбционных материалов для детоксикации загрязненных объектов.

Среди неорганических материалов, используемых для извлечения ионов тяжелых металлов, в том числе цинка, особую группу представляют природные и синтетические силикаты [1–3].

Авторы [4–6] рассматривают силикаты и гидросиликаты кальция определенного

состава и структуры как соединения, которые могут использоваться при очистке водных растворов от ионов Zn^{2+} .

Цель исследования – изучение сорбционных свойств материала на основе гидросиликата кальция (далее – силикатного сорбента), полученного из техногенных отходов производства борной кислоты (борогипса), по отношению к ионам Zn^{2+} .

Материалы и методы исследования

Для получения сорбента использовали отходы производства борной кислоты – борогипс с удельной поверхностью $12,9 \text{ м}^2 \cdot \text{г}^{-1}$ и содержанием основных компонентов, масс. %: SiO_2 – 32,2%; CaO – 28,4; SO_3 – 31,3%; Fe_2O_3 – 2,7%. Дигидрат сульфата кальция и аморфный кремнезём являются основными компонентами вышеуказанных отходов. Борогипс смешивали с раствором гидроксида калия квалификации «ч.д.а» в стехиометрическом соотношении. Полученную смесь подвергали автоклавной обработке при давлении $1,7 \cdot 10^5 \text{ Па}$ в течение 3 ч. После окончания заданного интервала времени полученную смесь извлекали из автоклава, промывали осадок дистиллированной водой, нагретой до $60\text{--}70^\circ\text{C}$, отделяли от раствора фильтрованием и сушили при температуре 85°C . Выход целевого продукта контролировали по количеству гидроксида калия, прореагировавшего в результате реакции [7].

Исследования по сорбции ионов Zn^{2+} проводили при соотношении твердой и жидкой фаз, равном 1:40, в статических условиях при 20°C из водных растворов $ZnCl_2$ в течение 3 ч. Предварительно готовили серию растворов хлорида цинка с начальными концентрациями в диапазоне от 1,6 до $79,7 \text{ ммоль} \cdot \text{л}^{-1}$. Также параллельно проводили опыты с борогипсом (состав указан выше), из которого был получен силикатный сорбент, и с карбонатом кальция (квалификации «х.ч.»), присутствующем в виде примеси в исходном сырье и силикатном сорбенте.

Кинетику сорбции исследовали при условиях, аналогичных вышеуказанным, во временных интервалах – от 1 до 120 мин. Начальная концентрация ионов Zn^{2+} составляла $16,0 \text{ ммоль} \cdot \text{л}^{-1}$. Через определенные промежутки времени растворы отделяли от сорбента фильтрованием и определяли в них концентрацию ионов Zn^{2+} .

Сорбционную емкость (A_c , $\text{ммоль} \cdot \text{г}^{-1}$) силикатного сорбента рассчитывали по формуле

$$A_c = \frac{(C_{\text{исх}} - C_p)}{m}, \quad (1)$$

где $C_{\text{исх}}$ – исходная концентрация ионов Zn^{2+} в растворе, $\text{ммоль} \cdot \text{л}^{-1}$; C_p – равновесная концентрация ионов Zn^{2+} в растворе, $\text{ммоль} \cdot \text{л}^{-1}$; V – объем раствора, л; m – масса сорбента, г.

Степень извлечения ионов Zn^{2+} (α , %) рассчитывали по формуле

$$\alpha = \frac{(C_{\text{исх}} - C_p)}{C_{\text{исх}}} \cdot 100\%. \quad (2)$$

Рентгеновские дифрактограммы записывали на дифрактометре Bruker D8 Advance (Германия) в $Cu K_\alpha$ -излучении.

Удельную поверхность ($S_{\text{уд}}$) определяли по адсорбции азота на приборе «Сорбтометр-М».

Содержание ионов Zn^{2+} и Ca^{2+} в растворах определяли методом атомно-абсорбционной спектроскопии на двухлучевом спектрометре Solaar M6 (Thermo Scientific, США) по аналитическим линиям 213,9 и 422,6 нм соответственно. Предел обнаружения ионов цинка в водных растворах составляет $0,001 \text{ мкг} \cdot \text{мл}^{-1}$, кальция – $0,0005 \text{ мкг} \cdot \text{мл}^{-1}$. Относительная ошибка определения ионов цинка методом ААС составляет 15 %, кальция – 10 %.

Элементный анализ выполняли методом энергодисперсионной рентгенофлуоресцентной спектроскопии на спектрометре Shimadzu EDX 800 HS (Япония).

Результаты исследования и их обсуждение

Результаты РФА показали, что синтезированный образец состоит из аморфной фазы, а также содержит кристаллическую фазу карбоната кальция. В результате обжига образца происходит переход аморфных гидросиликатов кальция в кристаллическую фазу волластонита $CaSiO_3$ триклинной модификации, о чем свидетельствуют данные РФА образца после обжига при 900°C . Удельная поверхность исследуемого материала варьировала от $30,8$ до $80,0 \text{ м}^2 \cdot \text{г}^{-1}$.

На рис. 1 приведена зависимость величины сорбционной емкости силикатного сорбента из борогипса от исходной концентраций ионов Zn^{2+} . Для эффективных сорбентов, имеющих высокие значения степени извлечения ионов из растворов, т.е. когда исходные концентрации ионов ($C_{\text{исх}}$) значительно выше равновесных концентраций (C_p), нецелесообразно построение изотермы сорбции в виде зависимости величины сорбции (A_c) от равновесной концентрации (C_p),

так как теряется наглядность того, при каких значениях исходных концентраций мы имеем соответствующие величины сорбции.

Для оценки сорбционных свойств силикатного сорбента полученные экспериментальные данные анализировали в соответствующих координатах уравнения Ленгмюра:

$$C_p/A_c = (1/A_{\max} k) + C_p/A_{\max},$$

где C_p – равновесная концентрация ионов Zn^{2+} в растворе, A_m – максимальная сорбционная емкость, k – константа Ленгмюра.

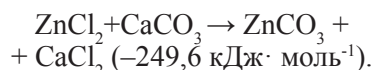
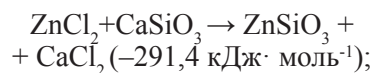
Найденные параметры уравнения Ленгмюра: $k = 59,03 \text{ л} \cdot \text{ммоль}^{-1}$, $A_m = 1,4 \text{ ммоль} \cdot \text{г}^{-1}$.

На рис. 2 приведена кинетическая кривая сорбции ионов Zn^{2+} силикатным сорбентом.

Как видно из приведенной кинетической кривой, процесс сорбции ионов Zn^{2+} протекает достаточно интенсивно, и время достижения равновесия составляет 30 мин (степень извлечения ионов Zn^{2+} составляет 99,1%).

Исследование механизма сорбции ионов Zn^{2+} силикатным сорбентом проводили посредством расчета значений свободной энергии Гиббса ($\Delta G_{x,p}^\circ$) для соответствующих химических реакций хлорида цинка с компонентами сорбента. Ранее установлено, что получаемые в автоклавных условиях силикатные сорбенты представляют собой многокомпонентную систему, и при исследовании механизма сорбции необходимо учитывать возможность взаимодействия солей метал-

лов с гидросиликатом кальция, $CaCO_3$, SiO_2 и $CaSO_4 \cdot 2H_2O$. С этой целью проведен расчет значений свободной энергии Гиббса для соответствующих химических реакций. Для расчета использовали данные, приведенные в [8, 9]. Согласно рассчитанным значениям $\Delta G_{x,p}^\circ$, термодинамически возможными являются следующие реакции:



Проведенные термодинамические расчеты подтверждают исследования, проведенные с привлечением современных физико-химических методов анализа фильтратов и твердых осадков после сорбции, а также борогипса и компонентов, входящих в состав сорбента.

В контрольном опыте непосредственно борогипс характеризовался незначительной величиной сорбционной емкости по сравнению с полученным из него силикатным сорбентом (до $0,18 \text{ ммоль} \cdot \text{г}^{-1}$), что обусловлено наличием микропримесей в исходном сырье. Результаты контрольного опыта с карбонатом кальция $CaCO_3$ показали, что сорбционная емкость карбоната кальция также существенно ниже по сравнению с исследуемым силикатным сорбентом.

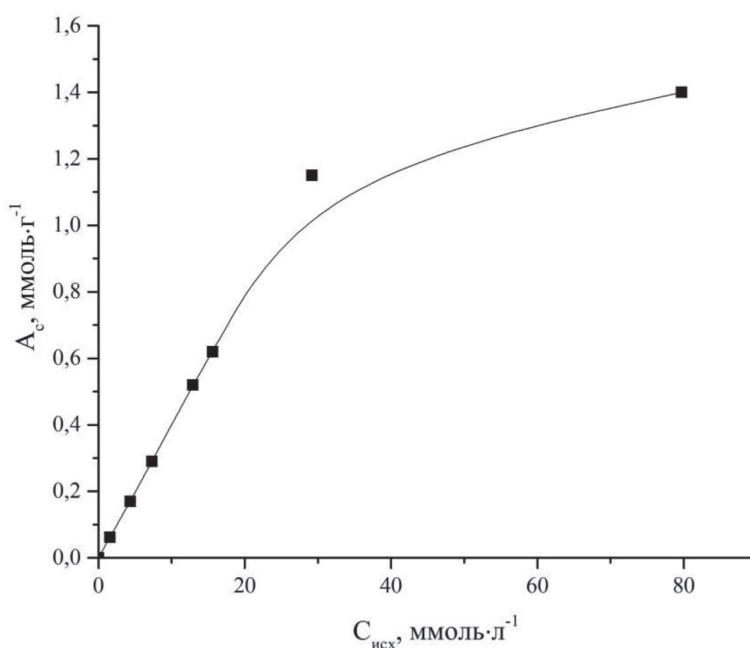


Рис. 1. Зависимость сорбционной емкости (A_c) от исходной концентрации ($C_{исх}$) ионов Zn^{2+} в растворе

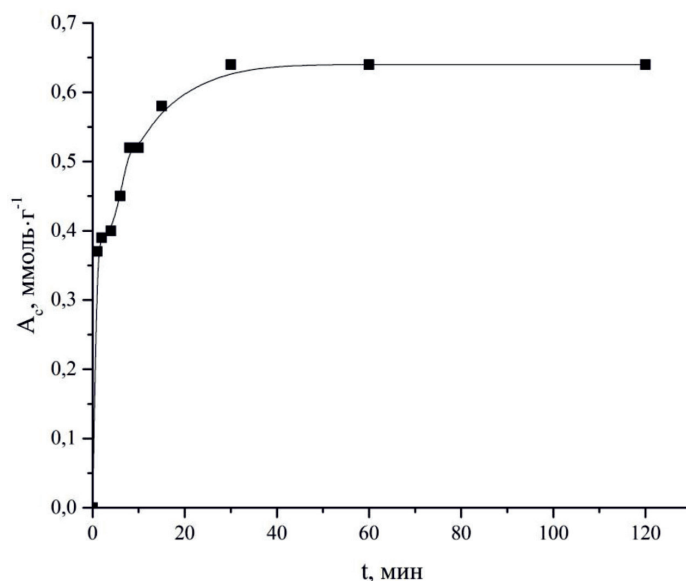


Рис. 2. Кинетическая кривая сорбции ионов Zn^{2+} силикатным сорбентом

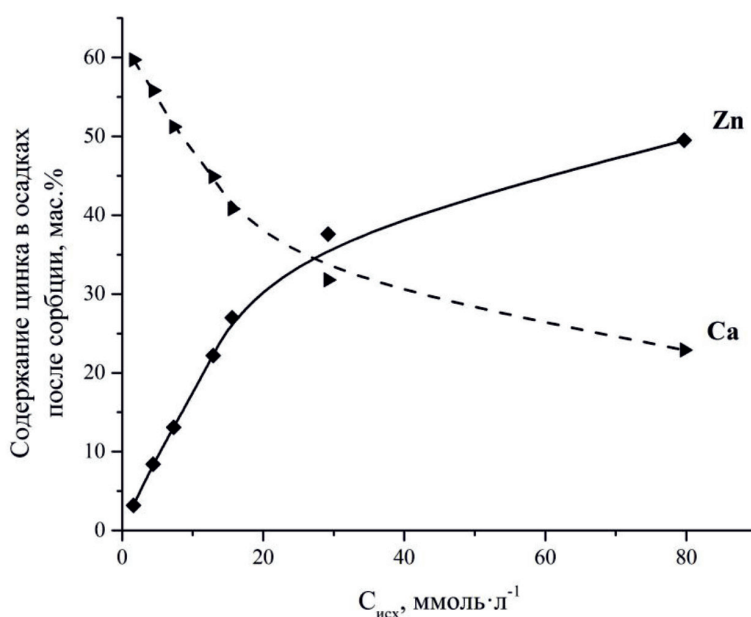


Рис. 3. Зависимости содержания цинка и кальция в осадках после сорбции от исходной концентрации ионов Zn^{2+} в растворе [10]

Данные атомно-абсорбционной спектроскопии показали, что с увеличением исходной концентрации ионов Zn^{2+} в растворах увеличивается и концентрация ионов Ca^{2+} в фильтратах после сорбции, что свидетельствует о замещении ионов Ca^{2+} на ионы Zn^{2+} в компонентах силикатного сорбента. Данные, полученные методом атомно-абсорбционной спектроскопии, коррелируют

с результатами анализа элементного состава твердых осадков после сорбции, выполненного с помощью энергодисперсионного рентгенофлуоресцентного метода (рис. 3).

Из представленного рисунка видно, что с увеличением исходной концентрации ионов Zn^{2+} в растворе в осадках после сорбции уменьшается содержание кальция и увеличивается содержание цинка.

Представленные результаты свидетельствуют о том, что основным механизмом сорбции во всех рассматриваемых случаях является катионный обмен ионов Ca^{2+} на ионы Zn^{2+} в соединениях, присутствующих в составе силикатного сорбента.

Заключение

Исследован процесс извлечения ионов цинка из водных растворов силикатным сорбентом, полученным из отходов производства борной кислоты. Найдено, что максимальная сорбционная емкость силикатного сорбента составляет $1,4 \text{ ммоль} \cdot \text{г}^{-1}$. Показано, что процесс сорбции ионов Zn^{2+} протекает достаточно интенсивно, и время достижения равновесия составляет 30 мин. Установлено, что термодинамически возможными являются реакция взаимодействия хлорида цинка с силикатом кальция ($\Delta G_{\text{x.p}}^{\circ} = -291,4 \text{ кДж} \cdot \text{моль}^{-1}$) и реакция взаимодействия хлорида цинка с карбонатом кальция ($\Delta G_{\text{x.p}}^{\circ} = -249,6 \text{ кДж} \cdot \text{моль}^{-1}$). Установлено, что с увеличением исходной концентрации ионов Zn^{2+} в растворах, увеличивается и концентрация ионов Ca^{2+} в фильтрах после сорбции. Результаты, полученные методом атомно-абсорбционной спектроскопии, коррелируют с результатами анализа элементного состава твердых осадков после сорбции, выполненного с помощью энергодисперсионного рентгенофлуоресцентного метода. Указанные физико-химические методы анализа фильтратов и твердых осадков после сорбции показали, что основным механизмом сорбции во всех рассматриваемых случаях является катионный обмен ионов Ca^{2+} на ионы Zn^{2+} в соединениях, присутствующих в составе силикатного сорбента. Таким образом, силикатный сорбент, полученный из отходов борного производства, может использоваться в процессах извлечения ионов Zn^{2+} из водных растворов.

Работа выполнена при финансовой поддержке проекта 4.5913.2017/8.9 (Министерство образования и науки Российской Федерации) и при поддержке проекта № 18-3-024 научной программы фундаментальных исследований Дальневосточного отделения РАН «Дальний Восток» на 2018–2020 гг.

Список литературы

1. Sheikhsosseini A., Shirvani M., Shariatmadari H. Competitive sorption of nickel, cadmium, zinc and copper on palygorskite and sepiolite silicate clay minerals // Geoderma. – 2013. – vol. 192. – P. 249–253. DOI: 10.1016/j.geoderma.2012.07.013.
2. Kim J., Kwak S.-Y. Efficient and selective removal of heavy metals using microporous layered silicate AMH-3 as sorbent // Chemical Engineering Journal. – 2017. – vol. 313. – P. 975–982. DOI: 10.1016/j.cej.2016.10.143.
3. Bhadoria R., Singh B.K., Tomar R. Sorption of toxic metals on sodium aluminosilicate (NAS) // Desalination. – 2010. – vol. 254. – P. 192–200.

4. Акатьева Л.В. Синтез и физико-химические свойства ксонотлита и волластонита: дис. ... канд. хим. наук. – Москва, 2003. – 233 с.

5. Ziegler F., Giere R., Johnson C.A. Sorption mechanisms of zinc to calcium silicate hydrate: sorption and microscopic investigations // Environmental Science & Technology. – 2001. – vol. 35, no. 22. – P. 4556–4561. DOI: 10.1021/es001768m.

6. Chen Q., Hills C.D., Yuan M., Liu H., Tyrer M. Characterization of carbonated tricalcium silicate and its sorption capacity for heavy metals: A micron-scale composite adsorbent of active silicate gel and calcite // Journal of Hazardous Materials. – 2008. – vol. 153. – P. 775–783. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2007.09.023.

7. Ярусова С.Б., Гордиенко П.С., Мелконян Р.Г., Азарова Ю.А., Якименко Л.В., Крысь Ю.И. Сорбция ионов Ni^{2+} силикатным сорбентом из отходов борного производства // Техника и технология силикатов. – 2013. – Т. 20, № 3. – С. 20–27.

8. Рябин В.А., Остроумов М.А., Свит Т.Ф. Термодинамические свойства веществ. Справочник. – Л.: Химия, 1977. – 392 с.

9. Бабушкин В.И., Матвеев Г.М., Мchedlov-Petrosyan O.P. Термодинамика силикатов. – М.: Стройиздат, 1986. – 408 с.

10. Ярусова С.Б., Гордиенко П.С., Азарова Ю.А. Исследование сорбции тяжелых металлов сорбентами на основе силикатов кальция, полученными из техногенных отходов переработки боросодержащего минерального сырья // Интеллектуальный потенциал вузов – на развитие Дальневосточного региона России и стран АТР: материалы XVI междунар. науч.-практ. конференции-конкурса научных докладов студентов, аспирантов и молодых исследователей (г. Владивосток, 17–18 апреля 2014 г.). – Владивосток, 2014. – С. 147–156.

References

1. Sheikhsosseini A., Shirvani M., Shariatmadari H. Competitive sorption of nickel, cadmium, zinc and copper on palygorskite and sepiolite silicate clay minerals. Geoderma, 2013, no. 192, pp. 249–253. DOI: 10.1016/j.geoderma.2012.07.013.

2. Kim J., Kwak S.-Y. Efficient and selective removal of heavy metals using microporous layered silicate AMH-3 as sorbent. Chemical Engineering Journal, 2017, no. 313, pp. 975–982. DOI: 10.1016/j.cej.2016.10.143.

3. Bhadoria R., Singh B.K., Tomar R. Sorption of toxic metals on sodium aluminosilicate (NAS). Desalination, 2010, no. 254, pp. 192–200. doi: DOI10.1016/j.desal.2009.11.016

4. Akat'eva L.V. Sintez i fiziko-khimicheskie svoistva ksonotlita i wollastonita [Synthesis and physicochemical properties of xonotlite and wollastonite]. Dissertatsiia na soiskanie uchenoi stepeni kandidata khimicheskikh nauk. Moscow, IONKh RAN, 2003, 233.

5. Ziegler F., Giere R., Johnson C.A. Sorption mechanisms of zinc to calcium silicate hydrate: sorption and microscopic investigations. Environmental Science and Technology, 2001, vol. 22, no. 35, pp. 4556–4561. DOI: 10.1021/es001768m.

6. Chen Q., Hills C.D., Yuan M., Liu H., Tyrer M. Characterization of carbonated tricalcium silicate and its sorption capacity for heavy metals: A micron-scale composite adsorbent of active silicate gel and calcite. Journal of Hazardous Materials, 2008, no. 153, pp. 775–783. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2007.09.023.

7. Iarusova S.B., Gordienko P.S., Melkonian R.G., Azarova Iu.A., Iakimenko L.V., Kry's' Iu.I. Sorption of nickel ions by the silicate sorbent derived from boric production wastes [Sorbsiia ionov nikelia silikatnym sorbentom iz otkhodov bornogo proizvodstva]. Tekhnika i tekhnologiya silikatov - Technique and technology of silicates, 2013, vol. 3, no. 20, pp. 20–27.

8. Riabin V.A., Ostroumov M.A., Svit T.F. Termodinamicheskie svoistva veshchestv [Thermodynamic properties of substances]. Spravochnik. Leningrad, Khimiia, 1977, 392.

9. Babushkin V.I., Matveev G.M., Mchedlov-Petrosyan O.P. Termodinamika silikatov [Thermodynamics of silicates]. Moscow, Stroizdat, 1986, 408.

10. Iarusova S.B., Gordienko P.S., Azarova Iu.A. Issledovanie sorbsiitiazhelykh metallov sorbentami na osnove silikatov kal'tsiia, poluchennymi iz tekhnogennykh otkhodov pererabotki borsoderzhashchego mineral'nogo syr'ia [The study of heavy metals sorption by sorbents based on calcium silicates obtained from technogenic waste of processing of boron-containing mineral raw materials]. XVI mezhdunarodnaia nauchno-prakticheskaiia konferentsiia-konkurs nauchnykh dokladov studentov, aspirantov i molydkh issledovatelei Intellektual'nyi potentsial VUZov na razvitie Dal'nevostochnogo regiona Rossii i stran ATR (g. Vladivostok, 17–18 aprelia 2014 g.) [Proceedings of Sixteenth international scientific-practical conference-competition of scientific reports of students, graduate students and young researchers (Vladivostok, April 17–18, 2014)], Vladivostok, VGUES, 2014, pp. 147–156.

УДК 630*265:630*181.41(574)

САНИТАРНОЕ СОСТОЯНИЕ ПРИДОРОЖНЫХ ЗАЩИТНЫХ ЛЕСНЫХ ПОЛОС В УСЛОВИЯХ СЕВЕРНОГО КАЗАХСТАНА

Здорнов И.А., Нагимов З.Я., Капралов А.В.

*ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет», Екатеринбург,
e-mail: Zdornov_Igor@mail.ru*

Статья посвящена оценке санитарного состояния придорожных защитных лесных полос и устойчивости деревьев различных пород, применяемых в защитном лесоразведении в условиях Северного Казахстана. Установлено, что санитарное состояние насаждений в значительной степени обусловлено их таксационными характеристиками. Определенное влияние на этот показатель оказывает схема размещения посадочных мест при создании полос, определяющая их первоначальную и текущую густоту. Санитарное и жизненное состояния насаждений защитных полос в значительной степени зависят от породного состава. В порядке ухудшения санитарного состояния исследуемые защитные полосы образуют следующий ряд: берёзовые (средняя категория состояния 1,85), тополёвые (2,26), сосновая (2,42), вязовые (3,45) и клёновая (4,89). В таком же порядке располагаются защитные полосы разных пород по относительному жизненному состоянию (L_n). Среднее значение этого показателя для берёзовых полос составляет 78,4%, для тополёвых – 65,0%, сосновой – 61,4%, вязовых – 43,4% и для клёновой – 32,8%. Степень ослабления насаждений заметно возрастает с увеличением возраста насаждений. В многорядных полосах при прочих равных условиях на жизнедеятельность деревьев оказывает влияние их пространственное размещение и густота стояния, которые обуславливают степень напряженности конкурентных взаимоотношений между ними. Деревья в центральных рядах, находящиеся в более жестких конкурентных взаимоотношениях за свет и элементы питания, характеризуются худшим санитарным состоянием по сравнению с деревьями из крайних рядов. Наблюдается устойчивая тенденция повышения значений относительной высоты деревьев (H/D) в центральных посадочных рядах, что свидетельствует о потере ими устойчивости. За редким исключением ряды с худшими баллами санитарного состояния характеризуются и худшими показателями относительной высоты. Поэтому при оценке общего санитарного состояния насаждений защитных полос, их стабильности и назначении санитарно-оздоровительных мероприятий определение показателя H/D обеспечит более надежные результаты.

Ключевые слова: Северный Казахстан, санитарное состояние, придорожные защитные лесные полосы, устойчивость древесных пород, степень ослабления, жизненное состояние древостоя, внутривидовая конкуренция, защитное лесоразведение

SANITARY STATE OF ROADSIDE PROTECTIVE FOREST STRIPS UNDER NORTHERN KAZAKHSTAN CONDITIONS

Zdornov I.A., Nagimov Z.Ya., Kapralov A.V.

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

The article covers the question of the sanitary condition assessment of the roadside protective forest strips and the stability of trees of various species used in protective afforestation under Northern Kazakhstan conditions. It is established that the sanitary state of plantations is largely due to their taxonomic characteristics. A definite influence on this indicator is provided by the scheme for locating seats when creating strips, which determines their initial and current density. Sanitary and vital state of protective strips plantations depend largely on the pedigree composition. The protective strips in study form the following series in the order of the sanitary state deterioration: birch (average category of state 1.85), poppy (2.26), pine (2.42), elm (3.45) and maple (4.89). The protective ones of different breeds are located on the related lifetime (L_n) in the same order. The average value of this indicator for birch strips is 78.4%, for poplar trees – 65.0%, for pines – 61.4%, for elm trees – 43.4%, and for maple trees – 32.8%. The degree of the plantations weakening increases markedly with the age of the ones. In multi-lane strips, all other things being equal, the spatial distribution and density of standing affect the life of trees, which determine the degree of the competitive relationships tension between them. Trees in the central rows, which are in a more competitive relationship for light and nutrition, are characterized by a worse sanitary condition than outside rows' ones. There is a steady tendency to increase the relative height of trees (H/D) in the central landing rows, which indicates their loss of stability. With few exceptions, the ranks with the worst health score are also characterized with worse indicators of relative height. Therefore, the determination of H/D index will provide results that are more reliable when assessing the overall sanitary condition of protective strips plantings, their stability and the appointment of sanitary measures.

Keywords: vital condition of forest stand, extent of easing, stability of tree species, roadside protective forest strips, northern Kazakhstan, sanitary state, intra-specific competition, protective afforestation

В малолесных районах Северного Казахстана доступным, дешевым, мощным и долговременным фактором природоохранного и средообразующего значения выступает защитное лесоразведение. Значительна экологическая и социальная роль

защитных лесных насаждений [1]. Среди них в данном районе большой объем занимают насаждения вдоль путей автомобильного транспорта.

Придорожные защитные лесные полосы являются очень важным элементом

обустройства полосы отвода автомобильных дорог не только республиканского и областного значения, но и дорог общего пользования. Лесные полосы, находясь вблизи автодороги, выполняют функцию естественного барьера, защищая от воздействия ветров, пыльных бурь и предохраняя проезжую часть от заноса снегом. Однако, накапливая существенное количество пыли и продуктов сгорания автомобильного топлива, защитные полосы испытывают постоянный техногенный стресс, который находит негативное отражение на процессах жизнедеятельности деревьев и кустарников. Под воздействием неблагоприятных антропогенных факторов резко ухудшается санитарное состояние защитных насаждений, теряется их устойчивость. Этот процесс может закончиться изменением конструкций полос или их полным распадом. В этой связи актуальной задачей является своевременная оценка санитарного состояния защитных насаждений для обоснованного назначения и проведения санитарно-оздоровительных мероприятий. Защитные насаждения нуждаются в регулярном уходе, и только тогда они эффективно выполняют мелиоративные функции [2–4].

Цель исследования

Оценка санитарного состояния природных защитных лесных полос и устойчивости деревьев различных пород, применяемых в защитном лесоразведении в условиях Северного Казахстана, и разработка предложений по проведению санитарно-оздоровительных мероприятий.

Материалы и методы исследования

Объектом исследований явились природоохранные защитные лесные полосы (ПрЗЛП) разной конструкции на территории Мамлютского и Кызылжарского административных районов Северо-Казахстанской области, расположенные вдоль автодорог М–51 «Челябинск – Новосибирск», А–21 «Мамлютка – Костанай» и А–12 «Петропавловск – Соколовка – граница РФ». Все они представлены чистыми по составу древостоями следующих древесных пород: тополя бальзамического (*Populus balsamifera* L.) – (Тбз), берёзы повислой (*Betula pendula* Roth) – (Бпв), сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) – Соб, вяза обыкновенного (крупнолистного), (*Ulmus laevis* Pall.) – (Воб) и клёна ясенелистного (*Acer negundo* L.) – (Кяс).

В основу исследований положен метод пробных площадей (далее ПП), которые за-

кладывались с учетом теоретических положений лесной таксации, действующих [5] и ранее действовавших Правил санитарной безопасности в лесах РФ [6] и общепринятыми апробированными методиками [7, 8]. На каждой ПП был проведен сплошной пересчет деревьев по ступеням толщины и категориям состояния. В соответствии с рядом распределения деревьев по диаметру формировалась систематическая выборка модельных деревьев для определения таксационных показателей древостоев. В пределах ПП они отбирались средними по высоте, диаметру и размерам кроны для ступеней толщины по способу пропорционального представительства в количестве от 10 до 20 штук. Помимо определения традиционных таксационных показателей, на каждой ПП устанавливались количество рядов, расстояния между ними и шаг посадки. Состояние деревьев оценивалось по шкале из Правил санитарной безопасности в лесах РФ с учетом комплекса внешних признаков (густоте кроны, цвету листвы (хвои), доле усохших ветвей, наличию плодовых тел грибов и стволовых вредителей). В ходе полевых работ по указанным признакам выделены одиннадцать категорий деревьев: I – здоровые (без признаков ослабления); II – ослабленные; III – сильно ослабленные; IV – усыхающие; V – свежий сухостой; VI – старый сухостой; VII – свежий ветровал; VIII – свежий бурелом; IX – старый ветровал; X – старый бурелом; XI – аварийные деревья.

Степень ослабления всего древостоя на пробной площади определялась как средне-взвешенная величина оценок распределения количества деревьев по разным категориям состояния. Древостои со значением средне-взвешенной величины от 1,0 до 1,5 относились к здоровым, от 1,6 до 2,5 – ослабленным, от 2,6 до 3,5 – сильно ослабленным, от 3,6 до 4,5 – усыхающим и от 4,6 и выше – погибшим [9, 10]. Причем расчет средней категории состояния деревьев на пробных площадях производился двумя способами:

а) по общепринятой методике, путем приравнивания ветровальных, буреломных и снеголомных деревьев к свежему или старому сухостю [10];

б) по соотношению количества деревьев всех одиннадцати категорий состояния [6].

Второй способ расчета, на наш взгляд, позволяет оценить степень влияния климатических условий (ветровальные и буреломные деревья) на санитарное состояние древостоев и более объективно обосновать вид санитарно-оздоровительных мероприятий.

Таблица 1

Таксационные показатели древостоев и конструктивные особенности исследуемых защитных полос

№ ПП	Порода	Возраст, лет	Средние		Количество рядов	Расстояние между рядами, м	Шаг посадки, м
			высота, м	диаметр, см			
6	Тбз	47	22,92 ± 0,9	34,9 ± 0,47	2	3,3	1,7–2,0
7	Тбз	38	16,48 ± 1,1	24,7 ± 0,99	—*	—	—
8	Тбз	47	19,61 ± 0,9	30,6 ± 0,42	1	—	1,0
9	Бпв	27	13,95 ± 0,7	16,9 ± 0,37	—*	—	—
10	Бпв	27	16,11 ± 0,8	20,1 ± 0,23	—*	—	—
11	Воб	47	6,49 ± 0,4	12,0 ± 0,73	5	3,0–4,0	1,25
15	Тбз	47	23,77 ± 1,1	39,0 ± 1,43	2	3,2	1,9
1	Бпв	57	17,64 ± 0,9	18,6 ± 0,26	13	1,0	0,5 (0,7) – 1,0
12	Бпв	57	15,64 ± 1,0	18,0 ± 0,28	13	1,0	0,5 (0,7) – 1,0
3	Соб	47	10,06 ± 0,3	24,6 ± 0,33	1	—	1,0–1,3
5	Кяс	47	10,08 ± 0,4	15,8 ± 0,21	3	3,0	1,1–1,6
2	Тбз	47	18,70 ± 0,8	25,0 ± 0,19	8	2,7–4,0	1,0–1,3
4	Тбз	47	21,82 ± 0,9	41,4 ± 1,54	2	2,3	1,4
13	Воб	47	8,81 ± 0,4	12,3 ± 0,48	3	2,8–3,4	1,0
14	Воб	47	8,32 ± 0,6	11,2 ± 0,54	4	2,8	1,0

Примечание.* – ряды не просматриваются.

Дополнительно на всех пробных площадях определялось жизненное состояние древостоя по формуле, предложенной В.А. Алексеевым [11]:

$$L_n = \frac{100n_1 + 70n_2 + 40n_3 + 5n_4}{N},$$

где L_n – относительное жизненное состояние древостоя, рассчитанное по числу деревьев; n_1, n_2, n_3, n_4 – число здоровых, ослабленных, сильно ослабленных и отмирающих деревьев соответственно;

N – общее число деревьев (включая сухостой) на ПП;

100, 70, 40, и 5 – коэффициенты, выражающие жизненное состояние здоровых, ослабленных, сильно ослабленных и отмирающих деревьев, %.

При значении показателя L_n от 100 до 80% по жизненному состоянию древостоя оценивается как «здоровый», при 79–50% он считается ослабленным, при 49–20% – сильно ослабленным, при 19% и менее – полностью разрушенным [11].

Для выполнения поставленной цели в ходе полевых работ заложено 15 пробных площадей, на которых у более чем 3000 деревьев определены диаметры стволов и категория санитарного состояния. Таксационные показатели модельных деревьев и древостоев определялись в соответствии с общепринятыми в лесной таксации методами и действующими инструкциями. Все

расчетные и графические работы производились в программе MO Excel.

Результаты исследования и их обсуждение

Санитарное состояние насаждений в значительной степени обусловлено их таксационными характеристиками. Определенное влияние на этот показатель оказывает схема размещения посадочных мест при создании полос, определяющая их первоначальную и текущую густоту. Представление о таксационной структуре и конструктивных особенностях исследуемых защитных полос дают данные, представленные в табл. 1.

Данные табл. 1 свидетельствуют, что защитные полосы из хвойных (сосна) и твердолиственных (вяз крупнолистный и клен ясенелистный) пород представлены средневозрастными древостоями. Известно, что в этом возрасте насаждения при отсутствии неблагоприятных факторов находятся в фазе активного роста и развития. Защитные полосы из березы повислой представлены средневозрастными (ПП 9 и 10) и приспевающими (ПП 1 и 12) насаждениями, а из тополя бальзамического приспевающими (ПП 7) и спелыми (ПП 2, 4, 6, 8 и 15). Приспевающие насаждения в естественных условиях характеризуются продолжающимся нарастанием древесины, но несколько замедленными его темпами по сравнению

с средневозрастными, а спелые – весьма замедленными ростовыми характеристиками.

Таким образом, исследуемые защитные лесные насаждения в соответствии с биологическими особенностями древесных пород, использованных при их создании, находятся на разных возрастных этапах. Это обстоятельство помимо техногенного стресса, испытываемого насаждениями, безусловно, находит отражение на их санитарном состоянии.

Определенные разными способами показатели санитарного состояния древостоев на ПП и их относительного жизненного состояния по методике В.А. Алексеева представлены в табл. 2.

Анализ данных, приведенных в табл. 2, позволяет отметить следующее. Санитарное состояние насаждения, определенное с учетом всех 11 категорий состояния деревьев, в большинстве случаев оценивается несколько худшими балльными показателями (от 1,59 до 4,89), чем при определении по общепринятой методике (от 1,59 до 4,32). В защитных лесах, на наш взгляд, предпочтение следует отдавать способу, учитывающему соотношение количества деревьев всех категорий состояния. Следует отметить, что степень ослабления насаждений за исключением ПП 5 обоими способами идентифицируется однозначно. Санитарное состояние насаждений достаточно тесно связано с их жизненным состоянием по В.А. Алексееву. Тем не менее в некоторых случаях ослабленные по санитарному состоянию насаждения (ПП 9 и 10) по жизненному состоянию оцениваются как здоровые, а усыхающие (ПП 5, 11) – как сильно ослабленные.

Санитарное и жизненное состояния насаждений защитных полос в значительной степени зависят от породного состава. В порядке ухудшения санитарного состояния исследуемые защитные полосы образуют следующий ряд: берёзовые (средняя категория состояния 1,85), тополевые (2,26), сосновая (2,42), вязовые (3,45) и кленовая (4,89). В таком же порядке располагаются защитные полосы разных пород по относительному жизненному состоянию (L_n). Среднее значение этого показателя для берёзовых полос составляет 78,4%, для тополевых – 65,0%, сосновой – 61,4%, вязовых – 43,4% и для кленовой – 32,8%.

Влияние возраста насаждений на их санитарное и жизненное состояния можно оценить по данным берёзовых и тополевых полос. При их анализе выявляется, что с возрастом степень ослабления насаж-

дений увеличивается. Так, в 27-летних защитных насаждениях березы (ПП 9 и 10) средняя категория санитарного состояния составляет 1,63, а показатель относительного жизненного состояния (L_n) – 80,7%. В возрасте 57 лет (ПП 1 и 12) эти показатели соответственно равны 2,06 и 76,1%, то есть степень ослабления насаждений заметно выше. Такая же закономерность прослеживается в защитных насаждениях из тополя. В возрасте 38 лет (ПП 7) насаждения тополя характеризуются баллом санитарного состояния равным 2,08 и показателем L_n – 70,1%. Санитарное и жизненное состояния 47-летних тополевых защитных насаждений (ПП 2, 4, 6, 8 и 15) значительно ниже: средний балл санитарного состояния составляет 2,30, а показатель L_n – 64,0%.

Закономерного влияния размещения посадочных мест при создании защитных полос на их санитарное состояние по данным табл. 2 не обнаруживается. Это, на наш взгляд, возможно связано с недостаточным объемом экспериментального материала.

В целом приведенные выше материалы свидетельствуют, что по санитарному состоянию защитные лесные полосы из березы, тополя и сосны характеризуется как ослабленные, из вяза – как сильно ослабленные и усыхающие, а из клена – как погибшие. Из всех использованных при создании защитных полос древесных пород наибольшую устойчивость демонстрирует береза, древостои которой в молодом возрасте по относительному жизненному состоянию оцениваются как здоровые.

В многорядных полосах при прочих равных условиях на жизнедеятельность деревьев оказывает влияние их пространственное размещение и густота стояния, которые обуславливают степень конкурентных взаимоотношений между ними. Об этом свидетельствуют данные о средневзвешенных категориях состояния деревьев, рассчитанные отдельно для каждого ряда защитной полосы. Такие данные на примере ПП 1 представлены на рис. 1. Анализ их свидетельствует, что наиболее высокие значения среднего балла санитарного состояния деревьев присущи центральным рядам защитной полосы (с 5 ряда по 10). Таким образом, деревья в этих рядах характеризуются худшим санитарным состоянием по сравнению с деревьями из крайних рядов. Такое положение вполне объяснимо: в центральных рядах деревья находятся в более жестких конкурентных взаимоотношениях за свет и элементы питания.

Таблица 2

Санитарное и относительное жизненное состояния древостоев

№ ПП	Санитарное состояние древостоев, определенное				Жизненное состояние по В.А. Алексееву	
	по общепринятой методике		по 11 категориям состояния деревьев			
	балл	состояние	балл	состояние	показатель L, %	состояние
Автодорога А-12 «Петропавловск – Соколовка – граница РФ»						
6	2,02	ослабленный	2,02	ослабленный	69,78	ослабленный
7	2,05	ослабленный	2,08	ослабленный	70,05	ослабленный
8	2,34	ослабленный	2,44	ослабленный	63,04	ослабленный
9	1,67	ослабленный	1,67	ослабленный	80,05	здоровый
10	1,59	ослабленный	1,59	ослабленный	81,42	здоровый
11	4,00	усыхающий	4,31	усыхающий	29,66	сильно ослабленный
15	2,13	ослабленный	2,13	ослабленный	66,35	ослабленный
Автодорога М-51 «Челябинск – Новосибирск»						
1	2,06	ослабленный	2,21	ослабленный	73,50	ослабленный
12	1,82	ослабленный	1,91	ослабленный	78,61	ослабленный
3	2,37	ослабленный	2,42	ослабленный	61,44	ослабленный
5	4,32	усыхающий	4,89	погибший	32,84	сильно ослабленный
2	2,66	сильно ослабленный	2,75	сильно ослабленный	53,66	ослабленный
Автодорога А-21 «Мамлютка – Костанай»						
4	2,12	ослабленный	2,15	ослабленный	67,15	ослабленный
13	2,70	сильно ослабленный	2,74	сильно ослабленный	54,38	ослабленный
14	3,20	сильно ослабленный	3,31	сильно ослабленный	46,19	сильно ослабленный

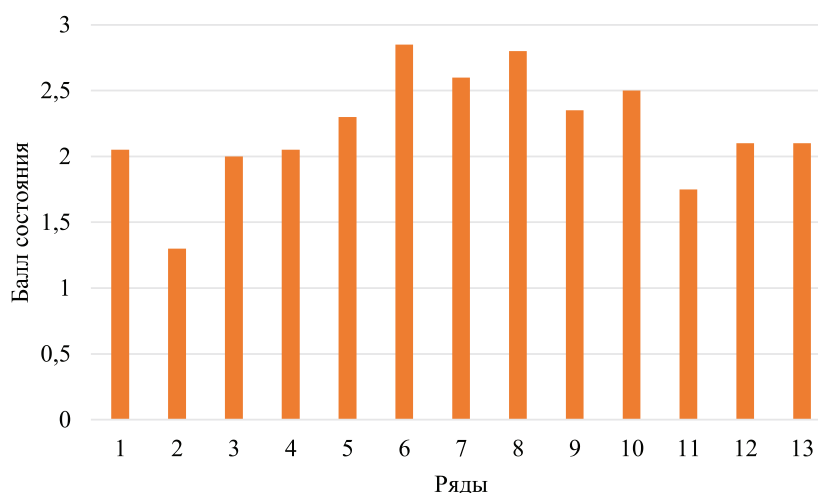


Рис. 1. Средние баллы санитарного состояния деревьев в рядах посадки на пробной площади 1

Следует отметить, что в этом отношении деревья крайних рядов полосы (1 и 13) находятся в более благоприятном положении. Однако их санитарное состояние не самое лучшее, по этому признаку они заметно уступают деревьям 2 и 11 ряда. На

наш взгляд, это связано с тем, что деревья крайних рядов в большей степени подвержены негативным воздействиям со стороны автодороги (1 ряд) и открытых пространств (13 ряд), которые заметно ухудшают их санитарное состояние. Примерно такие же

результаты получены по другим пробным площадям (ПП 8 и 12), заложенным в многорядных защитных полосах.

В настоящее время одной из важнейших задач лесной науки является поиск критериев и индикаторов устойчивости древесных растений. Эффективным количественным показателем напряженности внутривидовой конкуренции и устойчивости деревьев считается их относительная высота H/D [12]. Увеличение этого показателя у отстающих в росте, угнетенных деревьев свидетельствует, что они, стремясь выйти в верхний полог, увеличивают прирост по высоте за счет уменьшения прироста по диаметру. Такой процесс признается ценотической адаптивной реакцией древесных растений [13]. Относительно малые значения H/D у деревьев высших рангов указывают на пропорциональность их роста по высоте и диаметру и устойчивость положения в древостое.

Для оценки внутривидовой конкуренции и ее влияния на санитарное состояние насаждений в многорядных защитных полосах отдельно для каждого ряда посадки и для древостоя в целом определены показате-

тели H/D (табл. 3). Наглядно дифференциация этого показателя по рядам на примере ПП 1 показана на рис. 2.

Из данных табл. 3 видно, что наиболее высокой относительной высотой (94,8) характеризуется древостой берёзы на ПП 1, а наименьшей – тополевый на ПП 2 (74,8). Известно, что показатель H/D менее 80 указывает на высокую устойчивость деревьев, а пороговое значение между устойчивыми и неустойчивыми деревьями находится в интервале этого показателя от 90 до 100. Таким образом, древостой на ПП 2 можно считать устойчивым, а древостои ПП 1 и 12 находятся в пограничной зоне. Как отмечалось выше, все три рассматриваемые полосы имеют ослабленное санитарное состояние.

Данные табл. 3 и рис. 2 свидетельствуют о наличии устойчивой тенденции повышения значений H/D в центральных посадочных рядах, в которых, безусловно, выше напряженность конкурентных взаимоотношений между деревьями. В некоторых рядах защитных полос березы относительная высота деревьев превышает пороговое значение, что свидетельствует о потере ими устойчивости.

Таблица 3

Относительные высоты деревьев H/D по рядам посадки

№ ПП	H/D древостоя	H/D по рядам посадки												
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
		Коэффициент $H \text{ см} / D \text{ см}$												
1	94,8	75	83	119	98	107	106	99	99	115	112	87	87	82
12	86,9	79	101	117	109	79	93	86	97	102	87	90	82	60
2	74,8	67	74	77	83	75	80	85	63	–	–	–	–	–

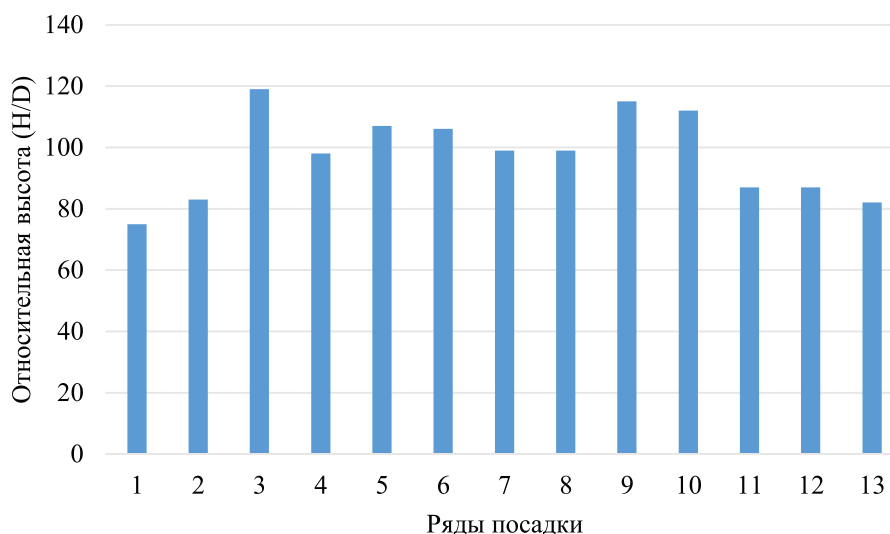


Рис. 2. Изменение показателя H/D по рядам посадки на пробной площади 1

При сравнении данных рис. 1 и 2 обнаруживается достаточно высокая сопряженность между ними: за редким исключением ряды с худшими баллами санитарного состояния характеризуются и худшими показателями относительной высоты. Поэтому при оценке общего санитарного состояния насаждений защитных полос, их стабильности и назначении санитарно-оздоровительных мероприятий дополнительное определение показателя Н/D обеспечит более надежные результаты.

Выводы

По результатам оценки санитарного состояния придорожных защитных полос в районе исследования, установлено, что насаждения большинства полос относятся к категории «ослабленные». Выявлено, что санитарное и жизненное состояния насаждений защитных полос в значительной степени зависят от видового состава, возраста данных насаждений и в значительной степени обусловлены их таксационными характеристиками.

В порядке ухудшения санитарного состояния исследуемые защитные полосы образуют следующий ряд: берёзовые (средняя категория состояния для 57-летних – 2,06; для 27-летних – 1,63; в целом для берёзовых – 1,85), тополёвые (средняя категория состояния для 47-летних – 2,30; для 38-летних – 2,08; в целом для тополёвых – 2,26), сосновая (2,42), вязовые (3,45) и клёновая (4,89). В таком же порядке располагаются защитные полосы разных пород по относительному жизненному состоянию (L_n). Среднее значение этого показателя для берёзовых полос составляет 78,4%, для тополёвых – 65,0%, сосновой – 61,4%, вязовых – 43,4% и для клёновой – 32,8%.

Показатели санитарного и относительного жизненного состояния по результатам проведенных исследований, как правило, практически взаимосвязаны, различия находятся на границе классов оценки. По нашим данным берёзовые средневозрастные древостои в приспевающем возрасте более устойчивы, чем средневозрастные насаждения из хвойных и твердолиственных пород.

В многорядных полосах, при прочих равных условиях, на жизнедеятельность деревьев оказывает влияние их пространственное размещение и густота стояния, которые обуславливают степень напряженности конкурентных взаимоотношений между ними. Деревья в центральных рядах, находящиеся в более жестких конкурент-

ных взаимоотношениях за свет и элементы питания, характеризуются худшим санитарным состоянием по сравнению с деревьями из крайних рядов. Наблюдается устойчивая тенденция повышения значений относительной высоты деревьев (Н/D) в центральных посадочных рядах, поэтому при оценке общего санитарного состояния насаждений защитных полос, их стабильности и назначении санитарно-оздоровительных мероприятий определение показателя Н/D обеспечит более надежные результаты.

Проведенная оценка санитарного состояния позволит разработать комплекс санитарно-оздоровительных мероприятий по реабилитации ПрЗЛП:

- выборочно-санитарную рубку в берёзовых, тополёвых и сосновой полосе;
- в насаждениях вяза и клёна необходимо провести реконструкцию, заменяя ряды деревьев на новые;
- замена погибших рядов кустарника, удаление нежелательной кустарниковой растительности;
- на всех участках необходимо провести очистку от захламленности и бытового мусора, который присутствует в полосах отвода автодорог [14].

Все вышеизложенные мероприятия должны проводиться по указанию и под непосредственным руководством специалиста-лесоведа.

Список литературы

1. Концепция по переходу Республики Казахстан к «зеленой экономике»: Указ Президента Республики Казахстан от 30 мая 2013 года № 577. URL: http://online.zakon.kz/Document/?doc_id=31399596#pos=1;-89 (дата обращения: 25.01.2018).
2. Лепехин А.А. Биологическая устойчивость древесных пород в лесных полосах каменной степи / А.А. Лепехин, А.С. Чеканышкин // Международный научно-исследовательский журнал. – 2015. – № 10–3(41). – С. 43–46. DOI: 10.18454/IJRJ.2015.41.129
3. Здорнов И.А. Очерк состояния защитных лесных насаждений Республики Казахстан / И.А. Здорнов, А.В. Капралов // Национальная ассоциация ученых (НАУ): Ежемесячный научный журнал. – 2015. – № 4 (9). – Ч. 5. – С. 153–157.
4. Манаенков А.С. Повышение долговечности полезащитных лесных полос на юге Западной Сибири / А.С. Манаенков, Л.И. Абакумова, П.М. Подгаечская // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. – 2014. – № 2(34). – С. 41–47.
5. Правила санитарной безопасности в лесах: Постановление Правительства Российской Федерации от 20 мая 2017 г. № 607 О правилах санитарной безопасности в лесах // Собрание законодательства. – 2017. URL: <http://docs.cntd.ru/document/436736467> (дата обращения: 25.01.2018).
6. Правила санитарной безопасности в лесах: Приказ Министерства природных ресурсов и экологии РФ от 24 декабря 2013 года № 613 Об утверждении Правил санитарной безопасности в лесах // Собрание законодательства. – 2014. – № 32379.

7. Данчева А.В. Экологический мониторинг лесных насаждений рекреационного назначения / А.В. Данчева, С.В. Залесов. – Екатеринбург: Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2015. – 152 с.

8. Бунькова Н.П. Основы фитомониторинга: учеб. пособие / Н.П. Бунькова, С.В. Залесов, Е.А. Зотева, А.Г. Магасумова. – Екатеринбург: Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2011. – 89 с.

9. Карпенко А.Д. Оценка состояния древостоев, находящихся под воздействием промышленных эмиссий / А.Д. Карпенко // Экология и защита леса. – 1981. – № 6. – С. 39–43.

10. Руководство по планированию, организации и ведению лесопатологических обследований: Приказ Федерального агентства лесного хозяйства от 29 декабря 2007 года № 523 Об утверждении методических документов // Собрание законодательства. – 2007. URL: <http://docs.cntd.ru/document/902129157> (дата обращения: 25.01.2018).

11. Лесные экосистемы и атмосферное загрязнение / ред. В.А. Алексеев. – Л.: Наука, 1990. – С. 47–51.

12. Кузьмичев В.В. Закономерности динамики древостоев: принципы и модели / В.В. Кузьмичев. – Новосибирск: Наука, 2013. – 207 с.

13. Маслаков Е.Л. Формирование сосновых молодняков / Е.Л. Маслаков. – М.: Лесная пром-сть, 1984. – 165 с.

14. Правила ухода за лесами: Приказ Министерства природных ресурсов и экологии РФ от 22 ноября 2017 года № 626 Об утверждении Правил ухода за лесами // Собрание законодательства. – 2017. – № 49381.

References

1. The concept on transition of the Republic of Kazakhstan to "green economy". Decree of the President of the Republic of Kazakhstan of May 30, 2013 No. 577. URL: http://online.zakon.kz/Document/?doc_id=31399596#pos=1;-89

2. Lepekhin A.A., Chekanyshkin A.S. Biological Stability of Tree Species in Wood Strips of Stone Steppe [Biologicheskaiya ustoychivost' drevesnykh porod v lesnykh polosakh kamennoi stepi]. *Mezhdunarodnyi nauchno-issledovatel'skii zhurnal - International Research Journal*, 2015, vol. 3, no. 10, pp. 43-46. doi: 10.18454/IRJ.2015.41.129

3. Zdornov I.A., Kapralov A.V. Report on the Health of Shelterbelt Forests in the Republic of Kazakhstan [Ocherk sostoiianiia zashchitnykh lesnykh nasazhdenii Respubliki Kazakhstan]. *Natsional'naia assotsiatsiia uchenykh - National association of scientists*, 2015, vol. 9, no. 4, pp. 153-157.

4. Manaenkov A.S., Abakumova L.I., Podgaetskaia P.M. Increase in durability of field-protecting forest stripes in the

south of Western Siberia [Povyshenie dolgovechnosti polezashchitnykh lesnykh polos na iuge Zapadnoi Sibiri]. *Izvestiia Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: Nauka i vysshee professional'noe obrazovanie - Proceedings of Niznevolzskiy Agrouniversity Complex: Science and Higher Vocational Education*, 2014, vol. 34, no. 2, pp. 41-47.

5. Rules of sanitary safety in the woods. The resolution of the Government of the Russian Federation of May 20, 2017 No. 607 O rules of sanitary safety in the woods. Collection of the legislation. 2017. URL: <http://docs.cntd.ru/document/436736467> (data obrashcheniia: 25.01.2018).

6. Rules of sanitary safety in the woods. The order of the Ministry of Natural Resources and Environmental Protection of the Russian Federation of December 24, 2013 No. 613 On the approval of Rules of sanitary safety in the woods. Collection of the legislation. 2014. No. 32379.

7. Dancheva A.V., Zalesov S.V. Ekologicheskii monitoring lesnykh nasazhdenii rekreatsionnogo naznachenii [Ecological monitoring of forest plantations of recreational purpose]. *Ekaterinburg, Ural'skii gosudarstvennyi lesotekhnicheskii universitet*, 2015, 152.

8. Bun'kova N.P., Zalesov S.V., Zoteeva E.A., Magasumova A.G. Osnovy fitomonitoringa [The basics of phytomonitoring]. *Ekaterinburg, Ural'skii gosudarstvennyi lesotekhnicheskii universitet*, 2011, 89.

9. Karpenko A.D. Assessment of the condition of stands under the influence of industrial emissions [Otsenka sostoiianiia drevostoev, nakhodiashchikhsia pod vozdeistviem promyshlennykh emissii]. *Ekologiya i zashchita lesa - Ecology and forest protection*, 1981, no. 6, pp. 39-43.

10. Guide to planning, organization and maintaining lesopatologicheskikh of inspections. Order of Federal Forestry Agency of December 29, 2007 No. 523 On the approval of methodical documents. Collection of the legislation. 2007. URL: <http://docs.cntd.ru/document/902129157>.

11. Alekseev V.A. Lesnye ekosistemy i atmosfernoe zagriaznenie [Forest ecosystems and atmospheric pollution]. *Leningrad, Nauka. Leningradskoe otdelenie*, 1990, 200.

12. Kuz'michev V.V. Zakonomernosti dinamiki drevostoev: printsipy i modeli [Regularities of forest stands dynamics: principles and models]. *Novosibirsk, Nauka*, 2013, 207.

13. Maslakov E.L. Formirovanie osnovnykh molodniakov [The formation of pine young stands]. *Moscow, Lesnaia promyshlennost'*, 1984, 165.

14. Rules of care of the woods. Order of the Ministry of Natural Resources and Environmental Protection of the Russian Federation of November 22, 2017 No. 626 On the approval of Rules of care of the woods. Collection of the legislation. 2017. № 49381.

УДК 630*181.71(470.53)

РАЗРАБОТКА МОДЕЛЕЙ РОСТА ДРЕВОСТОЕВ В ЦЕЛЯХ АКТУАЛИЗАЦИИ МАТЕРИАЛОВ ЛЕСОУСТРОЙСТВА

¹Зубова С.С., ²Ворожнин В.С.

¹ГОУ ВПО «Уральский государственный лесотехнический университет», Екатеринбург,
e-mail: svtvorog@mail.ru;

²Институт промышленной экологии УрО РАН, Екатеринбург, e-mail: vorozhnin@mail.ru

В настоящее время наблюдается дефицит корректной информации о лесном фонде для отдельных районов. На сегодняшний день данная проблема решается использованием способа актуализации при проведении таксации лесов. В связи со сложившейся ситуацией возникла необходимость применения альтернативных методов лесной таксации которые могут использовать модели роста древостоев для лесных участков в целом. В качестве объекта исследования выбраны еловые древостои, произрастающие в условиях Чайковского лесничества Пермского края на дренированных участках с устойчивым водным режимом. Для моделирования методом случайной выборки были отобраны 30 выделов, по которым проведена натурная таксация. В ходе работы создана электронная база лесоустроительных данных Чайковского лесничества, с использованием которой оценены параметры моделей на основе изменения основных таксационных показателей (диаметра, высоты и запаса) с использованием уравнений Корсуня и Корсуня – Бакмана. Модели характеризуют ход роста соответствующий II классу бонитета в наиболее распространенных лесорастительных условиях. Таксационные выделы в пределах модального класса бонитета были распределены по относительным полнотам, для учета специфики роста, связанной с первоначальной густотой и ходом последующего изреживания насаждений. В качестве критерия адекватности полученных моделей использован коэффициент детерминации $R^2 > 0.9$. Проведено исследование закономерных изменений приростов по высоте, диаметру и запасу еловых древостоев с возрастом. На основании исследований составлены справочные таблицы, разработаны модели для проведения актуализации материалов предыдущего лесоустройства для данного лесничества. Проведено сравнение полученных актуализированных материалов лесоустройства с данными глазомерно-измерительной таксации. Установлено, что различие при сравнении модельных данных с результатами натурной таксации не превышает 10%.

Ключевые слова: лесной фонд, лесничество, актуализация материалов лесоустройства, моделирование хода роста, модели роста древостоев, лесотаксационная база данных

THE ACTUALIZATION OF FOREST INVENTORY DATA BASE BY THE DEVELOPMENT OF FOREST GROWTH MODELS

¹Zubova S.S., ²Vorozhnin V.S.

¹Ural State Forest Engineering University, Ekaterinburg, e-mail: svtvorog@mail.ru;

²Institute of Industrial Ecology UB RAS, Ekaterinburg, e-mail: vorozhnin@mail.ru

Currently there is a deficit of correct information about the forest fund for certain areas. Today this problem is solved using the method of actualization when forest inventory is carried out. To change the current situation, it became necessary to use alternative methods of forest inventory that can use the growth models of forest stand for total forest plots. Spruce stands growing under conditions of the Chaikovskiy forest district of Permsky Krai on drainable plots with a stable water regime were selected as a research object. 30 allotments were selected for random sampling. Full-scale inventory was carried out for modeling. The result of the work is the creation of electronic database of forest management data of the Chaikovskiy forestry. It helps to measure the parameters of models on the basis of changes in basic taxation indicators (diameter, height and stock) using the Korsun' and Korsun'-Bakman equations. The models characterize growth corresponding to growth class II in the most common forest growing conditions. Taxation allocations within the modal growth class were distributed according to relative completeness, taking into account the specific growth connected with the initial density and the course of subsequent thinning of plantations. As a criterion of adequacy of the models obtained, the determination coefficient $R^2 > 0.9$ is used. A study of the regular changes in increment in height, diameter and stock of spruce stands with age was made. Based on the research, reference tables have been prepared, models for updating the materials of the previous forest inventory for the given forest range have been developed. The obtained updated forest inventory materials are compared with the data of the eye-measuring inventory. It is established that the comparison of model data and the results of full-scale inventory does not exceed 10%.

Keywords: forest fund, forestry, data base actualization of forest inventory, forest growth modeling, forest growth models, data base of forest taxation

В последнее время, в связи с автоматизацией управления лесным хозяйством, большое значение приобретают модели роста древостоев. При этом последние, как правило, используются при проведении таксации лесов способом актуализации, указанном в лесоустроительной инструкции [1], за-

ключающемся в уточнении таксационных описаний предыдущего лесоустройства. Однако, несмотря на типовой подход, в настоящее время наблюдается дефицит корректной информации о лесном фонде для лесных участков в целом. Обычно это связано с низким качеством исходных данных,

в том числе из-за человеческого фактора, обусловленного проведением выборочной натурной таксации и актуализации отдельных лесных выделов, отобранных методом экспертной оценки [2, 3]. Решение данной проблемы представляется рядом специалистов проведением компьютерной идентификации древостоев и их состояний на всей территории по космическим снимкам высокого разрешения (например, методом распознавания образов). Однако подобная идентификация нуждается в проверке адекватности ввиду удаленности изучаемых объектов. Проводимая в данном направлении работа, несмотря на возможность получения характеристики лесных массивов в целом, до сих пор не привела к решению проблемы [4].

В связи с вышеизложенным, отметим, что появилось смещение акцентов в сторону применения альтернативных методов таксации, в том числе анализа данных дистанционного зондирования. Подобная тенденция не позволяет полностью отказаться от выборочно-статистического метода инвентаризации, так как разработка моделей роста древостоя для актуализации лесоустроительной информации лесных участков полностью может использоваться как для самостоятельной оценки, так и для проверки адекватности альтернативных методов [5].

Целью исследования являлась разработка моделей роста древостоев для характерных участков на примере Чайковского лесничества с целью актуализации лесоустроительной информации.

Материалы и методы исследования

Чайковское лесничество расположено в зоне хвойно-широколиственных лесов в юго-западной части Пермского края на территории двух муниципальных районов: Еловского и Чайковского. Протяженность территории лесничества с севера на юг составляет около 70 км, с востока на запад – 116 км. Общая площадь лесничества Чайковское – 22706 га, в том числе 13517 га – защитные, 9189 га – эксплуатационные [6]. Климат умеренно континентальный. Период вегетации имеет продолжительность около 130 дней. За год выпадает около 550 мм осадков.

В соответствии с методикой [7] по таксационным показателям строилась регрессионная модель, которая позволяет учесть естественный рост древостоев и может быть применима для прогнозирования. В работе использована электронная база ле-

сотаксационных данных Чайковского лесничества Пермского края. Применимость данного метода связана с широким использованием материалов лесоустройства, в том числе в соответствии с Н.П. Анучиным [8], возможностью устанавливать закономерности хода роста древостоев.

Анализ исходных материалов показал, что в районе исследований наиболее представленными являются еловые древостои, произрастающие на дренированных участках с устойчивым водным режимом. Поэтому основное внимание было уделено изучению динамики таксационных показателей данных древостоев. Однако, учитывая, что в пределах выбранных участков производимость ельников существенно различается (с I по III класс бонитета), в работе более тщательное внимание уделялось разработке моделей, характеризующих ход роста для модальных лесорастительных условий соответствующих II классу бонитета, аккумулирующего наибольший объем экспериментального материала. Далее в пределах данного класса бонитета таксационные выделы были распределены по относительным полнотам, для учета специфики роста, связанной с первоначальной густотой и ходом последующего изреживания насаждений.

С использованием регрессионного анализа методом наименьших квадратов отклонений по выборке строились модели роста для трех основных таксационных показателей древостоев: средней высоты, среднего диаметра и запаса древесины на одном гектаре. В качестве критерия адекватности полученной регрессионной модели рассматривался коэффициент детерминации ($R^2 > 0,9$). Принималось предположение, что рассматриваемая выборка имеет нормальное распределение. Поэтому в качестве критерия достоверности регрессионных коэффициентов в модели рассматривались коэффициенты Стьюдента.

На основе полученных моделей возрастной динамики таксационных показателей и отмеченных особенностей изменения текущего прироста составлены справочные материалы в виде таблиц годичных приростов таксационных показателей по n -летним ступеням возраста для актуализации лесотаксационных материалов. С их использованием проведен перерасчет устаревших данных. Согласно лесоустроительной инструкции [1] проверка актуализированных показателей произведена путем сопоставления полученных материалов с данными натурной таксации. Для проверки методом

случайной выборки отобраны 30 выделов, пройденных натурной таксацией.

В качестве базовых уравнений приняты наиболее подходящие для описания изменений основных таксационных показателей древостоев, которые позволяют произвести учет зависимостей средней высоты и среднего диаметра древостоев от их возраста, согласно рекомендациям Н.П. Анучина [8], уравнение Корсуня:

$$Y = X^2 / (c + b \times X + a \times X^2), \quad (1)$$

где Y – значение таксационного показателя (диаметра в см и высоты в м);
 X – средний возраст древостоя, лет;
 a, b, c – регрессионные коэффициенты уравнения.

И оценка запасов с помощью уравнения Корсуня – Бакмана [4]:

$$\ln Y = c + b \times \ln X + a \times \ln^2 X, \quad (2)$$

где Y – запас древостоя, м³;
 X – возраст древостоя, лет;
 a, b, c – регрессионные коэффициенты уравнения.

Использование данных уравнений позволяет сопоставлять полученные закономерности прироста с данными других исследований [5].

Результаты исследования и их обсуждение

С использованием уравнения (1) по исходным данным получены статистически достоверные коэффициенты для уравнения регрессии по полученному объему выборки (N) зависимости высоты (H, м) от возраста древостоя (A, лет), значения которых приведены в табл. 1.

На рис. 1 приведен график хода роста, полученный на основе регрессионной модели возрастной динамики еловых древостоев второго класса бонитета, без учета влияния относительной полноты насаждения, в сопоставлении с исходными данными лесоустройства.

С использованием уравнения Корсуня получена возрастная динамика диаметров деревьев (D, см) по исследуемому участку. Параметры модели приведены в табл. 2.

Таблица 1

Значения коэффициентов уравнения $H = A^2 / (a \times A^2 + b \times A + c)$ для еловых насаждений II класса бонитета

Класс бонитета	Значения коэффициентов (числитель) и критерия Стьюдента (знаменатель)			R ²
	a	b	c	
II	0,0232 / 12,4	1,3556 / 7,3	26,9322 / 5,7	0,97

Таблица 2

Значения коэффициентов регрессии и их характеристики по уравнению $D = A^2 / (a \times A^2 + b \times A + c)$ по II классу бонитета и относительной полноте 0,6

Класс бонитета	Значения коэффициентов (числитель) и критерия Стьюдента (знаменатель)			R ²
	a	b	c	
II	0,0183 / 5,05	0,8776 / 2,27	33,9495 / 3,21	0,92

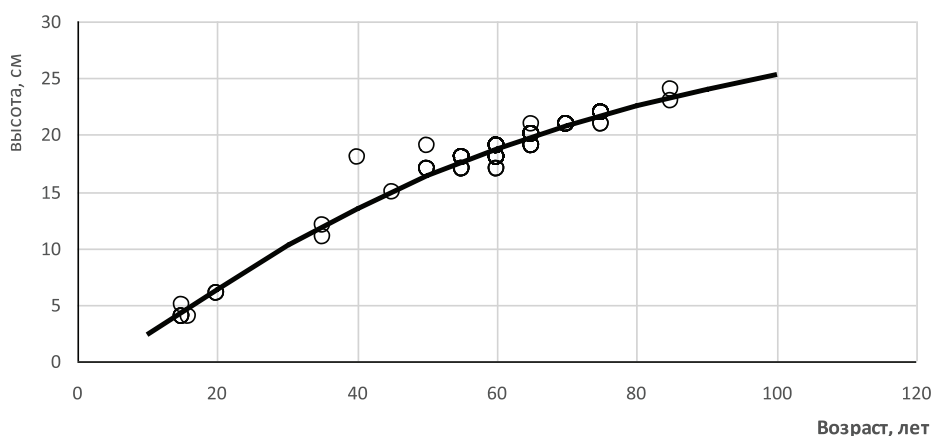


Рис. 1. Возрастная динамика средней высоты еловых насаждений II класса бонитета. Линией обозначена модель, кружочками – исходные данные

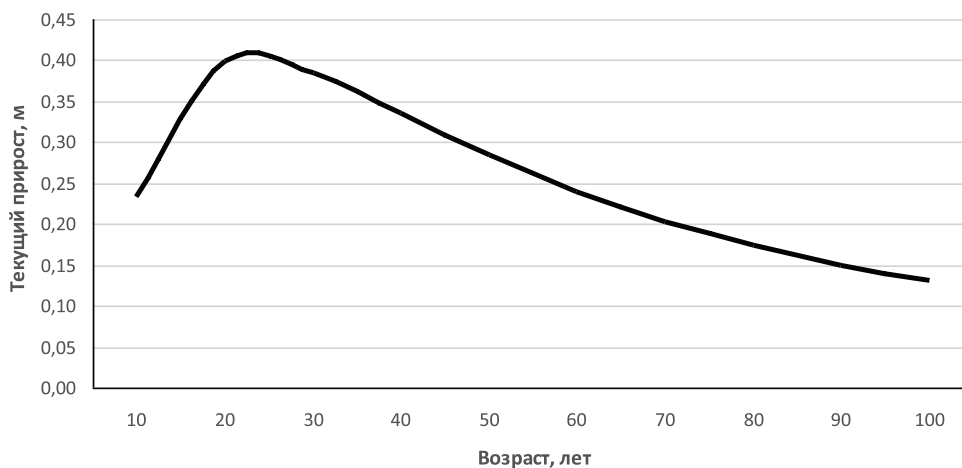


Рис. 2. Возрастная динамика текущего прироста древостоев по высоте в еловых древостоях II класса бонитета

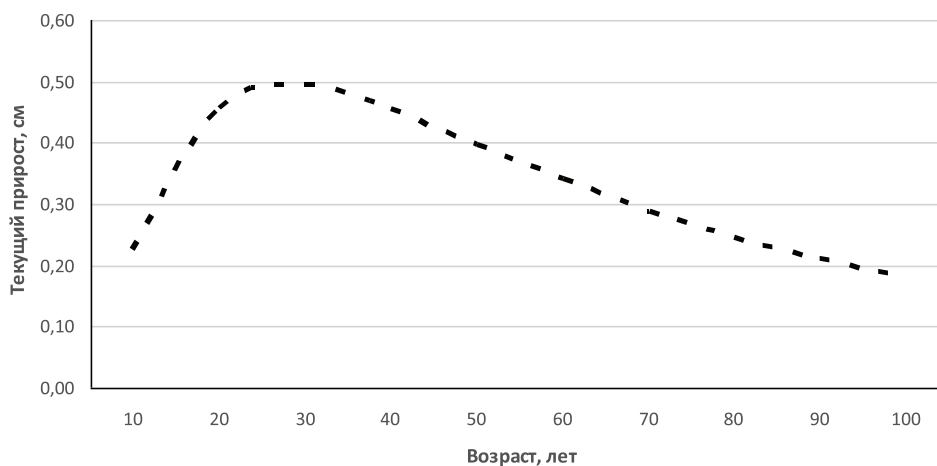


Рис. 3. Возрастная динамика текущего прироста по диаметру ельников II класса бонитета с относительной полнотой 0,6

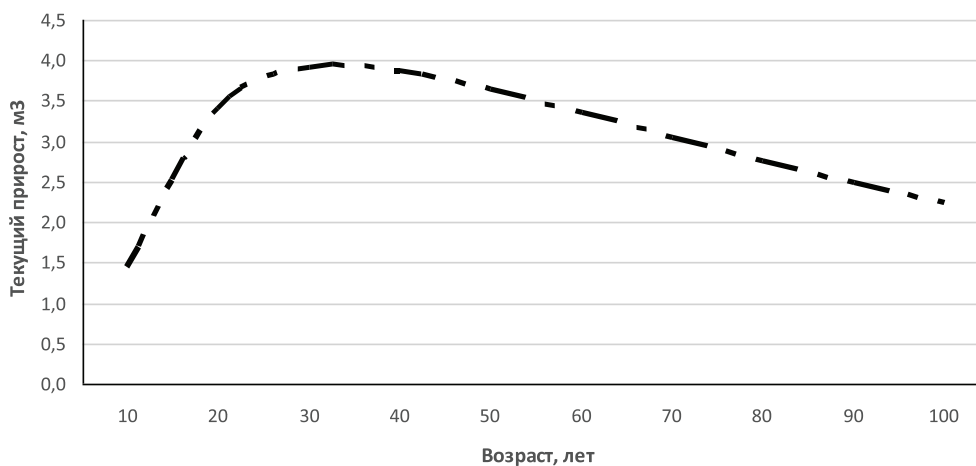


Рис. 4. Возрастная динамика текущего прироста по запасу насаждений II класса бонитета с относительной полнотой 0,6

В результате анализа было выявлено существенное влияние относительной полноты на рост ельников по диаметру, в связи с чем модель разработана для модальных еловых древостоев второго класса бонитета с относительной полнотой 0,6.

Для выравнивания запасов использовалась функция Корсуня – Бакмана (2). В результате получена статистически достоверная регрессионная модель.

Далее, учитывая, что наиболее эффективным приемом актуализации является использование в этом процессе экстраполяционных коэффициентов, представляющих собой величины изменения таксационных показателей за определенное количество лет, был проведен анализ приростов по высоте (рис. 2).

Возрастная динамика текущего прироста по диаметру в молодом возрасте описывается аналогичным образом, достигая кульминации в 30 лет (рис. 3).

Возрастная динамика текущего прироста по запасу характеризуется кульминацией в 30 лет (рис. 4), после чего с возрастом прирост также постепенно снижается.

Проведенный анализ по приростам позволил разработать экстраполяционные коэффициенты, представляющие собой величины изменения таксационных показателей за определенное количество лет (приросты по высоте, диаметру и запасу в%). Полученные данные, сгруппированные в зависимости от возраста насаждения, позволили произвести пересчет данных прошлого лесоустройства с учетом срока их давности.

Сопоставление результатов натурного обследования с модельными данными

показало, что в среднем наибольшее расхождение по запасу не превышает 10%. В результате оценки по модели получены значения, превышающие результаты натурного обследования (рис. 5). Однако статистически значимого различия средних между модельными расчетами и результатами натурного обследования установить не удалось.

В результате проведенной работы:

– Получены коэффициенты регрессии, позволившие определить среднегодовое изменение средних высоты, диаметра и запаса на 1 га в различном возрасте древостоев. Составлена таблица текущего прироста еловых древостоев по основным таксационным показателям.

– Для проверки адекватности разработанных моделей, на основе полученной таблицы текущего прироста, таксационной характеристики выделов и периода с момента проведения предыдущего лесоустройства проведена актуализация средних диаметров, средних высот и запасов на 1 гектар. Сравнение значений таксационных показателей в выделах, пройденных натурной таксацией, с данными, полученными в результате актуализации, показало адекватность полученных моделей.

– Получены модели, характеризующие рост древостоев с учетом особенностей условий произрастания, применимые при составлении местных таблиц хода роста еловых древостоев, которые могут быть использованы как для характеристики рассматриваемого лесного фонда, так и для проверки адекватности актуализации материалов, выполненной другими способами.

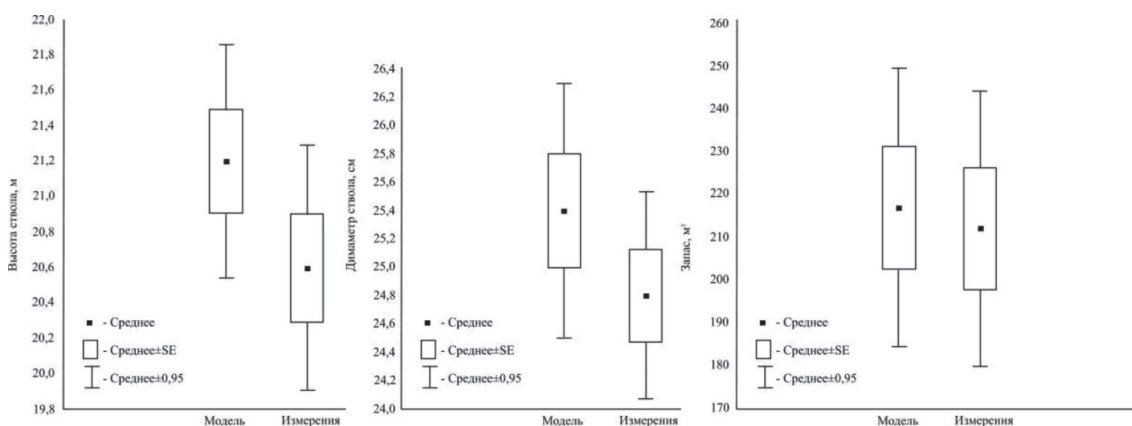


Рис. 5. Сравнение результатов актуализации по модели и натурного обследования: среднее – среднее арифметическое; SE – стандартная ошибка; 0,95 – 95% – доверительный интервал

Выводы

Использование уравнения Корсуна для описания возрастной динамики средней высоты и среднего диаметра еловых древостоев, а также уравнения Корсуна – Бакмана для описания запасов позволяет получить достоверные регрессионные коэффициенты.

Материалы лесоустройства надлежащего качества в сочетании с результатами измерительно-перечислительной таксации позволяют получать объективные данные о возрастной динамике основных таксационных показателей древостоев и могут служить основой для проведения лесоустройства методом актуализации.

Список литературы

1. Приказ Рослесхоза от 12.12.2011 № 516: «Об утверждении лесоустроительной инструкции». URL: www.rosleshoz.gov.ru/docs/leshoz/208 (дата обращения: 20.01.2018).
2. Скудин В.М. Проектирование лесных участков и разработка проектов освоения лесов: проблемы и их решение / В.М. Скудин, К.И. Распопин, Д.А. Свищев, С.К. Распопин, Р.С. Ахмедзянов // Хвойные бореальной зоны. – 2009. – № 2. – С. 224–228.
3. Григорьев А.Ю. Хотели как лучше... и что надо делать, чтобы не «получилось как всегда» // Социально-экологические проблемы лесного сектора России и пути их решения. – М., 2001. URL: old.forest.ru/rus/publications/how/03-2.html (дата обращения: 20.01.2018).
4. Трейфельд Р.Ф. Между Лесоустройством и ГИЛ. URL: forstmeisterspb.org/blog16327 (дата обращения: 20.01.2018).
5. Зубова С.С. Актуализация материалов лесоустройства с использованием нормативов, полученных на основе поведельных баз данных ГИС / С.С. Зубова, З.Я. Нагимов, Г.А. Годовалов // Современные проблемы науки и образования. – 2013. – № 6. URL: www.science-education.ru/ru/article/view?id=11070 (дата обращения: 20.01.2018).
6. Лесохозяйственный регламент Чайковского лесничества. Министерство природных ресурсов, лесного хозяйства и экологии Пермского края. – Пермь. – 260 с. URL: priroda.permkrai.ru/timberraw/les_regl/reglamenty/2014-2018/Чайковское%20лесничество.pdf (дата обращения: 20.01.2018).
7. Зубова С.С. Разработка нормативов для актуализации лесоустроительной информации в ГИС ГЕОГРАФ (на примере лесного участка ООО «Катавлесхоз»): автореф. дис. ... канд. с.-х. наук (25.12.13) / Зубова Светлана Сергеевна; УГЛТУ. – Екатеринбург, 2013. – 21 с.

дис. ... канд. с.-х. наук (25.12.13) / Зубова Светлана Сергеевна; УГЛТУ. – Екатеринбург, 2013. – 21 с.

8. Анучин Н.П. Лесная таксация / Н.П. Анучин. – М.: Лесная промышленность, 1982. – 552 с.

References

1. Prikaz Rosleskhozа ot 12.12.2011 №516: «Ob utverzhdenii lesoustroitel'noi instruksii». [Order of Rosleskhoz from 12.12.2011 no.516: «On approval of the forest management planning manual »]. Available at: www.rosleshoz.gov.ru/docs/leshoz/208 (accessed 20.01.2018).
2. Skudin V.M., Raspopin K.I., Svishev D.A., Raspopin S.K., Akhmedzianov R.S. The Design of Forest Plots and the Project Development of the Forest Exploitation: Problems and their Solution [Proektirovanie lesnykh uchastkov i razrabotka proektov osvoeniia lesov: problemy i ikh reshenie]. Khvoynye boreal'noi zony - Coniferous of the boreal zone, 2009, no. 2, pp. 224-228.
3. Grigor'ev A.Iu. Khoteli kak luchshe i chto nado delat', chtoby ne «poluchilos' kak vseгда». Sotsial'no-ekologicheskie problemy lesnogo sektora Rossii i puti ikh resheniia. [Like the best... and what to do to not "turned out as always". Socio-environmental problems of the Russian forest sector and their solutions.]. Available at: old.forest.ru/rus/publications/how/03-2.html (accessed 20.01.2018).
4. Treifel'd R.F. Mezhdю Lesoustroistvom i GIL [Between Forest inventory and GIL.]. Available at: forstmeisterspb.org/blog16327 (accessed 20.01.2018).
5. Zubova S.S., Nagimov Z.Ia. , Godovalov G.A. The Aktualization of Forest Management Materials on the Basis Date Base of Inventarizathion of Forest from GIS [Aktualizatsiia materialov lesoustroistva s ispol'zovaniem normativov, poluchennykh na osnove povydel'nykh baz dannykh GIS]. Sovremennye problemy nauki i obrazovaniia - Modern Problems of Science and Education, 2013, no. 6. available at: www.science-education.ru/ru/article/view?id=11070 (accessed 20.01.2018).
6. Lesokhoziaistvennyi reglament Chaikovskogo lesnichestva. Ministerstvo prirodnykh resursov, lesnogo khoziaistva i ekologii Permskogo kraia Perm'. [Lesohozjajstvennyj reglament Chajkovskogo lesnichestva. Ministerstvo prirodnykh resursov, lesnogo hozjajstva i jekologii Permskogo kraja Perm']. Available at: priroda.permkrai.ru/timberraw/les_regl/reglamenty/2014-2018/Чайковское%20лесничество.pdf (accessed 20.01.2018).
7. Zubova S.S. Razrabotka normativov dlja aktualizatsii lesoustroitel'noi informatsii v GIS GEOGRAF (na primere lesnogo uchastka ООО «Katavleskhoz»): avtoref. dis. na soisk. uchen. step. kand. s.-kh. nauk [The development of standards for updating management information in a GIS GEOGRAPHER (on the example of forest, ООО "Katavleskhoz") [Razrabotka normativov dlja aktualizatsii lesoustroitel'noj informatsii v GIS GEOGRAF]. Ekaterinburg, UGLTU, 2013, 21.
8. Anuchin N.P. Lesnaia taksatsiia [Forest Survey]. Ekaterinburg, Lesnaia promyshlennost', 1982, 552.

УДК 631.67:632.7:633.3(470.4)

ВЛИЯНИЕ ОРОШЕНИЯ НА ФОРМИРОВАНИЕ ЭНТОМОКОМПЛЕКСОВ АГРОЛАНДШАФТОВ В НИЖНЕМ ПОВОЛЖЬЕ**Комарова О.П.***ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт орошаемого земледелия»,
Волгоград, e-mail: komarova62@rambler.ru*

В статье рассмотрена роль орошения как одного из основных факторов в аридных регионах России, позволяющих расширить диапазон приемлемых условий для жизнедеятельности биотического компонента агроэкосистем и, соответственно, увеличения его видового и численного разнообразия. В орошаемых агроландшафтах в целом сокращается обилие ксерофильных видов при возрастании обилия и видового разнообразия мезофилов и, частично, гигрофилов. Представлены данные по видовому разнообразию энтомологических сообществ в агроценозах и сопутствующих зональных и интразональных станциях в условиях орошения и на неорошаемых участках. Показано, что видовой состав насекомых при орошении значительно (в 1,7 раза) богаче, чем без орошения. Состав энтомофауны орошаемых агроландшафтов Нижнего Поволжья насчитывает 1712 видов, из которых 1432 вида отмечены в агроценозах и 1579 видов – в сопутствующих зональных и интразональных станциях. Рассмотрено влияние орошения на вредоносность видов фитоауруса. Несмотря на рост вредоносности фитофагов, урожайность на орошении выше, что связано с усилением репродуктивной функции, более высокими компенсаторными свойствами растений, большей кустистостью в условиях орошения. Представлены данные по увеличению суммарного обилия группировки жулици орошаемых агроценозов по сравнению с неорошаемыми за счет видов со смешанным типом питания, большинство которых играют важную роль в регулировании численности фитофагов. Рост численности энтомофагов герпетобионтов объясняется большей мезофитностью микроклимата в напочвенном ярусе травостоя, появлением дополнительных экологических ниш, что ведет к увеличению количества жертв по сравнению с неорошаемыми агроценозами, где общее обилие насекомых существенно меньше.

Ключевые слова: энтомокомплексы, агроландшафт, орошение, Нижнее Поволжье**IRRIGATION INFLUENCE ON ENTOMOLOGICAL COMPLEX FORMATION OF AGROLANDSCAPES IN LOWER VOLGA AREA****Komarova O.P.***All-Russian Research Institute of Irrigated Agriculture, Volgograd, e-mail: komarova62@rambler.ru*

The role of irrigation as one of the major factors in the arid regions of Russia allowing to expand the range of acceptable conditions for activity of a biotic component of agroecosystems and, respectively, increase in its specific and numerical variety is considered in the article. In the irrigated agrolandscapes in general the abundance of the xerophilic types is reduced at increasing the abundance and specific variety of mezophiles and, partially, hygrophiles. Data on a specific variety of entomological communities in the agroecocenosis and the accompanying zone and intrazonal station in the conditions of irrigation and on not irrigated plots are submitted. It is shown that the specific list of insects at irrigation is considerably (by 1,7 times) richer, than without irrigation. The structure of entomofauna of the irrigated agrolandscapes of Lower Volga area contains 1712 species including 1432 ones that are noted in the agroecocenosis, and 1579 ones – in the accompanying zone and intrazonal station. Influence of irrigation on injuriousness of phytophagous species is considered. Despite the phytophages injuriousness increasing, productivity on irrigation plot is higher, that is connected with strengthening of reproductive function, higher compensatory properties of plants, bushiness growth under irrigation conditions. Data are presented on the increase in the total abundance of the grouping of beetles of irrigated agroecocenososes in comparison with nonirrigated species due to species with a mixed type of food, most of which play an important role in regulating the number of phytophages. The increase in the number of entomophagous herpetobionts is explained by the greater mesophytic microclimate in the ground tier of the herbage, the appearance of additional ecological niches, which leads to an increase in the number of victims compared to nonirrigated agroecocenososes, where the total abundance of insects is significantly less.

Keywords: entomological complexes, agrolandscape, irrigation, lower volga area

Сельскохозяйственное производство Нижнего Поволжья определяется достаточными земельными и водными ресурсами, потенциально плодородными почвами. Сравнительно высокая теплообеспеченность ($t > 10^{\circ}\text{C} = 2600\text{--}3700^{\circ}\text{C}$) и продолжительный безморозный период (150–170 дней) позволяют выращивать здесь не только зерновые колосовые культуры, но и кукурузу на зерно и силос, теплолюбивые овощи (томаты, перец, баклажаны и др.), рис,

бахчевые. Значительные площади (до 50%) заняты кормовыми культурами.

Однако четко выраженная континентальность и недостаточное количество атмосферных осадков (400–180 мм в год при испаряемости 800–1200 мм) приводят к тому, что использование поступающей фотосинтетически активной радиации ($18\text{--}21 \times 10^9$ кДж/га) в условиях естественного увлажнения остается очень низким (0,5–0,1% и ниже при теоретически возможном

5%). Иными словами, фактическая продуктивность агробиоценозов в 10–50 раз меньше потенциальной. Реализовать ее можно только при дополнительном увлажнении за счет орошения, которое выступает гарантом устойчивости сельскохозяйственного производства в регионе и в определенной степени способствует стабилизации аграрной экономики.

Однако на орошаемых землях, по сравнению с неорошаемыми массивами, наряду с ростом продуктивности сельскохозяйственных культур возрастает и вредоносность фитофагов, неблагоприятное фитосанитарное состояние отмечается в настоящее время на 77% сельскохозяйственных угодий, на 70% засеваемых кормовых угодий и 82% многолетних насаждений [1–4].

Широкое развитие орошения на юге России обуславливает необходимость всесторонней научно-практической оценки его влияния на формирование энтомокомплексов, изучение особенностей развития насекомых, повреждающих сельскохозяйственные культуры, и в конечном итоге разработки системы защитных мероприятий на орошаемых землях.

В связи с вышеизложенным целью наших исследований являлось изучение влияния орошения на формирование состава и структуры энтомокомплексов хортобионтов и герпетобионтов. В задачу исследований входило изучение видового состава насекомых, определение динамики численности и структуры доминирования комплексов жужелиц в орошаемых и неорошаемых агроландшафтах Волго-Донского междуречья.

Материалы и методы исследования

Исследования проведены в 1987–2017 гг. в орошаемых и неорошаемых агроценозах ФГУП «Орошаемое», расположенного в 20 км западнее г. Волгограда в границах южной части Волго-Донского междуречья. Учеты насекомых-хортобионтов проводили еженедельно в течение вегетационного сезона методом кошения энтомологическим сачком по общепринятой методике Г.Е. Осмоловского с пересчетом на количество экземпляров на 1 м², герпетобионтов – методом сбора ловушками Барбера [5, 6].

Результаты исследования и их обсуждение

Как показывают наши исследования по определению микроклиматических параме-

тров в агроценозах полевых культур, разница температур на орошаемой и неорошаемой люцерне может достигать 7–8 °С сразу после полива или в среднем за вегетацию до 4–5 °С. При дождевании температура воздуха более интенсивно снижается в течение трех-четырёх дней и менее – в продолжение полутора недель. При этом значительно повышается относительная влажность воздуха как внутри травостоя (до 20%), так и над всем орошаемым участком. Кроме того, на орошении отмечено снижение суточной амплитуды температур. Аналогичные результаты получены в опытах и с другими культурами, причем параметры микроклимата на пропашных (кукуруза, соя) в орошаемых условиях изменяются еще более резко. Указанные следствия влияния орошения, наряду с увеличением влажности почвы, приводят к значительно большей мезофитности микроклимата в агроценозе.

В орошаемых агроценозах отмечено формирование преимущественно полидоминантных энтомологических сообществ со значительным видовым разнообразием. Так, в орошаемом агроценозе люцерны из 254 зарегистрированных видов к доминантам и субдоминантам относится 10–15, тогда как на неорошаемых посевах из 159 зарегистрированных видов преобладают 6–8. В орошаемом агроценозе кукурузы зарегистрировано 86 видов насекомых, из которых 12 включены в доминирующую и субдоминирующую группы, в неорошаемых агроценозах – соответственно 64 и 9 видов. А в целом, по нашим данным, состав энтомофауны орошаемых агроландшафтов Нижнего Поволжья насчитывает 1712 видов, из которых 1432 вида отмечены в агроценозах и 1579 видов – в сопутствующих зональных и интразональных стациях. Видовой состав неорошаемых агроценозов значительно беднее и насчитывает только 982 вида. Анализ структуры энтомокомплексов показал, что в орошаемом агроценозе люцерны из 254 зарегистрированных видов к доминантам и субдоминантам относится 10–15, тогда как на неорошаемых посевах из 159 зарегистрированных видов преобладают 6–8.

В растениях, обеспеченных влагой, изменяется концентрация клеточного сока и сосущая сила листьев, что имеет важное значение для насекомых с колюще-сосущим ротовым аппаратом. Так, согласно данным, представленным на рис. 1, численность люцернового клопа на орошении возросла в 4,6 раза, тли – в 3,3, цикад – в 3,7 раза.

Орошение люцерны также благоприятно сказывается и на заселении посевов мезофильными видами. Так, численность люцерновой толстоножки (брухофагуса) на вариантах с орошением по сравнению с неорошаемыми участками увеличилась в 2,7 раза. В результате поврежденность семян брухофагусом возросла в 2,5 раза, а суммарные потери от семяеда – в 2,4 раза.

Орошаемые посевы являются более благоприятными для хищных и паразитических насекомых. При проведении сравнительных учетов численности энтомофауны семенной люцерны установлено, что на орошении численность полезных насекомых оказалась более чем в 7 раз выше, чем на богаре: соответственно 2,51 экз/м² и 0,35 экз/м². Численность кокцинеллид возрастает в 6 раз, паразитических перепончатокрылых – в 9 раз, хищных клопов – в 13 раз, златоглазок – в 16 раз. В результате на орошаемых посевах число фитофагов, приходящихся на 1 экземпляр фитофага, более чем в 3 раза ниже, чем в неорошаемых условиях. Это позволяет говорить о том, что на орошаемых посевах создаются более благоприятные условия для естественной регуляции численности вредителей.

Установлено, что под воздействием орошения происходит значительное увеличение обилия энтомофагов напочвенного яруса в агроценозах всех основных кормовых культур (таблица). Данные учетов жуужелиц (сем. Carabidae) почвенными ловушками показывают, что на различных культурах сравнительная численность этой группы эн-

томокомплекса в условиях орошения в 2,5–11,5 раз выше, чем на неорошаемых посевах.

Увеличение суммарного обилия группировки жуужелиц орошаемых агроценозов по сравнению с неорошаемыми происходит в первую очередь за счет увеличения численности на посевах таких видов, как *Poecilus cupreus*, *Pseudoophonus rufipes*, *Bembidion properans*, *Clivina fossor*, *Poecilus nitens*, *Harpalus distinguendus*.

Многолетние исследования, проведенные в орошаемых и неорошаемых ландшафтах Нижнего Поволжья, подтверждают имеющиеся литературные данные о том, что орошение является одним из наиболее мощных антропогенных факторов, воздействующих на экологические условия в агроценозах. На поливных землях, в отличие от неорошаемых, создаются условия, оказывающие влияние как на растения, так и на все живые организмы и, как следствие этого, на распространение вредителей и формирование энтомокомплекса полевых культур [7].

В первую очередь это связано со значительным изменением параметров микроклимата посевов и почвы. Внутри травостоя орошаемых полевых культур складывается микроклимат, характерный скорее для более северных и увлажненных районов России, чем для юго-востока. Естественно, что насекомые в соответствии со своим экологическим стандартом формируют на орошаемых массивах специфичный агробиоценоз, в котором преобладают мезофилы, а плотность популяции ксерофилов значительно снижается.



Численность и вредоносность фитофагов на широкорядных посевах 3-го года жизни орошаемой и неорошаемой семенной люцерны (ФГУП «Орошаемое», 1987–2017 гг.)

Сравнительное обилие комплексов жуужелиц орошаемых и неорошаемых агроценозов ведущих сельскохозяйственных культур по данным учетов в ловушках Барбера (ФГУП «Орошаемое», в среднем за 1987–2017 гг.)

Культура	Орошение, экз./10 л.-с.							Без орошения, экз./10 л.-с.						
	апрель	май	июнь	июль	август	сентябрь	в среднем за сезон	апрель	май	июнь	июль	август	сентябрь	в среднем за сезон
Люцерна	62,38	30,15	17,95	57,90	98,16	10,22	46,13	6,53	3,19	1,59	6,12	10,36	1,08	4,81
Клевер	61,02	29,15	15,84	56,01	94,20	9,84	44,34	4,87	2,75	1,34	4,56	8,85	0,75	3,85
Многокомпонентные смеси	59,16	40,89	27,87	16,74	87,15	8,27	40,01	7,31	5,13	3,53	2,17	10,35	1,17	4,94
Озимая пшеница	17,25	21,10	25,97	20,01	–	–	21,08	7,09	8,54	10,62	8,24	–	–	8,62
Кукуруза	–	1,90	2,88	4,41	32,79	12,99	10,99	–	0,38	0,54	0,84	5,90	2,31	1,99
Картофель	–	14,79	15,88	23,11	59,58	–	26,01	–	1,29	1,41	2,48	5,31	–	2,62
НСР ₀₅							1,44							0,09

Отмеченное сглаживание экстремумов температуры и относительной влажности воздуха на орошаемых землях способствует улучшению микроклиматических условий и комфортности обитания насекомых. Следовательно, орошение в аридных регионах следует отнести к одному из основных факторов оптимизации условий жизнедеятельности биотического компонента агроэкосистем и, соответственно, сохранения, а отчасти и расширения его биоразнообразия за счет возрастания численности и видового разнообразия мезофилов и, в меньшей степени, гигрофилов.

В качестве яркого примера приуроченности вида к определенным экологическим условиям являются клубеньковые долгоносики. Так, вид *Sitona lineatus* L. встречался на орошаемых участках люцерны, а на вариантах без орошения он уступал более сухлюбивому виду *S. crinitus* Hbst., который занял в наших сборах 100% всех клубеньковых долгоносиков.

Изменяющаяся экологическая обстановка, с одной стороны, непосредственно влияет на развитие и численность вредителей, с другой – обуславливает выращивание качественно новых растений, что отражается на взаимоотношениях между вредителем и растением, а также на выживаемости, плодовитости, продолжительности жизни отдельных фаз и других биологических особенностях популяции.

Изменение микроклиматических параметров почвы и приземного слоя воздуха приводит также к изменениям фенологии как кормового растения, так и фитофагов. Установлено, что на орошаемых участках прохождение фенологических фаз увеличивается. Так, развитие люцерны на орошении до фазы созревания бобов продолжается на 18–20 дней больше, чем на неорошаемых участках, при этом фенологический цикл развития вредителей на орошении сохраняет свою синхронизацию с фенологией кормового растения, удлиняясь также в среднем от 10 до 20–25 дней. В связи с этим потенциальная вредоносность всех изучавшихся видов вредителей на орошении возрастает. Это объясняется как увеличением периода активного питания личинок и имаго люцернового клопа и личинок фитономуса, так и растянутостью фазы формирования и молочной спелости семян, к которой приурочена откладка яиц самками желтого тихиуса и люцерновой толстоножки (при возделывании люцерны на семена).

Вместе с тем хотелось бы отметить, что создание наиболее благоприятных для развития растений микроклиматических условий на орошаемых землях положительно влияет на ход морфологических, органообразовательных, физиологических и биохимических процессов, способствуя резкому повышению продуктивности растений. При этом генеративные органы формируются более интенсивно. Усиление репродуктивной функции, высокие компенсаторные свойства растений, большая кустистость ведет к увеличению урожайности. И, таким образом, несмотря на рост вредоносности семян в 2,4 раза, урожайность семян на орошении также увеличивается, прибавка составляет 161,1%.

Доминирующие виды жуужелиц на орошаемых посевах – *Poecilus cupreus*, *Pseudophonus rufipes*, *Bembidion properans*, *Clivina fossor*, *Poecilus nitens*, *Harpalus distinguendus* – указаны в качестве активных хищников многих опасных вредителей основных кормовых культур [7–9].

И.Х. Шарова с соавторами [9] отмечает, что в аридных зонах ландшафтное распределение жуужелиц отличается неравномерностью. Наиболее высокая плотность видов этого семейства отмечается в мезофитных биотопах, располагающихся в понижениях рельефа. В нашем случае увеличение мезофитности микроклимата агроценоза под влиянием орошения закономерно привело к увеличению обилия населяющих его жуужелиц.

Кроме этого, на орошаемых участках значительно возрастает общее число животного населения агроценозов, многие элементы которого создают кормовую базу для хищных жуужелиц. Так, в частности, здесь увеличивается обилие злаковых тлей и пшеничного трипса, на возможность питания которыми жуужелиц указывает ряд авторов [9]. В связи с этим общее увеличение численности жуужелиц при орошении, кроме благоприятного микроклимата, обусловлено также и обилием жертв.

Наряду с увеличением видового разнообразия энтомокомплексов, в орошаемых условиях существенно меняется их трофическая структура. При проведении сравнительных учетов численности энтомофауны установлено, что на орошении относительная численность хищных и паразитических видов насекомых оказалась более чем в 7 раз выше, чем на богаре. Соотношение общей численности энтомофагов и фитофагов составляет здесь 1:1,9, тогда как в условиях богары – 1:6,1.

Выводы

Результаты исследований показывают, что одним из основных факторов оптимизации условий жизнедеятельности биотического компонента агроэкосистем является орошение, способствующее сохранению, а отчасти и расширению его биоразнообразия за счет возрастания численности и видового разнообразия мезофилов и гигрофилов.

Установлено, что изменение микроклиматических параметров почвы и приземного слоя воздуха приводит к изменениям фенологии как кормового растения, так и фитофагов. Так, на орошаемых участках прохождение фенологических фаз увеличивается. Например, на орошаемых посевах люцерны отмечено удлинение развития растений на 18–20 дней от весеннего отрастания до фазы созревания бобов по сравнению с неорошаемыми участками, при этом фенологический цикл развития вредителей на орошении сохраняет свою синхронизацию с фенологией кормового растения, удлиняясь также в среднем от 10 до 20–25 дней.

Создание наиболее благоприятных для развития растений микроклиматических условий на орошаемых землях положительно влияет на ход морфологических, органообразовательных, физиологических и биохимических процессов, способствуя резкому повышению продуктивности растений. Усиление репродуктивной функции, высокие компенсаторные свойства растений, большая кустистость ведут к увеличению урожайности. И, таким образом, несмотря на рост вредоносности семян в 2,4 раза, урожайность семян на орошении также увеличивается, прибавка составляет 161,1%.

Результаты исследований показывают, что в орошаемых условиях отмечено формирование преимущественно полидоминантных энтомологических сообществ со значительным видовым разнообразием. Состав энтомофауны орошаемых агроландшафтов Нижнего Поволжья насчитывает 1712 видов, из которых 1432 вида отмечены в агроценозах и 1579 видов – в сопутствующих зональных и интразональных стадиях. Видовой состав неорошаемых агроценозов значительно беднее и насчитывает только 982 вида.

На орошаемых участках отмечено увеличение суммарного обилия группировки жужелиц – активных хищников многих опасных видов фитофагов полевых куль-

тур. Увеличение численности жужелиц на орошении объясняется большей мезофитностью микроклимата в напочвенном ярусе стеблестоя, появлением дополнительных экологических ниш, что ведет как к увеличению видового разнообразия, так и к увеличению общей численности комплекса, а также увеличению потенциальной кормовой базы по сравнению с неорошаемым агроценозом, где общее обилие животного населения существенно меньше.

Таким образом, в условиях орошения формируются более стабильные сообщества насекомых за счет увеличения их разнообразия, с одной стороны, и за счет оптимизации их структуры – с другой.

Список литературы

1. Захаренко В.А. Рынок пестицидов в России и перспективы его развития / В.А. Захаренко // Защита и карантин растений. – 2014. – № 11. – С. 3–6.
2. Зубков А.Ф. Агробиоценология на рубеже XX–XXI веков / А.Ф. Зубков // Актуальные вопросы современных сельскохозяйственных наук: материалы междунар. науч.-практ. конференции (Екатеринбург, 10 марта 2016 г.). – Екатеринбург: ИЦРОН, 2016. – С. 27–30.
3. Иванцова Е.А. Сохранение и восстановление биологического разнообразия агроландшафтов / Е.А. Иванцова // Экологическая безопасность и охрана окружающей среды в регионах России: теория и практика: материалы Всероссийской научно-практической конференции (Волгоград, 12–13 октября 2015 г.). – Волгоград: Волгоградский государственный университет, 2015. – С. 46–50.
4. Иванцова Е.А. Влияние состава лесных полос на видовое богатство и обилие энтомофагов / Е.А. Иванцова, Ю.В. Вострикова // Наука и образование в жизни современного общества: материалы Международной научно-практической конференции (Тамбов, 30 декабря 2014 г.). – Тамбов: ООО «Консалтинговая компания Юком», 2015. – С. 48–49.
5. Осмоловский Г.Е. Выявление сельскохозяйственных вредителей и сигнализация сроков борьбы с ними / Г.Е. Осмоловский. – М.: Б.и., 1964. – 204 с.
6. Barber H. Traps for cave-inhabiting insects // J. Elisha Mitchell Sci. Soc. – 1931. – Т. 46, № 3. – P. 259–266.
7. Комаров Е.В. Состав, структура, распределение герпетобийных жесткокрылых (Coleoptera) в орошаемом агроландшафте // Е.В. Комаров, Т.Л. Карпова // Фундаментальные исследования. – 2014. – № 12–11. – С. 2350–2356.
8. Комаров Е.В. Состав и структура сообществ жесткокрылых насекомых (Coleoptera) как показатель состояния степных экосистем юго-востока европейской части России / Е.В. Комаров, Н.С. Калужная, Л.Б. Черезова // Степи Северной Евразии: стратегия сохранения природного разнообразия и степного природопользования в XXI веке: материалы международного симпозиума (Оренбург, 31 декабря – 1 января 2000 г.) – Оренбург: 2000. – С. 189–190.
9. Шарова И.Х. Влияние орошения и окружающих местообитаний на формирование населения жужелиц (Coleoptera, Carabidae) в агроценозах полупустынной зоны Нижнего Поволжья / И.Х. Шарова, Е.В. Комаров, Т.Л. Карпова. – Волгоград: Нива, 2009. – 99 с.

References

1. Zakharenko V.A. The market of pesticides in Russia and the prospects of its development [Rynok pestitsidov v Rossii i perspektivy ego razvitiia]. Zashchita i karantin rastenii – Protection and quarantine of plants, 2014, no. 11, pp. 3-6.

2. Zubkov A.F. Agrobiotsenologiya na rubezhe XX-XXI vekov [Agrobiotsenologiya at a turn of the 20-21st centuries]. Aktual'nye voprosy sovremennykh sel'skokhoziaistvennykh nauk (Ekaterinburg, 10 marta 2016 g.). (g. Ekaterinburg, 10-10 marta 2016 g.) [Proceedings of Topical issues of modern agricultural sciences (Ekaterinburg, March 10-10, 2016)], Ekaterinburg, ITsRON, 2016, pp. 27-30.
3. Ivantsova E.A. Sokhranenie i vosstanovlenie biologicheskogo raznoobraziia agrolesolandshaftov [Preservation and restoration of biological diversity of agrolesolandshaft]. Ekologicheskaiia bezopasnost' i okhrana okruzhaiushchei sredy v regionakh Rossii: teoriia i praktika (g. Volgograd, 12-15 oktiabria 2015 g.) [Proceedings of Ecological safety and environmental protection in regions of Russia: theory and practice (Volgograd, October 12-15, 2015)], Volgograd, Volgogradskii gosudarstvennyi universitet, 2015, pp. 46-50.
4. Ivantsova E.A., Vostrikova Iu.V. Vliianie sostava lesnykh polos na vidovoe bogatstvo i obilie entomofagov [Influence of structure of forest strips on specific wealth and abundance of entomophages]. Nauka i obrazovanie v zhizni sovremenogo obshchestva (g. Tambov, 30-30 dekabria 2014 g.) [Proceedings of Science and education in life of modern society (Tambov, December 30-30, 2014)], Tambov, OOO «Konsaltingovaia kompaniia Iukom», 2015, pp. 48-49.
5. Osmolovskii G.E. Vyivlenie sel'skokhoziaistvennykh vreditelei i signalizatsiia srokov bor'by s nimi [Identification of agricultural wreckers and alarm system of terms of fight against them]. Moskow, M: B.i., 1964, 204.
6. Barber H. Traps for cave-inhabiting insects . Elicha Mitchell Sci. Soc. , 1931, no. 3, pp. 259-266.
7. Komarov E.V., Karpova T.L. Composition, Structure, Distribution of the Complexes Herpetobiont Coleoptera in Irrigated agrolandscape [Sostav, struktura, raspredelenie gerpetobiontnykh zhestkokrylykh (Coleoptera) v oroshaemom agrolandshafte]. Fundamental'nye issledovaniia - Fundamental research, 2014, vol. 11, no. 12, pp. 2350-2356.
8. Komarov E.V., Kaliuzhnaia N.S., Cherezova L.B. Sostav i struktura soobshchestv zhestkokrylykh nasekomykh (Soleoptera) kak pokazatel' sostoianiia stepnykh ekosistem iugo-vostoka evropeiskoi chasti Rossii [Structure and structure of communities of coleopterous insects (Coleoptera) as indicator of a condition of steppe ecosystems of the southeast of the European part of Russia]. Stepi Severnoi Evrazii: strategiia sokhraneniia prirodnogo raznoobraziia i stepnogo prirodopol'zovaniia v XXI veke (g. Orenburg, 31 dekabria - 1 ianvaria 1999 g.) [Proceedings of Steppes of Northern Eurasia: the strategy of maintaining a natural variety and steppe environmental management in the 21st century (orenburg, December 31 - January 1, 1999)], Orenburg, Bez izdatel'stva, 2000, pp. 189-190.
9. Sharova I.Kh., Komarov E.V., Karpova T.L. Vliianie orosheniia i okruzhaiushchikh mestoobitaniia na formirovanie naseleniia zhuzhelits v agrotsenozakh polupustynnoi zony Nizhnego Povolzh'ia [Influence of irrigation and surrounding habitats on formation of the population of ground beetles (Coleoptera, Carabidae) in the agrotsenozakh of a semidesertic zone of Lower Volga area]. Volgograd, Niva, 2009, 99.

УДК 630*165.3(470.4)

ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ И РЕЗУЛЬТАТЫ СЕЛЕКЦИИ ДРЕВЕСНЫХ ВИДОВ ДЛЯ ЗАЩИТНОГО ЛЕСОРАЗВЕДЕНИЯ В ЗАСУШЛИВЫХ УСЛОВИЯХ ЮГО-ВОСТОКА ЕВРОПЕЙСКОЙ РОССИИ

²Крючков С.Н., ¹Морозова Е.В., ¹Иозус А.П.

¹*Камышинский технологический институт (филиал) ГОУ «Волгоградский государственный технический университет», Камышин, e-mail: end@kti.ru;*
²*ФГБНУ «Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения» Российской академии наук, Волгоград*

Целью исследования является определение основных подходов и систематизация многолетнего опыта получения перспективных сортов для защитного лесоразведения в условиях юго-востока Европейской России. В статье представлены основные направления сортоиспытания для защитного лесоразведения и озеленения. Описана методика и результаты получения новых сортов основных древесных видов, используемых для защитного лесоразведения. Результатом селекционной работы является выведение новых перспективных сортов деревьев и кустарников. В настоящее время сорт относят к инновационному продукту. Внедрение новых сортов в производственные посадки позволит получить лесные насаждения с оптимальными параметрами, а использование их в агролесомелиорации и озеленении будет способствовать повышению устойчивости и долговечности лесонасаждений, улучшению их мелиоративных функций. Работы по созданию сортов для защитного лесоразведения и агролесомелиорации были начаты в 50-е годы XX столетия А.В. Альбенским, и продолжаются до настоящего времени. Вековой опыт селекционной работы, накопленный учеными-лесоводами разных научных учреждений нашей страны, позволяет проводить в Нижнем Поволжье широко-масштабную селекцию с основными лесообразующими видами. Здесь создана сеть селекционных объектов: лесосеменные плантации дуба, сосны, лиственницы, вяза, робинии на основе селекции лучших биотипов. Комплексная оценка селекционных образцов и изучение их наследственных свойств в потомстве позволила создать перспективные сорта древесных видов для лесомелиоративных и озеленительных насаждений. В статье описаны выведенные в Нижнем Поволжье сорта, имеющие наибольшую ценность и обладающие комплексом хозяйственно ценных качеств, связанных с устойчивостью к неблагоприятным и биотическим факторам.

Ключевые слова: селекция, сортоиспытание, деревья, кустарники, древесные виды

THE MAIN DIRECTIONS AND RESULTS OF VARIETAL PLANT BREEDING OF THE TYPES OF TREES AND SHRUBS FOR PROTECTIVE AFFORESTATION IN THE DRY CONDITIONS OF THE SOUTH-EAST OF EUROPE RUSSIA

²Kryuchkov S.N., ¹Morozova E.V., ¹Iozus A.P.

¹*Kamyshin Technological Institut (branch) of Volgograd State Technical University, Kamyshin, e-mail: end@kti.ru;*
²*ALL-Russian Research Institut of Agroforest Melioration, Volgograd*

The aim of the study is to identify the main approaches and systematize the long-term experience in obtaining promising varieties for protective afforestation in conditions the southeast of European Russia. The main trends of variety trials for protective afforestation and gardening are presented in the article. The technique and results of obtaining new varieties of the main tree species used for protective afforestation are described. The result of breeding work is the breeding of new promising varieties of trees and shrubs. Currently, the cultivar is considered an innovative product. The introduction of new varieties into production plantations will allow obtaining forest plantations with optimal parameters, and their use in forest amelioration and landscaping, will contribute to increasing the stability and durability of afforestation and improving their reclamation functions. Works on the creation of varieties for protective afforestation and agroforestry were started in the 50s of the XX century by A. V. Albensky and continue to present time. The centuries-old experience of breeding work, accumulated by scientists-foresters of various scientific institutions in our country, allows carrying out of large-scale breeding with the main forest-forming species in the Lower Volga region. Here, a network of breeding objects has been created: seed-bearing oak, pine, larch, elm, and acacia plantations based on breeding of the best biotypes. Complex assessment of breeding samples and study of their hereditary properties in the offspring allowed to create promising varieties of wood species for forest amelioration and planting plantations. The article describes the varieties that have the highest value and possess a set of economically valuable qualities that are associated with resistance to unfavorable and biotic factors, derived in the Lower Volga region.

Keywords: variety testing, breeding, trees, shrubs, species of woody plants

Получение новых перспективных сортов лесных, а также декоративных деревьев и кустарников является основным результатом многолетней селекционной работы. Внедрение полученного селекцион-

ного материала в производственные посадки позволит получить лесные насаждения с заданными параметрами, а использование их в агролесомелиорации и озеленении будет способствовать повышению устойчи-

ности и долговечности лесонасаждений, улучшению их мелиоративных функций. В настоящее время сорт относят к инновационному продукту.

Селекция древесных видов сопряжена с рядом специфических характеристик, таких как длительность селекционного процесса, полиморфизм признаков, особенности размножения и др., что создаёт определённые трудности при реализации селекционных программ. Закрепить гибридные генотипы, не добываясь их константности при семенном размножении, позволяет вегетативное размножение. Работы по созданию сортов для защитного лесоразведения и агролесомелиорации были начаты в 50-е годы XX столетия А.В. Альбенским и продолжены под руководством Г.П. Озолина и Г.Я. Маттиса [1].

Вековой опыт селекционной работы, накопленный ФГБНУ «Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук», позволяет проводить на юго-востоке Европейской России широкомасштабную селекцию с основными лесобразующими видами. Наибольшую ценность имеют выведенные сорта, обладающие комплексом хозяйственно ценных качеств, связанных с устойчивостью к неблагоприятным (низкие и высокие температуры, недостаток влаги и избыток солей в почве) и биотическим (болезни, вредители) факторам. Такие качества во многом определяют эффективность сорта в жестких лесорастительных условиях.

Цель исследования: определить основные подходы и систематизировать многолетний опыт получения новых перспективных сортов для защитного лесоразведения в условиях юго-востока Европейской России.

Материалы и методы исследования

Выявление сортообразцов, обладающих комплексом хозяйственно ценных качеств и по своим особенностям близких к модели сорта, проводится на видовом, популяционном, биотическом уровнях [2, 3]. Для этого используют разные селекционные категории насаждений и различные направления оценки (табл. 1).

Первичная оценка сортообразцов проводится по фенотипу. Оцениваются таксационные параметры, форма и ажурность кроны, форма и качество ствола, особенности морфологического строения ветвей, листьев, цветов и плодов.

Отбор проводится в коллекционных фондах и на объектах лесосеменной базы. Сортообразцы отбираются среди деревьев, вступивших в пору плодоношения, когда в полной мере проявляются их хозяйственно ценные признаки, стабилизируется рост и развитие. При селекции на долговечность отбор ведется в старовозрастных насаждениях при условии их хорошего состояния и плодоношения.

Сортообразцы также отбирают в искусственных и естественных насаждениях, произрастающих в условиях, типичных для данного региона. При отборе учитывается внутривидовая изменчивость по селективному признаку. Отбираемый сортообразец должен превосходить типичные формы по этому показателю в пределах достоверной наименьшей существенной разницы.

Значительную роль в приобретении новых хозяйственно ценных признаков играют мутагенез и гибридизация. Поэтому поиск ценных биотипов в первую очередь проводится среди мутантов и гибридов. Изучение внутривидовой изменчивости позволяет проанализировать хозяйственно ценные признаки у вида и определить закономерности их проявления и наследования.

Таблица 1

Отбор и оценка селекционных образцов

УРОВНИ ОТБОРА		
Видовой	Популяционный	Биотический
ВИДЫ НАСАЖДЕНИЙ		
Естественные и искусственные лесные насаждения интродуцентов и аборигенных видов	Географические и экологические культуры, природные микропопуляции (экоотипы)	Семейственные и клоновые лесосеменные плантации (ЛСП), селекционные питомники, дендрологические коллекции
НАПРАВЛЕНИЯ ОЦЕНКИ		
Внутривидовая разнокачественность жизненных форм и их хозяйственно ценные качества	Популяционная изменчивость морфологических и физиологических признаков	Отношение к факторам среды (засухе, засолению почв, морозам, болезням и вредителям и др.)

Время отбора сортообразцов зависит от признака, по которому ведётся селекция. В течение всего года возможно проведение отбора по признакам, не меняющимся в сезонном цикле развития: форма и строение кроны, ветвей и ствола. Отбор по другим показателям проводится во время их наибольшего проявления. В течение вегетационного периода отбирают декоративные листовые формы. Селекцию на качество цветов и плодов, урожайность осуществляют во время массового цветения и плодоношения. Феноформы отбирают в период распускания листьев, цветения и листопада. Отбор на быстроту роста проводится в конце вегетационного периода. Отбор сортообразцов на устойчивость к отдельным абиотическим и биотическим факторам проводится в период их максимального воздействия (продолжительные засухи, бесснежные морозные зимы, массовые повреждения вредителями и болезнями).

Отбор сортообразцов проводится в 2 этапа. На первом подбираются насаждения и проводится их рекогносцировочное обследование. При подборе насаждений пользуются данными лесоустройства. Особое внимание уделяется высокопродуктивным насаждениям с высокими таксационными показателями и бонитетом. Перед началом работ по отбору сортообразцов следует проконсультироваться с работниками предприятий лесного хозяйства региона.

Направления сортоиспытания древесных видов для защитного лесоразведения включают 4 уровня: устойчивость, долговечность, морфологические особенности и продуктивность

Предварительное конкурсное сортоиспытание проводят в коллекциях, испытательных и географических культурах, лесосеменных плантациях. Государственное сортоиспытание проводится в сети государственных сортоиспытательных участков в различных природных зонах. Опыты по сортоиспытанию закладываются в насаждениях, созданных по рекомендуемым технологиям, и в условиях, типичных для данного региона выращивания сортов [3, 4].

На сортоиспытательном участке проводятся наблюдения и учёт основных производственно-биологических особенностей испытываемых сортов: сроки прохождения фенофаз; устойчивость к засухе, морозам, болезням и вредителям; урожайность; интенсивность роста. Полученные данные заносят в журнал и подвергают статистической обработке.

Испытываемые сорта, превосходящие по комплексу признаков стандартные, считаются перспективными. Неперспективные сорта снимают с испытания.

Сроки сортоиспытания определяются эколого-биологическими особенностями видов и целями сортоиспытания. Для лесных древесных видов предварительные выводы о перспективности сортов можно сделать в 5–15 лет, окончательные в 10–30 лет [1, 3]. Основные признаки сорта устойчиво проявляются при вступлении дерева в период плодоношения. Возраст вступления в генеративную фазу видоспецифичен и зависит от биологических особенностей вида и условий произрастания.

Сортоиспытательные участки закладываются по предварительно составленным проектам, включающим требования к посадочному материалу, технологии подготовки почвы; разбивку участка; схемы размещения; посадку растений по этим схемам; приемы ухода за растениями.

При закладке сортоиспытательных участков в виде лесных полос используют схему из 5 рядов. Для анализа берутся 3 средних ряда, опушечные ряды при изучении роста и состояния не учитываются. Рекомендуемое размещение в ряду 2 м, между рядами 3 м.

Испытываемые сорта в лесной полосе располагают блоками. Каждый блок имеет определённое количество потомств. Общее количество испытываемых потомств одной семьи должно быть таким, чтобы обеспечить достоверные результаты при статистической обработке. Удобно брать 24 растения одной семьи. При двукратной повторности количество растений в одном блоке составит 12 шт., при 3- и 4-кратной соответственно 8 и 6 шт. Чтобы обеспечить равномерное размещение растений в блоке лучше использовать 2- и 4-кратную повторности. В опушечные ряды высаживают потомства тех же номеров, что и в блоке. Повторности располагаются цепочкой одна за другой [4].

При закладке сортоиспытательных участков в виде массивов растения размещают по такой же схеме, что и для лесных полос: в ряду 2 м, между рядами 3 м. Количество повторностей и число растений в блоке такие же, как и для участков в виде лесных полос. Но повторности располагаются не в виде цепочки, а рядом друг с другом. Блоки в повторностях размещаются рендомизированно методом случайной выборки.

При проведении сортоиспытательных работ на ЛСП необходимо представитель-

ство потомств не менее 50 маточных деревьев с равным числом растений для каждого клона или семьи на площади не менее 10 га. Для сухой степи и полупустыни из-за ограниченной возможности отбора маточных деревьев минимальное представительство ограничивается 20–25 деревьями, а при использовании уникальных особей (например, пирамидальная и мачтовая формы робинии, пирамидальные дуб черешчатый и карагана, бескочковчатая форма гледичии) до 3–5 [5].

В качестве контроля на сортоиспытательных участках используют растения, выращенные из семян, собранных в нормальном насаждении того же возраста. В случае отсутствия такого насаждения допускается сбор семян в насаждениях младшего возраста, но не менее чем на один класс возраста. При сортоиспытании на ЛСП семена собирают в урожайные годы, когда наиболее полно происходит перекрёстное опыление.

При отборе сортообразцов в коллекционных фондах учитывалась индивидуальная изменчивость вида по отселектированному признаку. Отбираемый сортообразец превосходит типичные формы по этому показателю в пределах наименьшей средней разницы.

Результаты исследования и их обсуждение

Наибольшее количество сортообразцов, отвечающих требованиям селекционного отбора по устойчивости к комплексу неблагоприятных факторов было обнаружено у потомства материнских растений, отобранных в защитных лесных насаждениях юго-востока России. В селекционно-семеноводческом комплексе Волгоградского лесхоза, где наиболее полно представлено потомство отобранных маточных деревьев, были выделены сортообразцы ильмовых, робинии и караганы (табл. 2).

Среди видов большое разнообразие форм с хозяйственно ценными признаками отмечено у береста, который является аборигенным видом в Нижнем Поволжье. В естественных условиях широко распространена спонтанная гибридизация этого вида с интродуцентом вязом приземистым [6]. Гибриды между этими видами отличаются по морфологическим характеристикам, в ходе селекционной работы среди них было выделено несколько сортообразцов.

На основании изучения эколого-биологических особенностей сортообразцов ильмовых было получено авторское свидетельство на сорт гибридного вяза «Памяти

Гельмута Маттиса». Сортообразующими признаками гибридного вяза являются высокая засухоустойчивость, ажурность кроны и быстрота роста.

Широкое распространение в защитном лесоразведении южного региона получила робиния лжеакация, характеризующаяся высокими мелиоративными качествами, засухоустойчивостью, быстрым ростом, почвоулучшающими свойствами, медопродуктивностью, лёгкостью размножения, ценной древесиной и др. Недостатком этого вида является низкая морозоустойчивость, из-за которой наблюдается массовая гибель робиниевых насаждений в суровые зимы. В процессе исследований выделены формы робинии с разной продолжительностью роста. Установлено, что необмерзающие зимостойкие биотипы отличаются коротким периодом роста. Для сортоиспытания на морозоустойчивость выделен сортообразец «Волжанка», включающий 16 необмерзающих потомств, которые были размножены и перенесены в коллекционный участок Волгоградского ССК.

Прошёл сортоиспытание на коллекционном участке Волгоградского ССК и включен в Госреестр по Российской Федерации сорт караганы древовидной «Несравненная ВНИАЛМИ». Дерево быстрорастущее, средней величины с узкопирамидальной ажурной кроной. Цветение слабое, плодоношение единичное. Сорт характеризуется комплексной устойчивостью к неблагоприятным факторам среды. Рекомендуется для посадки в лесных культурах и в качестве декоративного сорта для озеленения (аллейные и групповые посадки, солитеры).

Робиния имеет ценные морфологические формы, в том числе мачтовую и пирамидальную, которую исполнители интродуцировали из Нижнеднепровской опытной станции УкрНИИЛХА в сухостепную зону Поволжья. По результатам сортоиспытания робинии пирамидальной формы по следующим признакам присвоен статус сорта «Комета»: быстрота роста, компактность кроны, высокая засухо- и жаростойкость. Недостаток сорта – относительно низкая морозоустойчивость.

Проходит сортоиспытание робинии мачтовой формы «Чирская», маточные деревья которой отобраны в Нижнеднепровской селекционной станции и Термосиновском лесничестве (Волгоградская обл.). Сортообразец характеризуется прямой стволом, хорошей очищаемостью от сучьев, интенсивностью роста в высоту (до 80–120 см в год) и средней зимостойкостью.

Таблица 2

Сорта древесных видов для защитного лесоразведения селекции ВНИАЛМИ

Название сортаобразца (пункт сортоиспытания)	№ авторского свидетельства/ № в госреестре	Авторство	Таксационные показатели в возрасте 20 лет (образец / контроль)		Хозяйственно ценные особенности
			высота, м	диаметр, см	
Вяз граболистный «Памяти Гельмута Маттиса» (Волгоград)	41663/9553261	С.Н. Крючков, И.Ю. Подковыров	8,0 / 6,5	13,0/ 10,5	Крона ажурная, плотная; устойчив к морозам, засухе, засолению почв, графйозу
Робиния «Комета» ф. пирамидальная (Волгоград)	44894/9358665	С.Н. Крючков, О.И. Жукова	10,5/ 9,0	12,0/ 10,5	Крона ажурная, пирамидальная; устойчива к засухе, вредителям и болезням. Декоративна
Карагана древовидная «Несравненная ВНИАЛМИ» ф. пирамидальная (Волгоград)	42281/9553689	С.Н. Крючков, Г.П. Архангельская	5,5/ 4,0	6,0/ 4,0	Крона пирамидальная, устойчива к морозам, засухе, болезням и вредителям. Декоративна
Тополь белый х Боллелана «Болле Камышинский» (Камышин)		А.В. Альбенский, И.В. Калинина	11,0	18	Малопылящий. Относительно устойчив к засухе и вредителям. Декоративный.
Тополь пирамидальный х осокорь «Пирамидально-осокоревый Камышинский» (Камышин)		А.В. Альбенский, И.В. Калинина	16,5	20,0	Хороший рост; узкая крона; высокая устойчивость к засухе, вредителям и болезням

Заключение

В настоящее время:

– определены основные методические подходы к сортоводству и сортоиспытанию перспективного селекционного материала для защитного лесоразведения;

– получены авторские свидетельства на ряд сортов древесных видов для защитного лесоразведения селекции ВНИАЛМИ.

Работы по испытанию сортаобразцов ильмовых, робинии, тополей и дубов целесообразно продолжить и расширить.

Список литературы

1. Иозус А.П., Крючков С.Н., Морозова Е.В. Селекционное семеноводство древесных пород на юго-востоке европейской России: монография / КТИ (филиал) ВолгГТУ. – Волгоград: ИУНЛ ВолгГТУ, 2016. – 184 с.
2. Любавская А.Я. Лесная селекция и генетика. Конспект лекций: учеб. пособие. – 2-е изд., испр. – М.: ГОУ ВПО МГУЛ, 2007. – 270 с.
3. Царев А.П. Программы лесной селекции в России и за рубежом: монография. – М.: МГУЛ, 2013. – 164 с.
4. Научно-методические указания по сортоводству деревьев и кустарников для защитного лесоразведения в аридных регионах. – Волгоград: ВНИАЛМИ, 2013. – 99 с.
5. Руководство по созданию устойчивых защитных лесных насаждений на крайнем юго-востоке европейской тер-

ритории России // Федеральная служба лесного хозяйства России. – М., 1996. – 80 с.

6. Иозус А.П., Морозова Е.В. Гибридизация как метод адаптации интродуцированных древесных пород к условиям сухой степи Нижнего Поволжья // Современные проблемы науки и образования. – 2015. – № 6. URL: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=22690> (дата обращения: 10.01.2018).

References

1. Iozus A.P., Kriuchkov S.N., Morozova E.V. Seleksionnoe semenovodstvo drevesnykh porod na iugo-vostoke evropeiskoi Rossii [Selection seed farming of tree species in the southeast of the European Russia]. Volgograd, IUNL VolgGTU, 2016. 184.
2. Liubavskaja A.A. Lesnaia selektsiia i genetika. [Forest selection and genetics.]. 2-e izd., ispr.. Moscow, GOU VPO MGUL, 2007, 270.
3. Tsarev A.P. Programmy lesnoi selektsii v Rossii i za rubezhom [Programs of forest selection in Russia and abroad]. Moscow, MGUL, 2013, 164.
4. Scientific and methodical instructions on a sortovodstvo of trees and bushes for protective afforestation in arid regions. – Volgograd: VNIALMI, 2013. 99 p.
5. The guide to creation of steady protective forest plantings in the extreme southeast of the European territory of Russia//Federal service of forestry of Russia. M., 1996. 80 p.
6. Iozus A.P., Morozova E.V. Hybridization as Metod of Adaptation of Introduced Trees Species to Conditions of Dry Steppe in the Lower Volga Region [Gibridizatsiia kak metod adaptatsii introdutsirovannykh drevesnykh porod k usloviiam sukhoi stepi Nizhnego Povolzh'ia]. Sovremennye problemy nauki i obrazovaniia - Modern problems of science and education, 2015, no. 6. available at: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=22690>. (accessed 10.01.2018).

УДК 631.41:543.2

СПЕКТРАЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВОДОРАСТВОРИМОГО ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА ОРГАНО-МИНЕРАЛЬНЫХ СУБСТРАТОВ РАЗЛИЧНОГО СОСТАВА

Мальцева А.Н., Пинский Д.Л.

*Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН, Пушкино,
e-mail: ansmalc@mail.ru*

Растворенные органические соединения представляют собой наиболее подвижную и реакционноспособную фракцию органического вещества (ОВ) почвы. Водорастворимое органическое вещество (ВОВ) считается переходным звеном лабильного пула в стабильный пул. Селективная стабилизация водорастворимых продуктов разложения на поверхности почвенных минералов приводит к их специфической трансформации. Вместе с тем образование ВОВ – обязательная стадия трансформации растительных остатков (РО). Проведен инкубационный эксперимент по влиянию минеральной среды на особенности ВОВ, формирующихся в процессе биодegradации РО. Объектами исследования служили искусственные органо-минеральные субстраты, полученные добавлением к суглинку, к смеси суглинка с каолинитом (30%) или бентонитом (15%) надземных частей клевера или кукурузы. Для характеристики ВОВ применены методы УФ, видимой и флуоресцентной спектроскопии. Показатель удельного поглощения $SUVA_{254}$ и индекс гумификации выше для ВОВ в составе органо-минеральных субстратов, по сравнению со свежими остатками и РО инкубируемыми без минеральной среды. Гипсохромный сдвиг максимумов интенсивности в спектрах эмиссии при увеличении длины возбуждения и характер синхронных спектров флуоресценции свидетельствуют о сложном гетерогенном составе ВОВ исследуемых субстратов. В составе ВОВ значительное место занимают соединения микробного происхождения. В процессе трансформации РО происходит обогащение ВОВ ароматическими компонентами по сравнению с исходным растительным материалом. Наибольшая ароматичность характерна для ВОВ из субстратов содержащих бентонит. В соответствии с «красным» сдвигом ароматичность и гидрофобность ВОВ возрастает в ряду: суглинок → суглинок + каолинистая глина → суглинок + бентонитовая глина. Установлено, что независимо от вида разлагающихся остатков минеральная среда определяет тенденции, состав и размеры молекул ОВ, переходящих в раствор.

Ключевые слова: водорастворимое органическое вещество, растительные остатки, гумификация, глинистые минералы, УФ и видимая спектроскопия, спектры флуоресценции

SPECTRAL CHARACTERISTICS OF THE WATER-SOLUBLE ORGANIC MATTER OF ORGANO-MINERAL SUBSTRATES OF VARIOUS COMPOSITION

Maltseva A.N., Pinskiy D.L.

*Institute of Physico-Chemical and Biological Problems of Soil Science, Russian Academy of Sciences,
Pushchino, e-mail: ansmalc@mail.ru*

Dissolved organic compounds are the most mobile and reactive fraction of the organic matter of the soil. Water-soluble organic matter (WSOM) is considered a transition link of the labile pool to the stable pool. Selective stabilization of water-soluble decomposition products on the surface of soil minerals leads to their specific transformation. At the same time, the formation of the WSOM is an obligatory stage of transformation of plant residues (PR). An incubation experiment was carried out on the effect of the mineral environment on the features of WSOM formed in the process of biodegradation of PR. The objects of the study were artificial organomineral substrates obtained by adding to loam, a mixture of loam with kaolinite (30%) or bentonite (15%) of the above-ground part of clover or maize. UV-visible and fluorescence spectroscopy was used to characterize WSOM. The specific absorption index $SUVA_{254}$ and the humification index are higher for WSOM in the composition of organomineral substrates compared to fresh residues and PR incubated without a mineral medium. The hypsochromic shift of the intensity maxima in the emission spectra with increasing excitation length and the character of the synchronous fluorescence spectra indicate a complex heterogeneous composition of the WSOM of the substrates studied. The significant place is occupied by compounds of microbial origin in the composition of the WSOM. The WSOM is enriched with aromatic components in comparison with the original plant material in the process of transformation of PR. The greatest aromaticity is characteristic of WSOM from substrates containing bentonite. In accordance with the «red» shift, the aromaticity and hydrophobicity of WSOM increases in the series: loam → loam + kaolinite clay → loam + bentonite clay. It was established that regardless of the type of decomposing residues, the mineral medium determines the trends, composition and size of the OM molecules passing into the solution.

Keywords: water-soluble organic matter, plant residues, humification, clay minerals, uv-visible spectroscopy, fluorescence spectra

Процессы минерализации и стабилизации почвенного органического вещества (ОВ) играют важнейшую роль в гумусообразовании и его сохранении. Переход в раствор наиболее подвижной части поступающих в почву растительных остатков

(РО) является первым и наиболее важным этапом трансформации ОВ почв. Растворенное органическое вещество (РОВ) представляет собой незначительную, но наиболее активную часть ОВ и в то же время наиболее доступную для минерализации.

Часть РОВ полностью минерализуется в течение часов или суток [1]. Вместе с тем в ходе трансформации РО происходит селективная стабилизация растворенных ОВ минеральными матрицами почв за счет процессов избирательной адсорбции. Причем этот процесс происходит гораздо быстрее процессов биодеградации [2]. Для характеристики РОВ в природных водах и почвах широко используются методы оптической спектроскопии, вследствие их простоты и высокой чувствительности [3, 4]. Целью данной работы является исследование влияния минеральной среды на химический состав водорастворимого органического вещества (ВОВ), формирующегося в процессе гумификации РО в модельном эксперименте, методами ультрафиолетовой, видимой и флуоресцентной спектроскопии.

Материалы и методы исследования

В лабораторных условиях проведен эксперимент по инкубации органо-минеральных смесей разного состава при постоянных температуре (20 °С) и влажности (60% от ПВ) в течение 6 месяцев. Органо-минеральные субстраты представляли собой смеси покровного суглинка, суглинка с бентонитовой (15%) или каолиновой глиной (30%) с измельченным растительным материалом (в соотношении 1:10), инокулированные микроорганизмами. В эксперименте использовали надземную часть растений с различным биохимическим составом – кукурузы и клевера. Контролем служили варианты с РО, разлагающимися без минеральной среды. ВОВ извлекали из субстратов при соотношении твердая фаза: вода равном 1:2. Суспензии встряхивали на шейкере в течение 1 часа, после чего центрифугировали и фильтровали под вакуумом через мембранные фильтры с размерами пор 0,45 микрон (Merck Millipore). Фильтрат разделяли на кислотонерастворимую (КНФ) и кислоторастворимую (КРФ) фракции подкислением 0,1 М HCl до pH 1. Концентрацию углерода водных экстрактов ($C_{\text{ВОВ}}$) и углерод КРФ ($C_{\text{КРФ}}$) определяли методом мокрого сжигания по Тюрину.

Спектральные исследования растворов проводили с помощью спектрофлуориметра Флюорат-02-Панорама фирмы Люмэкс. Измерения проводили при комнатной температуре $20 \pm 2^\circ$, pH экстрактов доводили до значений 6,5–7,0. Спектры поглощения снимали в интервале длин волн 200–700 нм с шагом 5 нм. Регистрация спектров испускания флуоресценции проводилась в диапазоне 300–600 нм с шагом 5 нм при

нескольких длинах волн возбуждения. Синхронные спектры флуоресценции снимали в интервале длин волн 250–550 нм при $\Delta\lambda = 18$ нм с шагом 5 нм [5].

По данным спектроскопии рассчитывали следующие характеристики:

1) удельный показатель поглощения $SUVA_{254}$ при фиксированной длине волны по формуле

$$SUVA_{254} = A_{254} / C_{\text{орг}} \cdot l,$$

где A_{254} – оптическая плотность экстракта при 254 нм; $C_{\text{орг}}$ – массовая концентрация растворенного органического углерода, мг/л; l – толщина поглощающего слоя, см [6];

2) индекс гумификации (НІХ) по формуле

$$НІХ = \Sigma I_{435 \rightarrow 480} / \Sigma I_{300 \rightarrow 345},$$

где I – интегральная интенсивность флуоресценции при соответствующих длинах волн в спектре испускания [7];

3) индекс флуоресценции (FI), определяемый как отношение интенсивностей флуоресценции I_{470} / I_{520} в спектре эмиссии при длине возбуждения $\lambda_{\text{возб}} = 370$ нм [8].

Результаты исследования и их обсуждение

В зависимости от варианта эксперимента водные экстракты имели концентрацию 40–100 мг $C_{\text{орг}}$ /л. К концу инкубации доля водорастворимых соединений в суглинистых субстратах составила 1–3% от общего содержания углерода (табл. 1). В групповом составе ВОВ суглинистых субстратов без внесения глинистых минералов преобладает кислоторастворимая фракция ($C_{\text{КНФ}} / C_{\text{КРФ}} < 1$). В присутствии бентонита и каолинита происходит увеличение содержания фракции осаждаемой кислотой.

В целом величина $SUVA_{254}$ характеризует содержание ароматических фрагментов в составе ВОВ. Чем выше значения этого показателя, тем больше ароматических компонентов [6]. Значения $SUVA_{254}$ ВОВ органо-минеральных субстратов составляет 0,037–0,050 л·мг $C_{\text{орг}}^{-1}$ ·см $^{-1}$, что характерно для растворенного ОВ естественных почв [9]. Более низкие значения $SUVA_{254}$ для экстрактов из РО указывают на преобладание в составе их ВОВ низкомолекулярных алифатических соединений, не поглощающих при 254 нм. Наибольшие значения $SUVA_{254}$ соответствуют вариантам с внесением бентонитовой глины (табл. 1). Установлена положительная корреляция между показателем $C_{\text{КНФ}} / C_{\text{КРФ}}$ и удельным поглощением. Подобная взаимосвязь указывает на увеличение доли КНФ в составе ВОВ, сопровождающееся повышением его ароматичности.

Таблица 1

Содержание водорастворимого органического вещества экстрактов, отношение углерода осаждаемой кислотой фракции к кислоторастворимой фракции, удельный показатель поглощения по данным абсорбционной спектроскопии

вариант	$C_{\text{ВОВ}}, \% \text{ от } C_{\text{общ}}$	$C_{\text{КНФ}}/C_{\text{КРФ}}$	SUVA_{254}
клевер			
суглинок	1	0,10	0,040
суглинок + каолинит	2	0,52	0,037
суглинок + бентонит	2	1,11	0,048
РО свежие	20	0,06	0,003
РО без минеральной среды	11	0,28	0,017
кукуруза			
суглинок	1	0,50	0,047
суглинок + каолинит	3	1,4	0,041
суглинок + бентонит	3	2,6	0,055
РО свежие	11	0,06	0,001
РО без минеральной среды	8	0,12	0,003

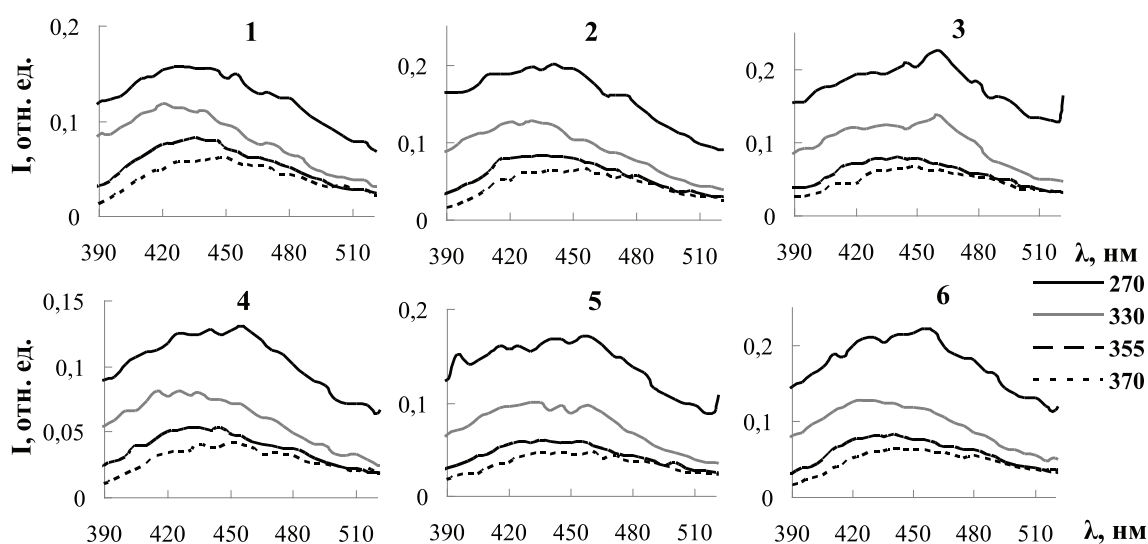


Рис. 1. Спектры флуоресценции ВОВ при различных длинах волн возбуждения ($\lambda_{\text{возб}}$) через 6 месяцев инкубации РО клевера (варианты 1–3) и кукурузы (варианты 4–6). Варианты эксперимента: 1, 4 – суглинок + РО; 2, 5 – суглинок + каолинит + РО; 3, 6 – суглинок + бентонит + РО

ВОВ является гетерогенной смесью водорастворимых компонентов растительного материала, продуктов его трансформации, микробной жизнедеятельности и микробной мортмассы. Спектры флуоресценции ВОВ исследуемых субстратов представляют собой широкие полосы с максимумами интенсивности в интервале 430–460 нм в зависимости от варианта (рис. 1). Интенсивности полос в целом уменьшаются при увеличении $\lambda_{\text{возб}}$.

Форма спектров свидетельствует о наличии в ВОВ флуорофоров различной природы, что соответствует составу ВОВ. Положение максимума в спектрах испускания зависит от природы ОВ. Вещества с простой структурой флуоресцируют в синей области спектра, в то время как более конденсированные соединения – в длинноволновой его части. Максимумы интенсивности в спектрах экстрактов из свежих РО находятся в области 340–355 нм, где про-

является флуоресценция низкомолекулярных веществ фенольной природы и ароматических аминокислот (рис. 2). Максимум флуоресценции в интервале 400–500 нм, характерный для ВОВ субстратов, обусловлен гуминоподобными ароматическими флуорофорами [5].

В спектрах флуоресценции ВОВ наблюдается смещение максимумов в красную область в ряду: ВОВ свежих остатков → ВОВ гумифицированных остатков без твердой фазы → ВОВ органо-минеральных субстратов. В зависимости от состава субстрата сдвиг максимума в длинноволновую область усиливается в следующем порядке: суглинок → суглинок + каолинистая глина → суглинок + бентонитовая глина. Причем данная закономерность выявляется при инкубации обоих видов РО. Таким образом, присутствие каолинита и бентонита усиливает образование конденсированных структур в составе ВОВ. Следует отметить, что при увеличении длины волны возбуждения от 270 до 355 нм происходит

смещение максимумов флуоресценции в область коротких длин. Подобное поведение спектров эмиссии является признаком высокой гетерогенности ВОВ.

На рис. 3 представлены спектральные показатели ВОВ по данным флуоресцентной спектроскопии. Индекс гумификации (НІХ) является индикатором ароматического характера растворенного органического вещества, его зрелости и гидрофобности. Гумифицированный материал является более конденсированным, чем его предшественники, и сопровождается снижением отношения Н/С. Увеличение данного индекса связано с увеличением длины волны эмиссии из-за усиления поликонденсации (более низкое отношение Н/С) [7]. ВОВ негумифицированного растительного материала характеризуется величиной НІХ 0,4–0,7. Значение индекса гумификации экстрактов, выделенных из органо-минеральных субстратов, составило 2,2–3,1. Таким образом, в присутствии минеральной среды степень гумификации РО существенно увеличивается.

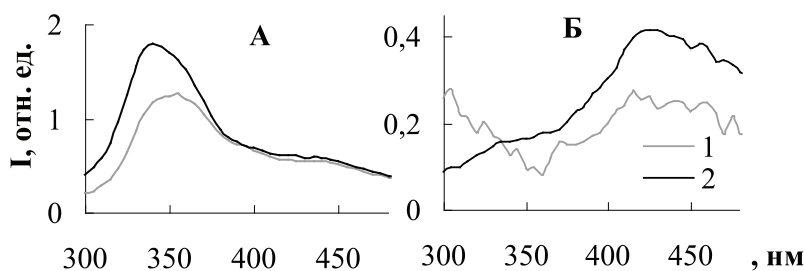


Рис. 2. Спектры флуоресценции ВОВ свежих остатков (А) и остатков инкубируемых без твердой фазы (Б). Условные обозначения: 1 – РО клевера; 2 – РО кукурузы

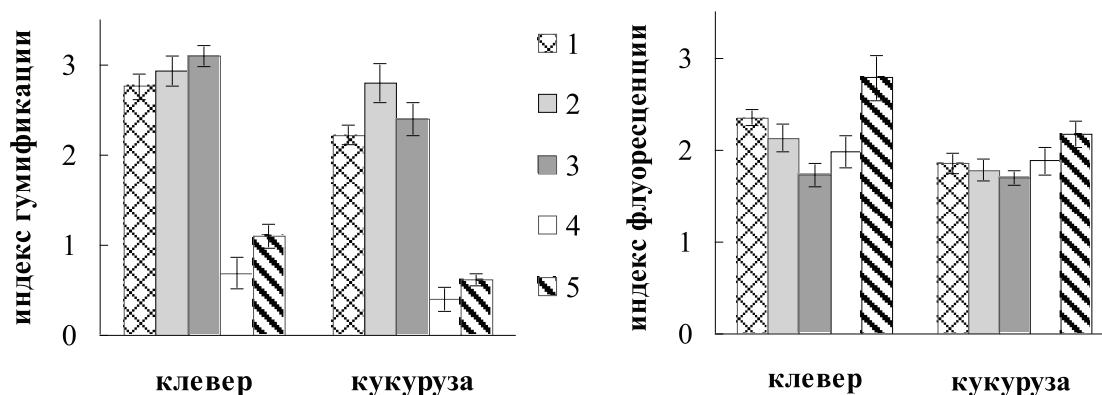


Рис. 3. Индекс гумификации и индекс флуоресценции исследуемых экстрактов. Варианты эксперимента: 1 – суглинок + РО; 2 – суглинок + каолинит + РО; 3 – суглинок + бентонит + РО; 4 – свежие РО; 5 – РО, инкубируемые без минеральной среды

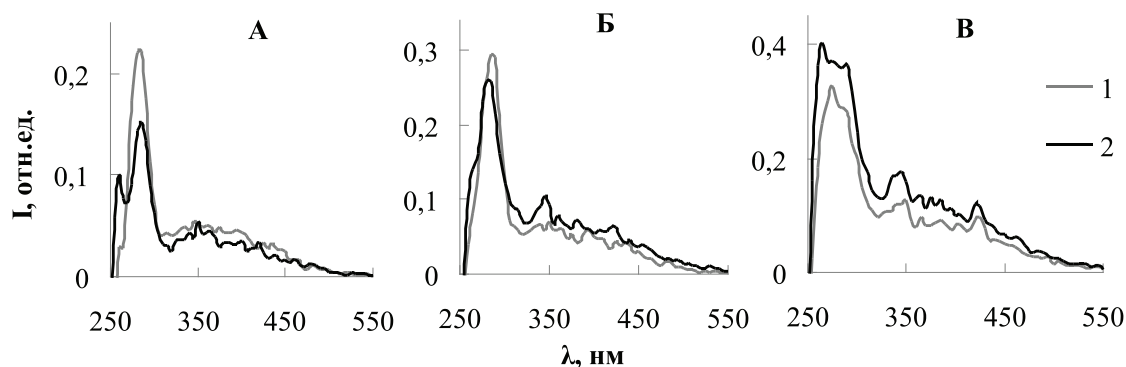


Рис. 4. Синхронные спектры флуоресценции ВОВ, экстрагируемого из суглинка (А), суглинка с внесением каолинита (Б) или бентонита (В) при трансформации РО клевера (1) и кукурузы (2)

Индекс флуоресценции (FI) используется не только для оценки ароматичности ВОВ, но и в качестве индикатора его происхождения [8]. Высокие значения индекса флуоресценции (FI~1,7–2,0) свидетельствуют о преобладании продуктов микробного происхождения, а более низкие (FI~1,2–1,4) – о преобладании растительных компонентов в составе ОВ [7, 8]. Величина индекса флуоресценции ВОВ из субстратов варьировала в образцах от 1,7 до 2,3. Такие значения индекса характерны для ВОВ, в составе которых много белковых производных микробного происхождения [8]. Наибольшие значения FI отмечены для суглинистых субстратов без внесения глинистых минералов, свидетельствуя об их более низкой ароматичности. Наименьшие величины FI характерны для РО, инкубируемых в контакте с минеральными компонентами бентонитовой глины (рис. 3).

Синхронные спектры флуоресценции (ССФ) исследуемых ВОВ изображены на рис. 4. Видно, что при трансформации РО набор характеристических пиков в ССФ во многом определяется присутствующими минеральными компонентами. Так, для субстратов с бентонитом ССФ обладают интенсивной флуоресценцией в области 250–310 нм. Очевидно, это результат перекрытия трех полос с максимумами около 270, 285 и 300 нм. В данной области флуоресцируют в основном соединения белковой природы [5]. Как в случае с клевером, так и с кукурузой для синхронных спектров ВОВ в вариантах с каолинитом характерен более узкий пик с максимумом около 290–300 нм. Общий характер ССФ свидетельствует о том, что исследуемые ВОВ имеют близкий набор

флуорофоров, но в разных соотношениях. Добавление бентонита и каолинита к суглинку существенным образом изменяет характер ВОВ, что связано, по-видимому, с процессами, происходящими на поверхности твердой фазы.

Заключение

В ходе эксперимента установлено, что из исследуемых суглинистых субстратов извлекается до 3% водорастворимых органических соединений от общего содержания углерода, что соответствует количеству ВОВ большинства нейтральных почв. Гипсохромный сдвиг максимумов интенсивности в спектрах эмиссии при увеличении длины возбуждения и характер синхронных спектров флуоресценции указывают на сложную гетерогенную систему ВОВ исследуемых субстратов. В составе ВОВ значительное место занимают соединения микробного происхождения. В процессе трансформации растительного материала происходит обогащение ВОВ ароматическими компонентами по сравнению с исходным растительным материалом. Наибольшая ароматичность характерна для связанного ОВ в составе органо-минеральных комплексов. В соответствии с «красным» сдвигом ароматичность и гидрофобность ВОВ возрастает в ряду: суглинок → суглинок + каолинистая глина → суглинок + бентонитовая глина. Установлено, что независимо от вида разлагающихся остатков минеральная среда определяет тенденции, состав и размеры молекул ОВ переходящих в раствор.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ проекты № 16-34-01172 мол_а, № 16-04-00924.

Список литературы

1. Семенов В.М., Когут Б.М. Почвенное органическое вещество. – М.: ГЕОС, 2015. – 233 с.
2. Kalbitz K., Kaiser K. Contribution of dissolved organic matter to carbon storage in forest mineral soils // *J. Plant Nutr. Soil Sci.* – 2008. – vol. 171. – P. 52–60.
3. Fellman J.B., Hood E., Spencer R.G.M. Fluorescence spectroscopy opens new windows into dissolved organic matter dynamics in freshwater ecosystems: A review // *Limnol. Oceanogr.* – 2010. – vol. 55. – P. 2452–2462.
4. Gao J., Liang C., Shen G., Lv J., Wu H. Spectral characteristics of dissolved organic matter in various agricultural soils throughout China // *Chemosphere.* – 2017. – vol. 176. – P. 108–116.
5. Senesi N., Miano T.M., Provenzano M.R., Brunetti G. Characterization, differentiation, and classification of humic substances by fluorescence spectroscopy // *Soil Science.* – 1991. – vol. 152. – № 4. – P. 259–271.
6. Weishaar J.L., Aiken G.R., Bergamaschi B.A., Fram M.S., Fujii R., Mopper K. Evaluation of specific ultraviolet absorbance as an indicator of the chemical composition and reactivity of dissolved organic carbon // *Environ. Sci. Technol.* – 2003. – vol. 37. – P. 4702–4708.
7. Gabor R.S., Baker A., McKnight D.M., Miller M.P. Fluorescence indices and their interpretation / P.G. Coble, J. Lead, A. Baker, D.M. Reynolds, R.G.M. Spencer (Eds.) // *Aquatic Organic Matter Fluorescence.* – N.Y.: Cambridge University Press, 2014. – P. 303–338.
8. McKnight D.M., Boyer E.W., Westerhoff P., Doran P., Kulbe T., Andersen D. Spectrofluorometric characterization of dissolved organic matter for indication of precursor organic material and aromaticity // *Limnology And Oceanography.* – 2001. – vol. 46. – № 1. – P. 38–48.
9. Оптические характеристики фракций органического вещества агрегатов типичных черноземов / В.А. Холодов [и др.] // *Бюллетень Почвенного института им. В.В. Докучаева.* – 2017. – Вып. 90. – С. 56–72. DOI: 10.19047/0136-1694-2017-90-56-72.

References

1. Semenov V.M., Kogut B.M. Pochvennoe organicheskoe veshchestvo [Soil organic substance]. M.: GEOS, 2015, 233.
2. Kalbitz K., Kaiser K. Contribution of dissolved organic matter to carbon storage in forest mineral soils. *J. Plant Nutr. Soil Sci.*, 2008, no. 171, pp. 52–60.
3. Fellman J.B., Hood E., Spencer R.G.M. Fluorescence spectroscopy opens new windows into dissolved organic matter dynamics in freshwater ecosystems. *Limnol. Oceanogr.*, 2010, no. 55, pp. 2452–2462.
4. Gao J., Liang C., Shen G., Lv J., Wu H. Spectral characteristics of dissolved organic matter in various agricultural soils throughout China. *Chemosphere.*, 2017, no. 176, pp. 108–116.
5. Senesi N., Miano T.M., Provenzano M.R., Brunetti G. Characterization, differentiation, and classification of humic substances by fluorescence spectroscopy. *Soil Science*, 1991, no. 152, pp. 259–271.
6. Weishaar J.L., Aiken G.R., Bergamaschi B.A., Fram M.S., Fujii R., Mopper K. Evaluation of specific ultraviolet absorbance as an indicator of the chemical composition and reactivity of dissolved organic carbon. *Environ. Sci. Technol.*, 2003, no. 37, pp. 4702–4708.
7. Gabor R.S., Baker A., McKnight D.M., Miller M.P. Fluorescence indices and their interpretation. *Aquatic Organic Matter Fluorescence.* N.Y.: Cambridge University Press, 2014, pp. 303–338.
8. McKnight D.M., Boyer E.W., Westerhoff P., Doran P., Kulbe T., Andersen D. Spectrofluorometric characterization of dissolved organic matter for indication of precursor organic material and aromaticity. *Limnology And Oceanography*, 2001, vol. 46, no. 1, pp. 38–48.
9. Kholodov V.A., Ivanov V.A., Farkhodov Iu.R., Safronova N.A., Artem'eva Z.S., Iaroslavtseva N.V. The Optical Characteristics of Aggregates Organic Matter Fractions in Typical Chernozems [Opticheskie kharakteristiki fraktsii organicheskogo veshchestva agregatov tipichnykh chernozemov]. *Biulleten' Pochvennogo instituta im. V.V. Dokuchaeva – Bulletin of Soil institute*, 2017, no. 90, pp. 56–72. DOI: 10.19047/0136-1694-2017-90-56-72.

УДК 634.222:631.527:631.524.84

ВЫДЕЛЕНИЕ НОВОГО ИСХОДНОГО МАТЕРИАЛА В СЕЛЕКЦИИ СОРТОВ СЛИВЫ НА САМОПЛОДНОСТЬ

¹Солонкин А.В., ²Дубравина И.В.

¹ФГБНУ «Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения» Российской академии наук, Волгоград, e-mail. mishamax73@mail.ru;

²ФГБОУ ВО «Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина», Краснодар, e-mail. dubravina@mail.ru

Система предварительной селекции плодовых культур (пребридинг) приводит к пониманию необходимости смены отдельных парадигм в селекционной работе. Это, прежде всего, относится к вопросам вовлечения в селекционный процесс нового исходного материала для различных плодовых культур и его оценки классическими и современными методами типирования (фенотипический, биохимический, генеалогический, геномный). Несмотря на обширное генетическое разнообразие сливы, многие сорта, культивируемые в мировом и российском плодоводстве, в условиях Нижнего Поволжья не проявляют свои хозяйственно ценные признаки на уровне, позволяющем возделывать их в производственных масштабах. Это явление, в том числе, сопряжено с лимитирующими специфическими климатическими факторами региона (в частности, суровые зимы, приводящие к сильным повреждениям или гибели сливовых насаждений). Для реализации системы предварительной селекции как важного этапа в ускоренном выделении нового исходного материала, по результатам углубленного изучения генотипов потенциальных компонентов скрещивания, целесообразно вовлечение в дальнейшую практику селекционного процесса в этом регионе новых сортов сливы домашней. Исследования проводились в Нижне-Волжском научно-исследовательском институте сельского хозяйства на Дубовском опорном пункте. Количество учетных деревьев каждого сорта – 6 растений. Количество растений в повторности – одно дерево. В каждом варианте было опылено 600 цветков. Техника проведения опыления, заготовки пыльцы, изоляции бутонов выполнена согласно общепринятым методикам для проведения исследований с плодовыми культурами. Выделен ряд зимостойких сортов и гибридов сливы, характеризующихся различным уровнем самоплодности. Самоплодные сорта – Рясная, Венгерка дубовская, Богатырская, Октябрьская, Марсианка; частично самоплодные – Волгоградская, Орбита, Венгерка корнеевская, Ренклюд корнеевский, Венера и гибриды № 1864, 1788, 1546, Татьяна (№ 1719). Использование новых сортов сливы, полученных в Нижне-Волжском регионе, позволяет расширить генетическое разнообразие исходного материала и создавать промышленные односортовые насаждения этой культуры.

Ключевые слова: слива домашняя, селекция, сорт, самоплодность, источники ценных признаков

SELECTION OF A NEW INITIAL MATERIAL IN THE BREEDING OF PLUM VARIETIES AT SELF-PRODUCTION

¹Solonkin A.V., ²Dubravina I.V.

¹Federal Scientific Center for Agroecology, Integrated Land Reclamation and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences, Volgograd, e-mail. mishamax73@mail.ru;

²Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Kuban State Agrarian University named after I.T. Trubilin», Krasnodar, e-mail. dubravina@mail.ru

The system of preliminary breeding of fruit crops (prebreeding) leads to an understanding of the need to change individual paradigms in breeding work. This, first of all, relates to the involvement in the breeding process of a new source material for various fruit crops and its evaluation by classical and modern typing methods (phenotypic, biochemical, genealogical, genomic). Despite the vast genetic diversity of plums, many of its cultivated varieties in the world and Russian fruit growing, in the conditions of the Lower Volga region, do not show their economically valuable signs at a level that allows them to be cultivated on a production scale. This phenomenon is associated with the limiting specific climatic factors of the region (in particular, severe winters, leading to severe damage or death of plum plantations). Therefore, in order to implement the system of preliminary breeding (prebreeding) as an important step in the accelerated allocation of a new source material, it is important to follow the results of in-depth study of the genotypes of potential crossbreeding components and to involve new varieties of domestic plums in the future breeding process in this region. A number of winter hardy varieties and plum hybrids with different levels of self-fertility have been identified at the Nizhny-Volzhsky Research Institute of Agriculture at the Dubovskoye experimental station. The number of registered trees of each variety is 6 plants. The number of plants in repetition is one tree. In each variant, 600 flowers were pollinated. Techniques for pollination, pollen harvesting, and isolation of buds are performed in accordance with generally accepted methods for carrying out studies with fruit crops. A number of winter-resistant varieties and plum hybrids with different levels of self-fertility have been identified. Self-productive varieties are Ryasnaya, Vengerka Dubovskaya, Bogatyrskaya, Oktyabrskaya, Marsianka; partially self-fertilized – Volgogradskaya, Orbita, vengerka Korneyevskaya, Renklod Korneyevsky, Venera and hybrids No. 1864, No. 1788, No. 1546, Tatiana (No. 1719). Using of new varieties of plums obtained in the Lower Volga region allows to expand the genetic diversity of the source material and create industrial single-grade plantations of this crop.

Keywords: breeding, domestic plum, variety, self-productivity, sources of valuable traits

Система предварительной селекции плодовых культур, разработанная отечественными учеными [1–3], приводит к пониманию необходимости смены отдельных парадигм в селекционной работе с этими

культурами. Это, прежде всего, относится к вопросам вовлечения в селекционный процесс нового исходного материала и его оценки классическими и современными методами – фенотипический, геномный,

генеалогический анализы, биохимическое и ДНК-маркирование [4]. Несмотря на обширное генетическое разнообразие представителей *Prunus domestica* (L.), многие культивируемые сорта в мировом и российском плодоводстве, в условиях Нижнего Поволжья не проявляют свои хозяйственно ценные признаки на уровне, позволяющем возделывать их в производственных масштабах.

Это явление, в том числе, сопряжено с лимитирующими специфическими климатическими факторами региона (в частности, суровые зимы, приводящие к сильным повреждениям или гибели сливовых насаждений).

Поэтому для реализации системы предварительной селекции (пребридинга), как важного этапа усоренного выделения нового исходного материала для синтетической селекции, по результатам углубленного изучения генотипов потенциальных компонентов скрещивания целесообразно вовлечение в дальнейшую практику селекционного процесса в этом регионе новых Нижневолжских сортов сливы домашней [5].

Цель исследования

Выделение нового исходного материала из числа недавно созданных сортов сливы домашней местной селекции, для использования в плодоводстве и дальнейшей селекционной работе по оптимизации сорти-мента культуры при создании современных самоплодных сортов, эффективных для возделывания в условиях Нижнего Поволжья.

Материалы и методы исследования

Работа выполнялась в Нижне-Волжском научно-исследовательском институте сельского хозяйства – филиале Федерального научного центра агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения РАН, в коллекционных и селекционных насаждениях сливы домашней. Годы исследований 2012–2017.

Насаждения расположены в сухостепной зоне светло-каштановых почв Волгоградской области, на правом берегу реки Волга. Климат этой зоны резко континентальный, с частым проявлением засух, как почвенных, так и воздушных, с резкими термическими аномалиями и малой относительной влажностью воздуха в период активной вегетации растений. Почвы в основном легкого и среднего гранулометрического состава, слабо- и среднесолонцеватые, содержание гумуса – 1,2–1,6%.

Количество учетных деревьев каждого сорта составляло 6 растений. Количе-

ство растений в повторности – одно дерево. В каждом варианте опылялось 600 цветков. Достоверность различий между комбинациями скрещивания (варианты опыта) подтверждаются сравнительной оценкой между фактическими показателями образовавшейся завязи и общепринятой классификацией сортов по степени самоплодности [6, 7].

Техника проведения опыления, заготовки пыльцы, изоляции бутонов выполнена согласно общепринятым методикам для проведения исследований с плодовыми культурами [6, 7]. Объектами исследований являлись перспективные сорта сливы домашней отечественной селекции: Светлана, Золотое руно, Волгоградская, Июльская, Рясная, Венгерка дубовская, Богатырская, Октябрьская. Дубовчанка, Орбита, Гвардейская, Марсианка, Венгерка корнеевская, Венера, Сувенирная, Татьяна, № 1726, № 1788, № 1738, № 1731.

Результаты исследования и их обсуждение

Современный сорт – это генотип, совмещающий в себе массу признаков, которые по своей значимости для потребителей и производителей можно разделить на две основные группы: 1 – признаки, обеспечивающие коммерческую привлекательность (внешний вид, размер, форма, вкус, пригодность к различным видам переработки); 2 – признаки, обеспечивающие экономическую эффективность при производстве плодовой продукции (урожайность, регулярность плодоношения, скороплодность, тип плодоношения, самоплодность или самостерильность).

Проведенные исследования посвящены изучению признака автофертильности (самоплодности) новых сортов сливы домашней, созданных в Нижнем Поволжье.

Самоплодность – немаловажный показатель технологичности сорта и его пригодности к выращиванию по современным технологиям. Присутствие и проявление этого признака на достаточно высоком уровне дает возможность получения ежегодных, рентабельных урожаев плодов в односортовых посадках, без использования сортов опылителей. Многочисленными исследованиями, проведенными за рубежом и в России, установлено, что сорта сливы неодинаково реагируют на опыление и оплодотворение собственной пыльцой и пыльцой других сортов. Среди сортов домашней сливы имеются самобесплодные, частично самоплодные и самоплодные [8, 9].

Результаты опыления перспективных сортов сливы домашней (Дубовский опорный пункт ИВНИИСХ, коллекционные насаждения 1999 г. посадки, схема посадки 5 x 3 м, подвой – сеянец абрикоса, 2013–2017 гг, % от количества опыленных цветков)

№	♀	♂	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	
			Свободное опыление (контроль)	Самоопыление	Скороспелка красная	Золотое руно	Волгоградская	Июльская	Золотое руно + Волгоградская	Светлана	Светлана + Июльская	Венгерка дубовская	Октябрьская	Тернослив осенний	Исполнинская	Рясная	Ранняя синяя	Волгоградская + Ранняя синяя	Волгоградская + Золотое руно	Богатырская	Дубовчанка	
1	2	3	18,1	15,6	23,1	16,9	17,4	18,0	21,9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1	Светлана		19,2	22,5	17,5	-	8,4	6,5	-	7,1	-	-	-	-	-	-	-	-	2,0	-	-	-
2	Золотое руно		4,8	14,8	9,3	4,1	-	19,1	-	12,5	18,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3	Волгоградская		22,3	2,6	29,2	33,1	26,2	-	-	33,3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4	Июльская		45,0	45,5	-	-	43,0	-	-	-	-	24,0	20,5	35,5	42,0	-	-	-	-	-	-	-
5	Рясная		72,5	32,6	-	-	-	-	-	-	-	-	41,5	90,2	-	56,1	-	-	-	-	-	-
6	Венгерка дубовская		45,6	71,3	-	-	-	-	-	-	-	60,3	-	51,0	57,0	49,0	-	-	-	-	-	-
7	Богатырская		29,6	65,2	-	-	-	-	-	-	-	60,0	-	66,0	-	61,5	-	-	-	-	-	-
8	Октябрьская		5,6	0,75	-	11,7	7,6	-	-	3,3	-	-	-	-	-	-	4,6	8,2	-	-	-	-
9	Дубовчанка																					

		Окончание таблицы																		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
10	Орбита	34,7	21,6	53,7	32,3	23,3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	26,3	31,6	-	-	-
11	Гвардейская	43,7	7,1	-	-	34,1	-	-	-	-	33,0	-	-	-	-	-	-	-	13,5	-
12	Марсианка	49,1	54,6	-	-	49,2	48,6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	50,4
13	Венгерка корне- евская	10,7	17,0	-	-	13,6	-	-	-	-	-	-	-	14,8	-	-	-	-	12,9	-
14	Венера	20,6	15,0	-	-	17,8	-	-	-	-	-	-	23,0	23,0	-	-	-	-	21,4	-
15	Ренклюд корне- евский	37,5	18,3	-	-	25,0	-	-	-	-	-	-	-	24,5	-	-	-	-	22,6	-
16	Сувенирная	34,2	4,1	-	-	31,5	-	-	-	-	-	-	-	35,3	-	-	-	-	35,8	-
17	Татьяна	11,2	15,7	-	-	10,7	-	-	-	-	-	-	-	18,0	-	-	-	-	19,5	-
18	№1726	25,5	22,7	-	-	23,7	-	-	-	-	-	-	-	17,1	-	-	-	-	16,1	-
19	№1788	29,6	19,3	-	-	19,5	-	-	-	-	-	-	-	34,1	-	-	-	-	27,6	-
20	№1738	9,8	17,2	-	-	19,1	-	-	-	-	-	-	-	17,0	-	-	-	-	25,7	-
21	№1731	30	2,1	-	-	26,5	-	-	-	-	-	-	-	23,3	-	-	-	-	18,0	-

Примечание: «-» скрещивание не проводилось.

Стерильность или фертильность сорта не являются постоянными признаками, а зависят от места и условий его выращивания [8, 10]. Это диктует необходимость изучения реакции генотипа сорта на уровень проявления отмеченного признака в условиях его промышленного выращивания.

В наших исследованиях впервые изучены перспективные сорта сливы домашней селекции НВНИИСХ по признакам само- и перекрёстной стерильности и фертильности, по результатам выделены новые источники искомого признака.

Для самостерильных или частично самобесплодных сортов проведены полевые исследования по подбору лучших сортов опылителей (таблица).

На основании полученных многолетних результатов, самоплодными сортами (завязываемость плодов при самоопылении более 35%) следует считать – сорта Рясная, Венгерка дубовская, Богатырская, Октябрьская, Марсианка. У этой группы сортов уровень завязывания плодов находится в пределах 40–58,5%, что превосходит соответствующие показатели при перекрёстном опылении или близко к контролю (35,7–62,5%, свободное опыление).

К частично самоплодным сортам (завязываемость плодов при самоопылении от 15 до 35%) относятся сорта и гибриды: Волгоградская, Орбита, Венгерка корнеевская, Ренклюд корнеевский, Венера, № 1726, 1788, 1738, Татьяна (№ 1719).

У частично самоплодных сортов уровень завязывания плодов при самоопылении был ниже, чем при свободном опылении (контроль), и находился в интервале 40–60% соответственно.

Остальные сорта, участвовавшие в эксперименте, относятся к практически самобесплодным (завязываемость плодов при самоопылении ниже 15%), но при этом дающими высокие урожаи при наличии опылителя; к ним относятся сорта – Июльская, Дубовчанка, Гвардейская, Сувенирная, гибрид № 1731.

Во всех вариантах опыта с перекрёстным опылением у всех сортов сливы были получены плоды, причем сорта самоплодные, частично самоплодные и самобесплодные в этом варианте имели относительно высокий уровень завязывания плодов, но значительно варьирующий в зависимости от используемого сорта – опылителя.

При опылении сорта Июльской пыльцой сорта Светланы образовывалось до 46% завязей, а от опыления пыльцой сорта

Скороспелки красной – лишь в пределах 20% у той же материнской формы.

У сорта Июльская лучшими опылителями следует считать Волгоградскую, Золотое руно и Светлану. Эти сорта обеспечили высокий процент завязывания плодов – выше 30%. Допустимым опылителем к сорту Июльская является Скороспелка красная (не более 20% завязываемости плодов). Для сорта Волгоградская хорошим опылителем является сорт Июльская (20%), допустимым – сорт Светлана.

Лучшими сортами опылителями для перспективных сортов сливы домашней, выращиваемых в Нижнем Поволжье, были: для сорта Золотое руно – сорт Скороспелка красная; для сорта Светлана – Скороспелка красная, Золотое руно, Волгоградская; для сорта Рясная – сорта Венгерка дубовская, Волгоградская, Исполинская; для сорта Венгерка дубовская – сорта Рясная, Тернослив осенний; для сорта Октябрьская – сорта Тернослив осенний, Венгерка дубовская, Рясная; для сорта Богатырская – сорта Венгерка дубовская, Исполинская; для сорта Орбита – сорта Золотое руно, Скороспелка красная; для сорта Гвардейская – сорта Венгерка дубовская, Волгоградская; для сорта Марсианка – сорта Июльская, Дубовчанка, Волгоградская; для сорта Венгерка корнеевская – сорта Исполинская, Волгоградская; для сорта Сувенирная – сорта Богатырская, Волгоградская; для гибрида № 1726 – сорт Волгоградская; для гибрида № 1788 – сорта Богатырская, Исполинская, Волгоградская; для сорта Татьяна – сорта Богатырская, Волгоградская; для гибрида № 1731 – сорта Волгоградская, Исполинская; для гибрида № 1738 – сорт Богатырская.

Следует отметить, что положительно выделившиеся по степени самоплодности сорта сливы характеризовались показателями качества плодов на уровне контрольных, районированных сортов, а в некоторых случаях и превосходили их по отдельным параметрам.

Выводы

1. В результате проведенной селекционной работы на Дубовском опорном пункте выделены, из числа перспективных, самоплодные сорта сливы Рясная, Венгерка дубовская, Богатырская, Октябрьская, Марсианка, адаптированные к погодноклиматическим условиям региона.

2. Использование новых сортов сливы домашней в селекционном процессе на заданные признаки расширяет генетическое разнообразие исходного материала и обе-

спечивает возможность дальнейшей оптимизации сортимента сливы в Нижнем Поволжье, отвечающего требованиям современных технологий возделывания.

3. Среди изученных сортов сливы наиболее эффективными опылителями для большинства частично самоплодных и самобесплодных сортов являются сорта – Волгоградская, Рясная, Венгерка дубовская, Исполинская и Богатырская.

Список литературы

1. Седов Е.Н. Предварительная селекция (пребридинг) – важный этап в создании новых сортов яблони / Е.Н. Седов, Н.Г. Красова, З.М. Серова, М.А. Макаркина // Достижения науки и техники АПК. – 2016. – Т. 30, № 2. – С. 75–77.
2. Еремин Г.В. Предварительная селекция плодовых культур / Г.В. Еремин, И.В. Дубравина, Н.Н. Коваленко, Т.А. Гасанова. – Краснодар: КубГАУ, 2016. – 335 с.
3. Дубравина И.В. Пребридинг яблони на Юге России / И.В. Дубравина // Международный научно-исследовательский журнал. – 2016. – № 7–4(49). – С. 176–181. DOI: 10.18454/IRJ.2016.49.005.
4. Использование генеалогического и геномного анализов при оценке исходного материала в селекции плодовых культур / Г.В. Еремин, И.В. Дубравина // В книге: Современные методология, инструментарий оценки и отбора селекционного материала садовых культур и винограда: монография. – Краснодар, 2017. – С. 181–188.
5. Солонкин А.В. Использование местных и новых сортов Нижнего Поволжья в селекции адаптивных сортов сливы / А.В. Солонкин, Г.В. Еремин // Научный журнал КубГАУ. – 2017. – № 134(10). – С. 368–378.
6. Седов Е.Н., Огольцова Т.П. (ред.). Программа и методика сортоизучения плодовых, ягодных и орехоплодных культур. – Орел: ВНИИСПК, 1999. – С. 608.
7. Ильницкая Е.Т. Внутривидовая и межвидовая гибридизация / Е.Т. Ильницкая, Т.А. Нудьга // В книге: Современные методологические аспекты организации селекционного процесса в садоводстве и виноградарстве. – Краснодар: СКЗНИИСиВ, 2012. – С. 518–522.
8. Еремин Г.В. Слива и алыча / Г.В. Еремин. – Харьков: Фолио; М.: ООО Изд-во АСТ; 2003. – 302 с.
9. Осипов Г.Е. Биологические особенности сливы и селекционное решение проблемы сортимента среднего Поволжья: дис. ... д-ра сел.-хоз. наук: 06.05.01 / Осипов Геннадий Евгеньевич. – Мичуринск: – Научград, 2011. – 426 с.
10. Schmadlak J. Untersuchungen des Pollenschlauchwachstums in Apfelgriffeln. I. Pollenkeimung auf der Griffelnarb, Affinitatskoeffizient und Eindringtiefe der Pollenschlauche in den Griffel. Arch. Gartenbau. – 1965. – № 13. – P. 497–513.

References

1. Sedov E.N., Krasova N.G., Serova Z.M., Makarkina M.A. Preliminary Breeding (Pre-Breeding) Is an Important Stage in the Development of New Apple Cultivars [Predvaritel'naia selektsiia (prebriding) - vazhnyi etap v sozdanii novykh sortov yabloni]. Dostizheniia nauki i tekhniki APK. – Achievements of Science and Technology of AICis, 2016, vol. 30, no. 2, pp. 75-77.
2. Eremin G.V., Dubravina I.V., Kovalenko N.N., Gasanova T.A. Predvaritel'naia selektsiia plodovykh kul'tur [Preliminary selection of fruit crops]. Krasnodar, KubGAU, 2016, 335.
3. Dubravina I.V. PRE-BREEDING OF APPLE ON THE SOUTH OF RUSSIA [Prebriding yabloni na Iuge Rossii/ I.V. Dubravina]. Mezhdunarodnyi nauchno-issledovatel'skii zhurnal - International Research Journal, 2016, vol. 7, no. 4, pp. 176–181. DOI: 10.18454/IRJ.2016.49.005.
4. Eremin G.V., Dubravina I.V. Ispol'zovanie genealogicheskogo i genomnogo analizov pri otsenke iskhodnogo materiala v selektsii plodovykh kul'tur [Use of genealogical and genomic analyses at assessment of initial material in selection of fruit crops]. Sovremennyye metodologii, instrumentarii otsenki i otbora selektsionnogo materiala sadovykh kul'tur i vinograda monografiia. [Modern methodology, tools of assessment and selection of selection material of garden cultures and grapes monograph]. Krasnodar, 2017, pp. 181–188.
5. Solonkin A.V., Eremin G.V. Use of Local and New Varieties of the Lower Volga in the Selection of Adaptive Varieties of Plum [Ispol'zovanie mestnykh i novykh sortov Nizhnego Povolzh'ia v selektsii adaptivnykh sortov slivy]. Nauchnyi zhurnal KubGAU – Scientific Journal of KubSAU, 2017, vol. 10, no. 134, pp. 368–378.
6. Sedov E.N., Ogoltsova T.P. Programma i metodika sortoizucheniia plodovykh, iagodnykh i orekhoplodnykh kul'tur [Program and technique of a sortoizucheniye of fruit, berry and nut bearing crops]. Oryol, VNIISPK, 1999, 608.
7. Il'nitskaia E.T., Nud'ga T.A. Vnutrividovaia i mezhdovodaia gibrizatsiia [Intraspecific and trans-species hybridization]. Sovremennyye metodologicheskie aspekty organizatsii selektsionnogo protsessa v sadovodstve i vinogradarstve. [Modern methodological aspects of the organization of selection process in gardening and wine growing]. Krasnodar, SKZNIISiV, 2012, pp. 518–522.
8. Eremin G.V. Sliva i alycha [Plum and cherry plum]. Moscow, OOO Izd-vo AST, 2003, 302.
9. Osipov G.E. Biologicheskie osobennosti slivy i selektsionnoe reshenie problemy sortimenta srednego Povolzh'ia: disertatsiia doktora sel'skokhoziaistvennykh nauk: 06.05.01 [Biological features of plum and selection solution of the problem of assortment of Central Volga area: thesis of the doctor of agricultural sciences: 06.05.01]. Michurinsk, Naukograd, 2003, 426.
10. Schmadlak J. Untersuchungen des Pollenschlauchwachstums in Apfelgriffeln. I. Pollenkeimung auf der Griffelnarb, Affinitatskoeffizient und Eindringtiefe der Pollenschlauche in den Griffel. Arch. Gartenbau, 1965, no. 13, pp. 497–513. .

УДК 630*114.351:630*43(571.513)

ОСОБЕННОСТИ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ЛЕСНОЙ ПОДСТИЛКИ ПОСЛЕ ПОЖАРА НА КЛАСТЕРНОМ УЧАСТКЕ «ПОДЗАПЛОТЫ» ЗАПОВЕДНИКА «ХАКАССКИЙ»

Шуркина В.В.

ФГБУ ГЗ «Хакасский», Абакан, e-mail: shurkinavv@yandex.ru

В статье рассмотрены вопросы воздействия пожаров на лесную подстилку кластерного участка «Подзаплоты» государственного природного заповедника «Хакасский». В ходе проведенных исследований определено, что в лесных экосистемах не пройденных пожаром на территории кластера «Подзаплоты» лесная подстилка характеризуется выраженной слоистостью, состоит большей частью из травяного опада, трухи и мелких ветвей, которые составляют 60–70% от общего запаса лесной подстилки. В первый год после пожара лесная подстилка резко увеличивает свой общий запас, за счет увеличения доли тяжелых фракций – так, доля неактивной фракции в лесной подстилке возрастает в 3 раза и практически вдвое превышает долю активной фракции. Доля неактивной фракции лесной подстилки в первый год после пожара достигает 63–65%, а доля активной фракции падает до 35–36%, что связано с почти полным выгоранием активной фракции во время пожара и ее постепенным накоплением в течение последующего вегетационного периода. На второй и третий год после пожара (2016–2017 гг.) ситуация выравнивается, и соотношение фракций достигает предпожарного периода. Таким образом, наиболее выраженные изменения в лесной подстилке в результате воздействия пожара выражаются в резком увеличении ее общего запаса и в изменении соотношения фракций. Восстановление лесной подстилки после пожара в смешанных лиственнично-березовых лесах кластерного участка «Подзаплоты» государственного природного заповедника «Хакасский» происходит уже на второй-третий год после пирогенного воздействия. После трех вегетационных сезонов, следовавших за пожаром, основные показатели лесной подстилки приближаются к допожарному периоду.

Ключевые слова: лесные пожары, низовые пожары, лесные экосистемы, лесная подстилка, запас, фракционный состав

THE FEATURES RECOVERY OF FOREST FLOOR AFTER A FIRE ON THE CLUSTER SITE «PODZAPLOTY» OF THE RESERVE KHAKASSKY

Shurkina V.V.

Federal State Budgetary Establishment State Natural Reserve «Khakassky», Abakan, e-mail: shurkinavv@yandex.ru

The questions of fire effect on forest floor in cluster plot «Podzaploty» of the state reserve Khakassky are shown in the article. The study revealed that in undisturbed forest ecosystems at cluster plot «Podzaploty» total amount of forest litter has a pronounced, easily discernible schistosity, and the main material composing it is an annual herb litter, trash and small branches, making a total of 60-70% by weight of the litter. In the first year after the fire, litter dramatically increases its amount by increasing the share of heavy fractions– the proportion of inactive fractions in the forest floor increases in 3% and practically twice the share of the active fraction. The share of the inactive fraction of forest litter in the first year after the fire reaches 63-65%, and the share of the active fraction drops to 35-36%, due to the almost complete burnout of the active fractions during the fire and its gradual accumulation during the vegetation period. On the second and third year after the fire (2016 – 2017) the situation becomes level and the ratio of the fractions reaches prefire period. Thus, the most pronounced changes in forest litter as a result of the fire are expressed in a sharp increase in its total stock and in a change in the ratio of fractions. Restoration of forest litter after a fire in mixed larch-birch forests of the cluster plot «Podzaploty» of the state nature reserve «Khakassky» occurs already in the second or third year after pyrogenic exposure. After three growing seasons, following the fire, the main indicators of the forest litter are approaching the pre-fire period.

Keywords: forest fires, ground fires, forest ecosystems, forest floor, stock, fractional composition

Лесные пожары постоянно оказывают значительное влияние на формирование и функционирование экосистем, причем особенности изменений, которые они вызывают, часто разноплановы и имеют свои особенности в каждом ландшафте. Изучение и оценка способности экосистемы к восстановлению после пожаров представляет собой одно из актуальных направлений в науке [1].

Влияние пожаров на почву в лесной экосистеме очень многогранно и разнопланово, и в свою очередь зависит от комплекса факторов: особенностей пожара,

произрастающей растительности, микрорельефа и самой почвы. Последствия пожара выражены в таких изменениях почвы, как практически молниеносная минерализация органической составляющей, в частности лесной подстилки и ежегодного опада. По своей сути лесная подстилка – это детрит (мертвое органическое вещество) в наземных экосистемах, образующееся в результате постоянного взаимопроникновения живого и костного вещества, в сочетании с регулярными процессами приноса, переноса и перераспределения [2].

На динамические изменения лесной подстилки после пожаров влияют возраст и степень повреждения древесного яруса, объем уничтоженной в огне подстилки, послепожарные условия минерализации [3].

Цель исследования

Проследить на примере лесных экосистем кластерного участка «Подзаплоты» заповедника «Хакасский» (Республика Хакасия) изменения, происходящие в запасе и фракционном составе лесной подстилки после пожаров.

Материалы и методы исследования

В ходе полевых исследований для последующего анализа лесной подстилки и ее послепожарной динамики отбор образцов осуществлялся стандартным шаблоном 25x25 см в 10–20-кратной повторности. Отбор проб проходил в 2014 г. – до пожара, и в 2015–2017 гг. (после пожара, прошедшего в 2015 г.), в конце августа каждого года. В дальнейшем лесная подстилка каждой учетной площадки разделялась на две фракции: активная (хвоя, листья, травяной опад, труха (ветошь), мелкие ветви – диаметром менее 5 мм.) и неактивная (крупные ветви – диаметром более 5 мм, шишки, кора деревьев) [4].

В результате исследований был изучен запас и фракционный состав лесной подстилки и ее восстановление в течение первых трех лет после пожара. Лесная подстилка – это неотъемлемый компонент лесной экосистемы и важное связующее звено в комплексе растительность – почва. Изменения в фракционном составе лесной подстилки могут служить показателем нарушенности экосистемы, так как от этого меняется скорость разложения (гумификации) органических остатков, а следовательно, и образование гумуса [5, 6].

Результаты исследования и их обсуждение

В ходе проведенных исследований было выявлено, что в лесных экосистемах, не пройденных пожаром, на территории кластерного участка «Подзаплоты», лесная подстилка характеризуется выраженной слоеватостью, состоит большей частью из травяного опада, трухи и мелких ветвей, которые составляют 60–70% от общего запаса лесной подстилки.

В результате проведенных исследований было выявлено, что в первый год после пожара лесная подстилка резко увели-

чивает свой запас, за счет увеличения доли тяжелых фракций – так, доля неактивной фракции в лесной подстилке возрастает в 3 раза и практически вдвое превышает долю активной фракции. Это происходит вследствие того, что в первый послепожарный год наблюдается значительный опад коры, крупных ветвей, шишек, поврежденных пожаром. Вся эта масса попадает на поверхность почвы и поступает в неактивную часть лесной подстилки (рис. 1–2).

В результате всестороннего анализа лесной подстилки было определено, что активная фракция в составе ненарушенной лесной подстилки значительно преобладает и составляет более 75%. На изученной территории лесная подстилка характеризуется неоднородностью в различных условиях ее формирования. Максимально низким общим запасом характеризуется лесная подстилка территорий с молодыми древостоями, накопление лесной подстилки на таких участках происходит медленнее. На территориях со средне- и старовозрастным древостоем нами были отмечены такие особенности лесной подстилки, как большое количество мелких и крупных ветвей, обширные поры, воздушные каналы. Процесс разложения такой лесной подстилки происходил намного быстрее, так как в достаточном количестве был доступный кислород. В тех лесных подстилках, где был получен высокий процент содержания активной фракции, процессы гумификации шли значительно с более высокой скоростью [7, 8].

Доля неактивной фракции подстилки в первый год после пожара достигает 63–65%, а доля активной фракции падает до 35–36%, что связано с почти полным выгоранием активной фракции во время пожара и ее постепенным накоплением в течение вегетационного периода. На второй и третий год после пожара (2016–2017 гг.) ситуация выравнивается и соотношение фракций достигает предпожарного периода (рис. 2).

При анализе соотношения отдельных фракций в запасе лесной подстилки видно, что в первый год после пожара масса коры, шишек и крупных ветвей в лесной подстилке значительно увеличивается. Происходит опад поврежденной в результате пожара коры деревьев, обугленных нижних ветвей, шишек, и весь этот материал попадает на поверхность почвы, составляя неактивную фракцию лесной подстилки [9].

Еще одна закономерность была выявлена при детальном анализе фракционного состава лесной подстилки – в допожарный

период в лесной подстилке практически в равных соотношениях представлены все фракции, тогда как в первые годы после нарушения лесной подстилки вследствие прошедшего пожара (особенно в первый ве-

гетационный период) равное соотношение между фракциями утрачивается и начинают значительно преобладать определенные фракции – в частности, труха, крупные ветви и кора.

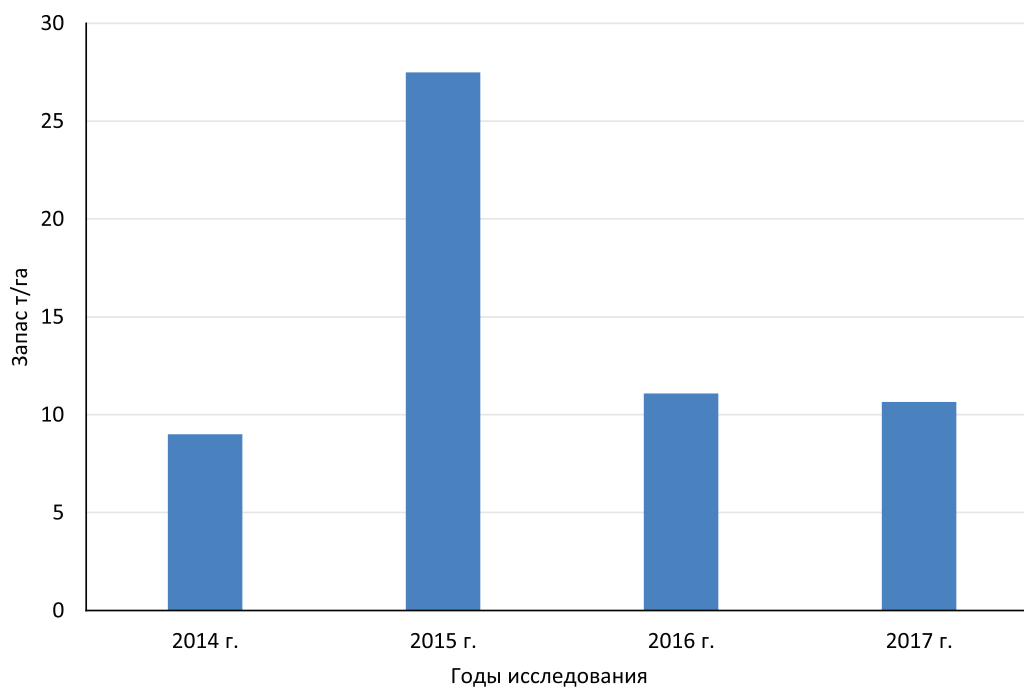


Рис. 1. Общий запас лесной подстилки на кластерном участке «Подзаплоты» заповедника «Хакасский» (2014–2017 гг.)

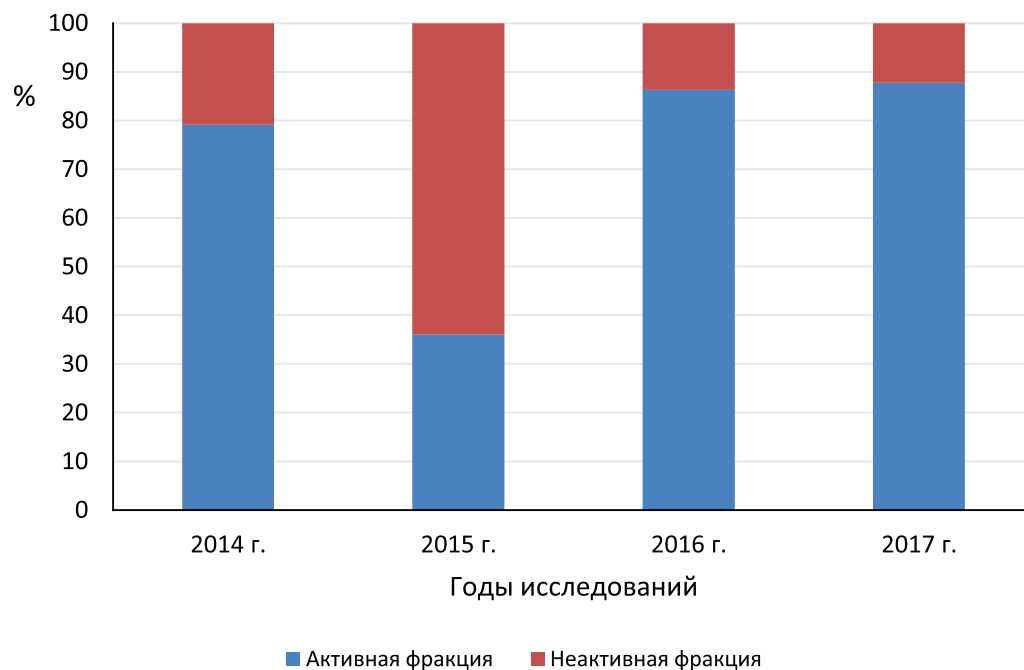


Рис. 2. Доля фракций в лесной подстилке на кластерном участке «Подзаплоты» заповедника «Хакасский» (% от общего запаса) (2014–2017 гг.)

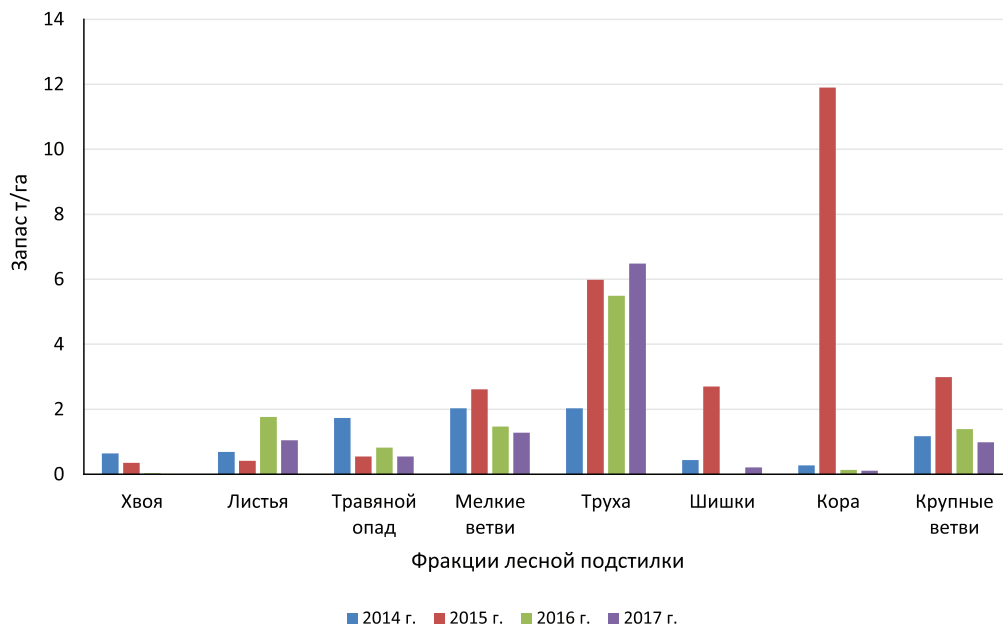


Рис. 3. Детальный фракционный запас лесной подстилки на кластерном участке «Подзаплоты» заповедника «Хакасский» (т/га) (2014–2017 гг.)

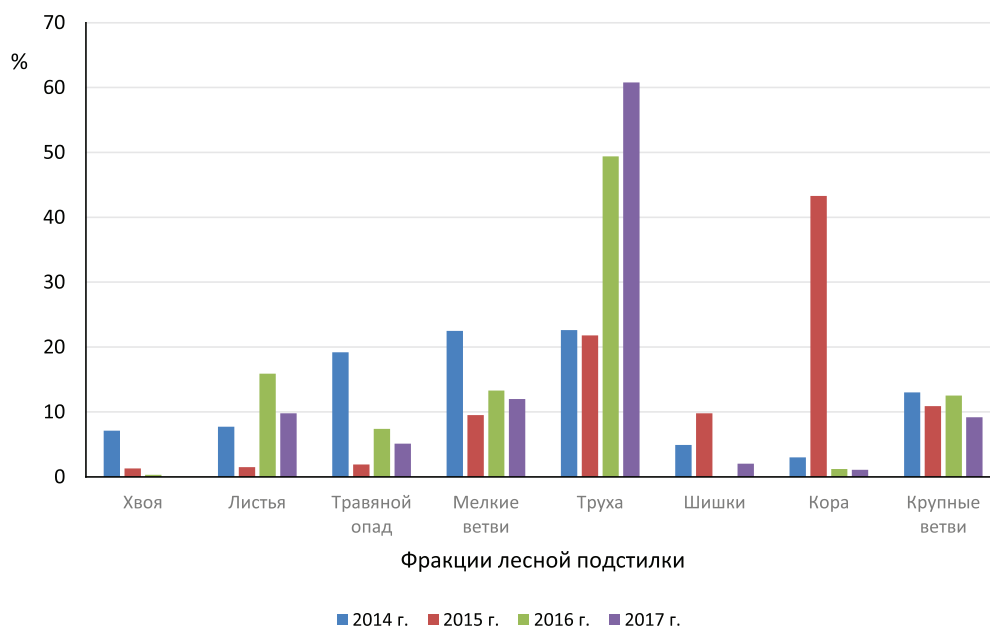


Рис. 4. Детальный фракционный запас лесной подстилки на кластерном участке «Подзаплоты» заповедника «Хакасский» (%) (2014–2017 гг.)

Анализ приведенных данных показывает, что на всех исследуемых пробных площадях в составе лесной подстилки в 2014 г. (до пожара) в максимальном количестве представлены травяной опад, труха и мелкие ветви – это свидетельствует о высокой степени ее гумификации и благоприятных условиях формирования. Полученные данные закономерны для разнотравных типов леса, кото-

рые и преобладают на участке «Подзаплоты» заповедника «Хакасский». Содержание травяного опада и ветоши составляет более 40% от общего запаса лесной подстилки. После нарушения лесной подстилки вследствие пожара значительно увеличивается в массе лесной подстилки такие фракции, как кора, крупные ветви и шишки (неактивная часть лесной подстилки), в процентном отноше-

нии к общему запасу кора в первый год после пожара составляет более 40%. Стабильно высоким показателем как по массе, так и в процентном отношении характеризуется фракция трухи, что свидетельствует, что даже в первый год после пожара, за текущий вегетационный период большое количество опада успевает разложиться до легко гумифицируемых составляющих.

Полученные данные и их последующий анализ показал, в результате пожара изменяется как общий запас лесной подстилки, так и ее фракционный состав, а значит, данные показатели могут служить для оценки нарушенности экосистемы, так как они напрямую зависят от изменений, произошедших в связи с антропогенным воздействием, в данном случае в связи с пожаром.

Выводы

Изучение воздействия пожара на лесную подстилку кластерного участка «Подзаплоты» Государственного природного заповедника «Хакасский» показало, что:

1. Общий запас лесной подстилки в первый год после пожара резко увеличивается (практически в 3 раза), но уже на второй-третий год показатель возвращается к допозжарному периоду.

2. В первый год после пожара наблюдается резкое увеличение (в 2–3 раза) неактивной фракции в лесной подстилке (как в процентном отношении, так и по массе).

3. Наибольшее увеличение (как по запасу, так и в процентном отношении), особенно в первый послепожарный год, наблюдается у двух фракций – шишки и кора, а уменьшение трех фракций – труха, хвоя и травяной опад.

4. Восстановление лесной подстилки после пожара в смешанных лиственнично-березовых лесах кластерного участка «Подзаплоты» заповедника «Хакасский» происходит уже на второй-третий год после пирогенного воздействия. После трех вегетационных сезонов основные показатели лесной подстилки приближаются к допозжарному периоду.

Таким образом, наиболее выраженные изменения лесной подстилки в результате воздействия пожара выражаются в резком увеличении ее общего запаса и в изменении соотношения активной и неактивной фракций.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 16-44-190956 p_a «Разработка программы и заложение основы постпирогенного мониторинга степных экосистем Республики Хакасия (на примере заповедника «Хакасский»)».

Список литературы

1. Лесной пожар и его влияние на лес / М.И. Ушаков [и др.] // Молодой ученый. – 2016. – № 1. – С. 282–286.
2. Богатырев Л.Г. Образование подстилок – один из важнейших процессов в лесных экосистемах / Л.Г. Богатырев // Почвоведение. – 1996. – № 4. – С. 501–511.
3. Ильина В.П. Пирогенное воздействие на растительный покров / В.П. Ильина // Самарская Лука: проблемы региональной и глобальной экологии. – 2011. – Т. 20, № 2. – С. 4–30.
4. Аткина Л.И. Особенности накопления подстилок в лесных сообществах / Л.И. Аткина, А.С. Аткин // Почвоведение. – 2000. – № 8. – С. 1004–1008.
5. Цибарт А.С. Влияние пожаров на свойства лесных почв Приамурья (Норский заповедник) / А.С. Цибарт, А.Н. Геннадиев // Почвоведение. – 2008. – № 7. – С. 783–792.
6. Шибарева С.В. Запасы и элементарный состав подстилок в лесных и травяных экосистемах Сибири: автореф. дис. ... канд. биол. наук: 03.00.27. – Институт почвоведения и археологии СО РАН. – Новосибирск, 2004. – 22 с.
7. Шуркина В.В. Изучение запаса и накопления лесной подстилки на участке «Подзаплоты» государственного природного заповедника «Хакасский» / В.В. Шуркина // Научные исследования в заповедниках и национальных парках Южной Сибири: Вып. 5 / отв. ред. В.В. Непомнящий. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2015. – С. 71–72.
8. Волков А.Г. Лесная подстилка в парцеллах ельников северной подзоны тайги / А.Г. Волков // Известия вузов. Лесной журнал. – 2015. – № 2. – С. 63–68.
9. Шуркина В.В. Анализ фракционного состава лесной подстилки Очурского и Смирновского боров Республики Хакасия (статья) / В.В. Шуркина // Научные исследования в заповедниках и национальных парках Южной Сибири / отв. ред. В.В. Непомнящий. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2013. – С. 94–96.

References

1. Ushakov M.I., Nikolaeva I.O., Frolova A.V., Morozov A.M. Wildfire and its influence on the wood [Lesnoi pozhar i ego vliianie na les]. Molodoi uchenyi – Young scientist, 2016, no. 1, pp. 282–286.
2. Bogatyrev L.G. Formation of forest litter as one of the major processes in forest ecosystems [Obrazovanie podstilok – odin iz vazhneishikh protsessov v lesnykh ekosistemakh]. Pochvovedenie – Eurasian Soil Science, 1996, vol. 29, no. 4, pp. 459–468.
3. Il'ina V.P. Pyrogenic impact on vegetation cover [Pirogennoe vozdeistvie na rastitel'nyi pokrov]. Samarskaia Luka: problemy regional'noi i global'noi ekologii – Formation of laying – one of the major processes in forest ecosystems, 2011, vol. 20, no. 2, pp. 4–30.
4. Atkina L.I., Atkin A.S. Specific Features of Litter Accumulation in Forest Cenoses [Osobennosti nakopleniia podstilok v lesnykh soobshchestvakh]. Pochvovedenie – Eurasian Soil Science, 2000, vol. 33, no. 8, pp. 876–880.
5. Tsibart A.S., Gennadiev A.N. The Influence of Fires on the Properties of Forest Soils in the Amur River Basin (The Norski Reserve) [Vliianie pozharov na svoistva lesnykh pochv Priamur'ia (Norskiy zapovednik)]. Pochvovedenie, 2008. № 7. S. 783–792.
6. Shibareva S.V. Zapasy i elementarnyi sostav podstilok v lesnykh i travianykh ekosistemakh Sibiri: avtoreferat dissertatsiia na soiskanie uchenoi stepeni kandidata biologicheskikh nauk po spetsial'nosti 03.00.27. [Stocks and elementary structure of laying in forest and grass ecosystems of Siberia.]. Novosibirsk, Institut pochvovedeniia i arkhologii SO RAN, 2004, 22.
7. Shurkina V.V. Izuchenie zapasa i nakopleniia lesnoi podstilki na uchastke «Podzaploty» gosudarstvennogo prirodnogo zapovednika «Khakasskii» [Studying of a stock and accumulation of a forest laying on the site of Podzaplot of the national natural park "Khakass"]. Nauchnye issledovaniia v zapovednikakh i natsional'nykh parkakh Iuzhnoi Sibiri S. 71–72. [Scientific research in reserves and national parks of Southern Siberia]. Novosibirsk: Izd-vo SO RAN, 2015, pp. 71–72.
8. Volkov A.G. The Forest Litter in Spruce Formation in the Northern Subzone of Taiga [Lesnaia podstilka v partsellakh e'lnikov severnoi podzony taigi]. Izvestiia VUZov. Lesnoi zhurnal – Forestry journal, 2015, no. 2, pp. 63–68.
9. Shurkina V.V. Analiz fraktsionnogo sostava lesnoi podstilki Ochurskogo i Smirnovskogo borov Respubliki Khakassia [The analysis of fractional structure of a forest laying of Ochursky and Smirnovsky pine forests of the Republic of Khakassia]. Nauchnye issledovaniia v zapovednikakh i natsional'nykh parkakh Iuzhnoi Sibiri [Scientific research in reserves and national parks of Southern Siberia]. Novosibirsk: Izd-vo SO RAN, 2013, pp. 94–96.

УДК 550.34.013

О СОВЕРШЕНСТВОВАНИИ ПУТЕЙ ФОРМИРОВАНИЯ СЕЙСМИЧЕСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЙ ОКОЛОСКВАЖИННОГО ПРОСТРАНСТВА ПО ДАННЫМ СКВАЖИННЫХ СЕЙСМИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ

Бондарев В.И., Крылатков С.М., Крылаткова Н.А.

*ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет», Екатеринбург,
e-mail: bondarev_v@mail.ru*

Продольное (ВСП) и непродольное (НВСП) вертикальное сейсмическое профилирование широко применяется в современном комплексе сейсморазведочных работ на нефть и газ. Главными задачами при этом являются задачи, связанные с изучением скоростных характеристик геологической среды околоскважинного пространства, стратиграфическая увязка данных наземных и скважинных сейсморазведочных работ. В последние годы в число решаемых задач методом НВСП все шире включаются задачи по изучению вещественного состава и строения околоскважинного пространства. Развитие методов решения последней вышеназванной задачи и их дальнейшее совершенствование являются предметом рассмотрения в данной статье. Основными путями совершенствования технологии использования ВСП и НВСП авторы выбрали путь расширения круга используемых интерпретационных моделей геологических сред. В частности, в работе предложено при истолковании результатов полевых наблюдений широко использовать модели геологических сред, содержащих плоские наклонно-слоистые отражающие границы. Показано, что при использовании таких интерпретационных моделей сред можно достаточно хорошо изучать многие интересные и важные особенности волновых полей, наблюдаемых при работах в скважинах. Еще одним новым авторским предложением по совершенствованию технологии работ НВСП является предложение о широком использовании дифракционного взгляда на регистрируемые волновые поля. На этой основе разработан оригинальный метод получения сейсмического изображения околоскважинного пространства. Он позволяет получать итоговые сейсмические мигрированные изображения среды различной кратности и динамической выразительности. Приводятся примеры оригинальных сейсмических изображений изученной части геологической среды. Предложенные авторами способы построения сейсмических изображений геологической среды по данным ВСП, несомненно, обладают целым рядом преимуществ перед существующими способами.

Ключевые слова: вертикальное сейсмическое профилирование, интерпретационная модель, дифракция, бин, сейсмическая граница, конструктивная интерференция, миграция, точка отражения

ON IMPROVEMENT OF WAYS FORMATION OF SEISMIC IMAGES OF THE NEAR-WELLBORE ON THE DATA OF BOREHOLE SEISMIC OBSERVATIONS

Bondarev V.I., Krylatkov S.M., Krylatkova N.A.

Ural State Mining University, Ekaterinburg, e-mail: bondarev_v@mail.ru

In-line and broadside vertical seismic profiling (VSP) is widely applied in a modern complex of seismic works on oil and gas. The main tasks are the tasks related to the study of high-speed characteristics of the geological environment of the near-well space, stratigraphic linking of data of ground and borehole seismic surveys. In recent years, the tasks of studying the material composition and structure of the near-well space are increasingly included in the number of tasks solved by VSP. The development of methods for solving the latter problem and their further improvement are the subject of consideration in this article. The main ways of improving the technology of the VSP the authors have chosen the path of expansion of the circle used interpretive models of geological environments. In particular, in the work it is proposed to use widely the models of geological environments containing flat inclined layered reflecting boundaries when interpreting the results of field observations. It is shown that with the use of such interpretative models of media, it is possible to study quite well many interesting and important features of wave fields observed during work in wells. Another new author's proposal to improve the VSP technology is a proposal for the widespread use of the diffraction view of the recorded wave fields. On this basis, an original method of obtaining a seismic image near the borehole space has been developed. It allows to obtain total seismic migrated images of the medium of different multiplicity and dynamic expressiveness. Examples of original seismic images of the studied part of the geological environment are given. The methods proposed by the authors for constructing seismic images of the geological environment according to VSP undoubtedly have a number of advantages over existing methods.

Keywords: vertical seismic profiling, interpretation model, diffraction, bin, seismic boundary, constructive wave interference, migration, reflection point

Методы вертикального продольного (ВСП) и непродольного вертикального (НВСП) сейсмического профилирования позволяют решать широкий спектр задач современной сейсморазведки. С их помощью изучают скоростные характеристики разрезов, анализируют природу зарегистри-

рованных волновых полей, осуществляют стратиграфическую привязку основных зарегистрированных сейсмических волн, прогнозируют наличие зон аномально высокого (низкого) пластового давления (АВПД) под забоем изученной скважины, производят контроль над ходом процессов гидроразры-

вов пластов и т.п. Метод ВСП, признанный ныне во всем мире, впервые был разработан в СССР в 1950-х гг. Е.И. Гальпериним. Переход от работ по методике сейсмического каротажа (СК) к работам по технологии ВСП позволил уверенно регистрировать последующие вступления сейсмических волн, проводить их фазовую корреляцию и прослеживание всех сейсмических волн во внутренних точках геологической среды. Весомый вклад в дальнейшее развитие метода ВСП в СССР и России внесли известные отечественные геофизики В.А. Теплицкий, Г.А. Шехтман, А.А. Табаков, В.А. Ленский и многие другие. Основной задачей метода ВСП является определение скоростей распространения упругих волн в разрезе и выполнение стратиграфической привязки отраженных волн, зарегистрированных при наземных сейсмических работах. Главной задачей метода НВСП, наряду с вышеперечисленными задачами, является задача построения сейсмического изображения геологической среды для околоскважинного пространства [1].

Цель исследования

Получение временных (глубинных) сейсмических изображений геологической среды на базе данных НВСП принято называть миграцией. Теория миграции данных НВСП предполагает существование двух подходов. Они различаются взглядами на природу вторичных волновых полей, регистрируемых в скважинах. Первый подход предполагает, что регистрируемое в скважине волновое поле – это поле зеркально отраженных волн от субгоризонтальных границ, находящихся в области пространства, заключенного между пунктом возбуждения и скважиной. Его основу составляют способы, основанные на приведении данных скважинных наблюдений к виртуальным наблюдениям на поверхности земли и их последующей обработке по технологии обработки данных МОГТ. Такой подход широко применяется в настоящее время в практике сейсморазведочных работ методом НВСП [2]. Второй подход исходит из предположения, что регистрируемое волновое поле является результатом интерференции множества дифрагированных волн от совокупности большого числа локальных дифракторов в некоторой области пространства.

В статье описываются различные усовершенствования существующих способов построения сейсмических изображений

околоскважинного пространства по материалам НВСП, относящиеся преимущественно ко второму подходу. Предлагается и обосновывается группа способов получения сейсмических изображений околоскважинного пространства, основанных на широком использовании принципа взаимозависимости свойств и местоположения локальных объектов геологической среды и амплитуды сейсмических сигналов для определенной части зарегистрированного волнового поля. Основным источником сведений о строении околоскважинного пространства при НВСП является вторичное волновое поле, формируемое различными геологическими неоднородностями, расположенными между исследуемой скважиной и пунктом возбуждения колебаний. Знание местоположения и структуры объекта, порождающего вторичное волновое поле, позволяет всегда путем решения прямой задачи на основе конкретной скоростной модели среды рассчитать годограф вторичной сейсмической волны от этого объекта и на этой основе определять локальную амплитуду сейсмического сигнала, несущую информацию об изучаемой части геологической среды. Принимая во внимание физическую близость ряда рассматриваемых объектов с точки зрения механизма генерации вторичных волн [3], можно такую цепочку объектов с тем или иным приближением использовать как для получения сейсмических изображений протяженных отражающих границ, так и для получения изображений локальных геологических образований – дифракторов.

Результаты исследования и их обсуждение

Впервые технология получения сейсмического изображения геологической среды на основе использования в качестве основной интерпретационной модели совокупности протяженных горизонтальных отражающих элементов границ рассмотрена Диллоном [4]. Достоинства и недостатки этой схемы получения сейсмических изображений геологической среды проанализированы в работе авторов [5]. На основании результатов этого анализа авторами предложены и разработаны различные усовершенствования, позволяющие, на наш взгляд, в процессе обработки заметным образом повысить качество и достоверность получаемых сейсмических изображений изучаемой части геологической среды. Эти усовершенствования, прежде всего, косну-

лись расширения круга используемых интерпретационных моделей среды.

Предложенный Диллоном подход авторами обобщен на случай, когда изучаемые отражающие границы могут иметь наклонное расположение, а линия «пункт возбуждения – исследуемая скважина» ориентирована по падению слоев. Получены оригинальные расчетные формулы, позволяющие определять положение точек отражения в разрезе (расчет линий точек отражения – ЛТО) для модели среды с наклонными отражающими границами, показанной на рис. 1:

$$x_{LTO} = \frac{(H - z_{VSP} \cdot \cos \varphi) \cdot (L \cdot \cos 2\varphi - 2 \cdot H \cdot \sin \varphi)}{2 \cdot H + L \cdot \sin \varphi - z_{VSP} \cdot \cos \varphi};$$

$$z_{LTO} = \frac{(2 \cdot H \cdot \cos \varphi - z_{VSP} \cdot \cos 2\varphi) \cdot (H + L \cdot \sin \varphi)}{2 \cdot H + L \cdot \sin \varphi - z_{VSP} \cdot \cos \varphi}.$$

На основе полученного решения детально изучены поля расположения возможных точек отражения на наклонных границах и их отличия от случая горизонтальных отражающих границ. Показывается, что в случае недоучета наклона отражающих границ в процессе формирования сейсмических изображений среды возможны существенные искажения местоположения

в околовскважинном пространстве получаемых сейсмических образов геологических объектов. Сказанное подтверждается данными, приводимыми на рис. 2. Из их сравнения отчетливо видно, что использование интерпретационной модели среды с наклонными отражающими границами дает заметно отличающееся изображение среды, в сравнении с тем изображением, которое получается на основе использования горизонтально-слоистой модели отражающих границ. Это хорошо видно по изменению пространственных координат двух характерных особенностей волнового поля.

Ниже нами предлагается и обосновывается еще один подход к получению сейсмических изображений околовскважинного пространства, основанных на широком использовании принципа взаимозависимости свойств определенной части зарегистрированного волнового поля, местоположения локальных объектов геологической среды и амплитуды сейсмических сигналов. Этот подход объединяет идеи Диллона с дифракционным взглядом на регистрируемое волновое поле. При этом предлагаемая технология получения сейсмических изображений геологической среды является естественным развитием идей авторов, заложенных в патенте [6].

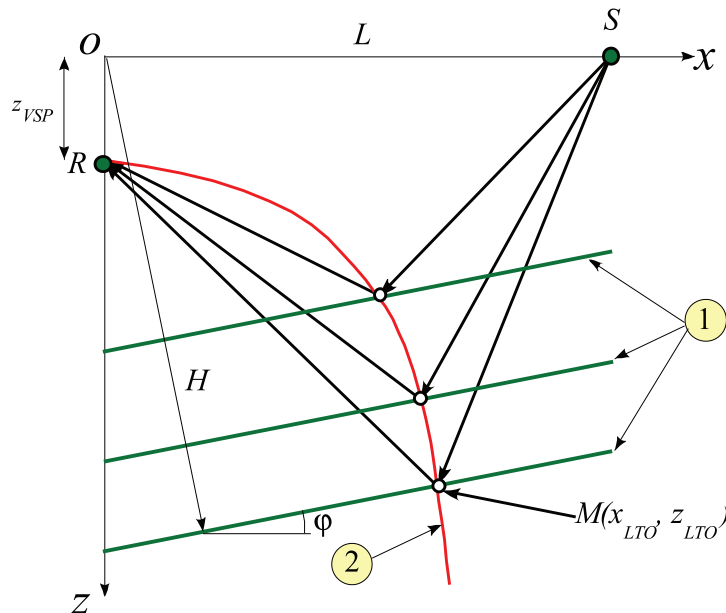


Рис. 1. Лучевая схема, использованная при выводе расчетных формул: H – глубина по нормали к границе под устьем скважины, z_{VSP} – глубина приемника в скважине, L – удаление ПВ от устья скважины, φ – угол наклона отражающей границы, 1 – возможные положения отражающей границы, 2 – линия точек отражений

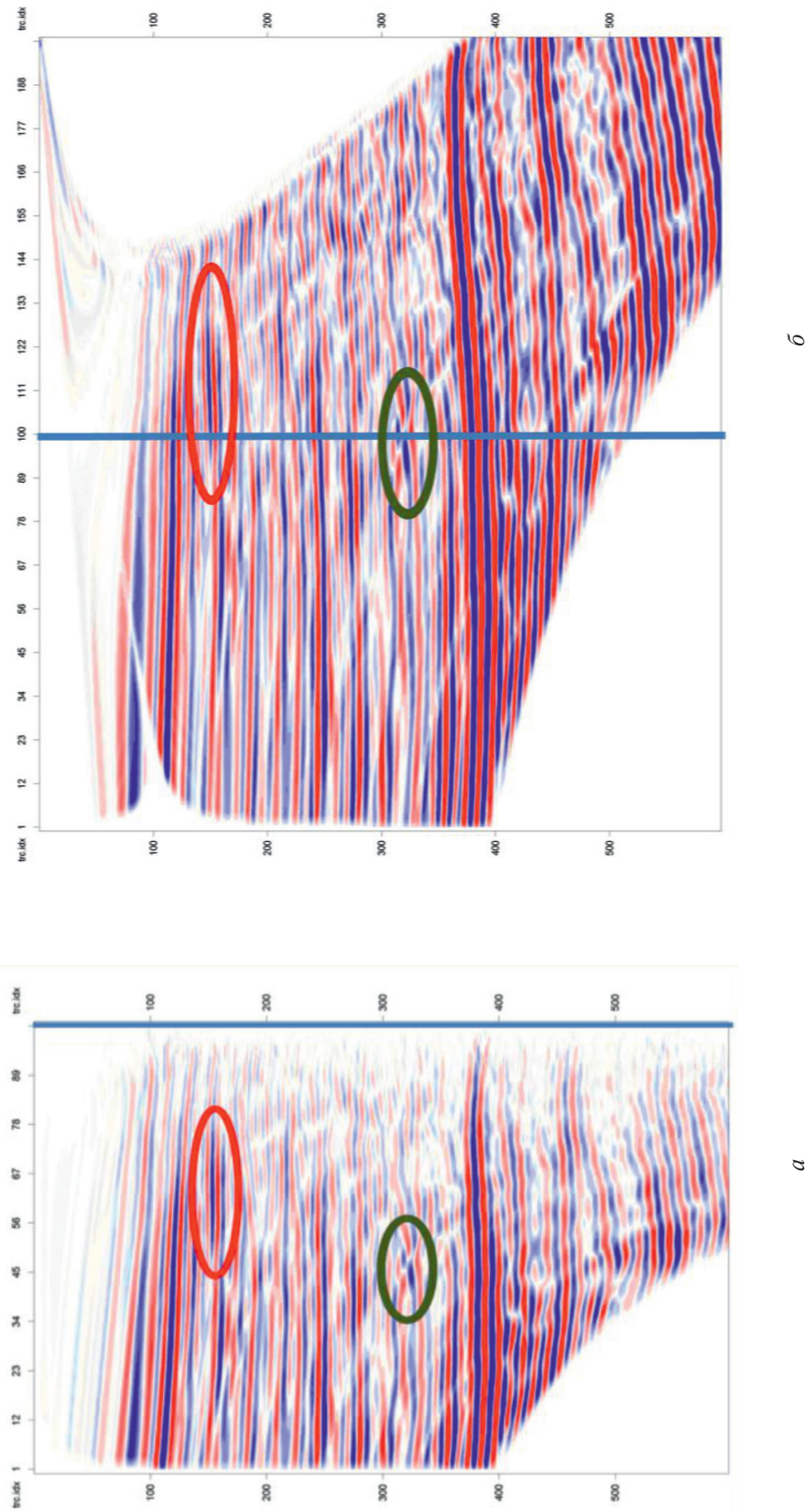


Рис. 2. Глубинный разрез по скв. 77, построенный на основе модели наклонно-слоистой среды: а – при $\varphi = 0^\circ$; б – при $\varphi = -15^\circ$.

и — положение в разрезе характерных элементов волнового поля,
 — граница области половинного удаления ПВ от скважины

Она исходит из того, что возврат сейсмической энергии из геологической среды, облученной сейсмическим источником, осуществляется преимущественно в виде совокупности дифрагированных волн. Каждая зарегистрированная сейсмическая трасса НВСП может рассматриваться как результат интерференционного суммирования множества дифрагированных волн, образованных либо реальными локальными неоднородностями геологической среды, либо виртуальными дифракторами, совокупностью которых можно, с некоторым приближением, аппроксимировать реально существующие в геологической среде протяженные сейсмические отражающие границы.

Высказанное выше предположение означает, что каждое сейсмическое событие (сигнал с признаками индивидуальной сейсмической волны) на трассе НВСП, в скважине на любом уровне наблюдений, может содержать информацию о характере распределения дифракторов в среде под различными пикетами профиля «пункт возбуждения – устье исследуемой скважины». Поэтому каждая наблюдаемая трасса сейсмограммы НВСП может быть пересчитана в вертикально ориентированную трассу $A(z)$, амплитуда которой и будет давать представление о возможном распределении дифракторов по вертикали для этого пикета профиля (рис. 3). Выполняя такие пересчеты в фиксированной точке профиля для различных наблюдаемых трасс НВСП, можно для каждого выбранного заранее пикета профиля получить массив множества сейсмических трасс, конструктивная интерференция которых в процессе суммирования и будет давать уже реальное сейсмическое изображение распределения реальных дифракторов на разных глубинах.

Локализовать местоположение реальных дифракторов можно только путем интерференционного анализа совокупности амплитудных записей волнового поля, зарегистрированного с помощью множества приемных каналов, находящихся на разных уровнях (глубинах) регистрации. Поскольку в реальных условиях никогда неизвестна природа регистрируемого вторичного волнового поля, то любой предлагаемый способ его инверсии должен достаточно хорошо трансформировать как поле дифрагированных, так и поле отраженных волн. Однако такая универсальность может быть реализована только с частичной

потерей некоторых качеств, характерных либо для отраженных, либо для дифрагированных волн.

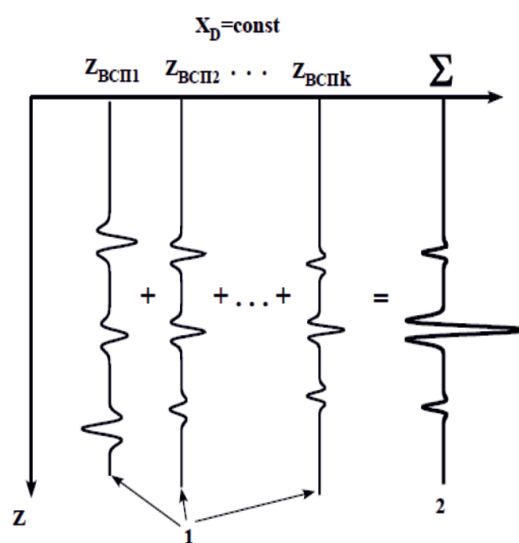


Рис. 3. Схема, поясняющая процесс формирования интерференционной трассы сейсмического изображения среды на произвольном пикете x_D профиля, получаемой сложением трансформированных трасс НВСП разных уровней: трансформированные исходные трассы для произвольного пикета профиля x_D ; 2 – суммарная трасса

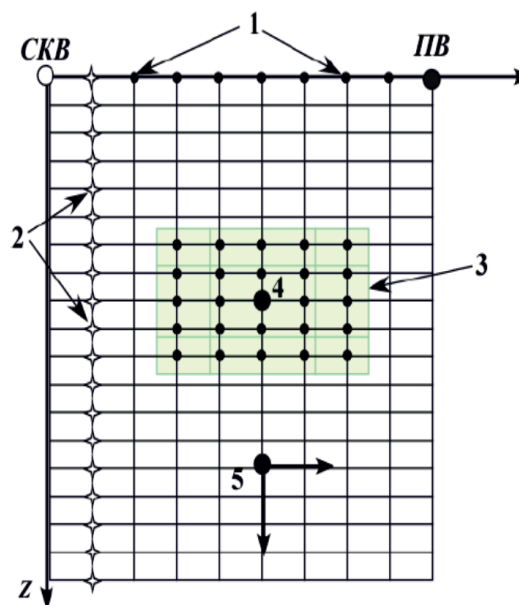
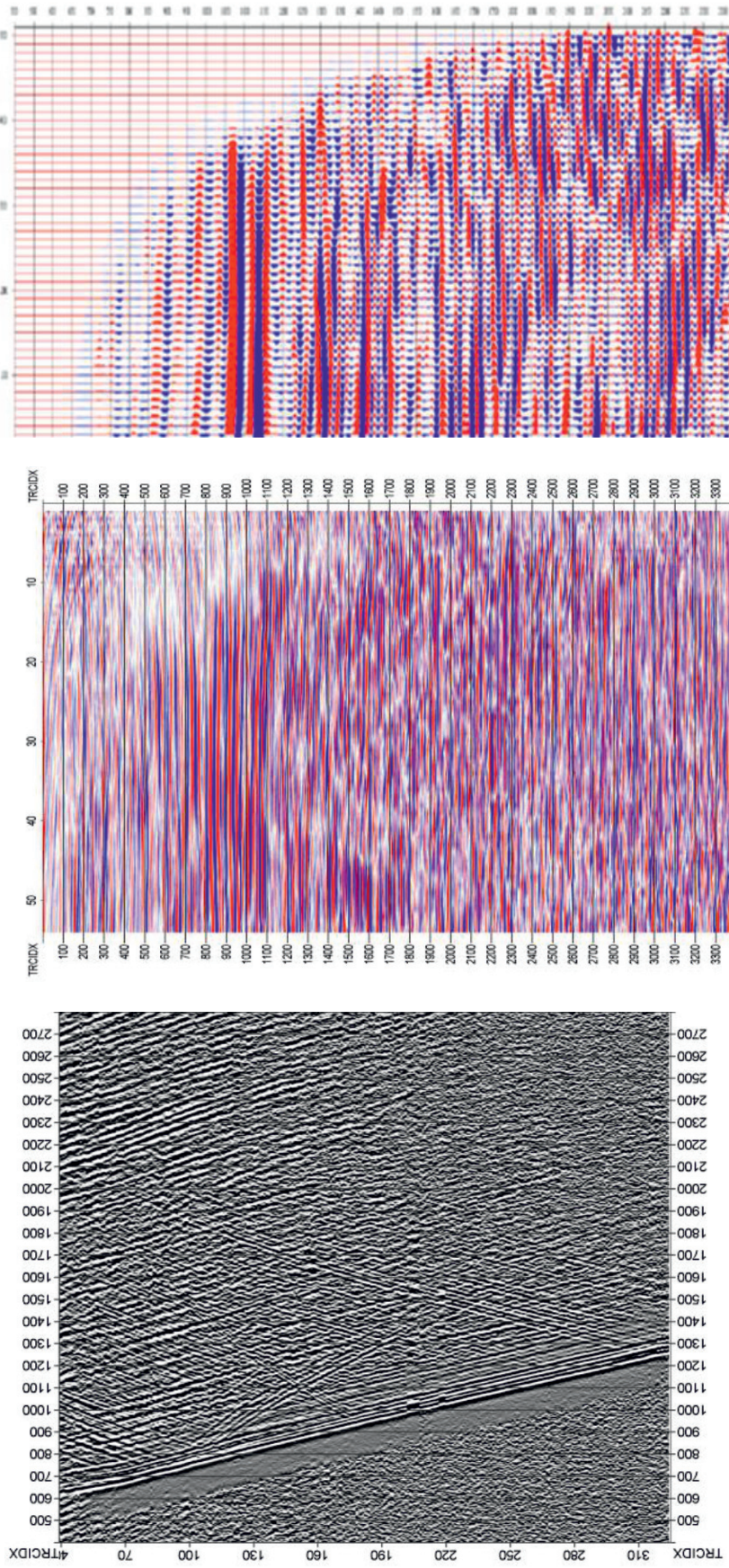


Рис. 4. Принципиальная схема расположения: 1 – пикетов расчетной сети на профиле ПВ-СКВ; 2 – расчетных точек на вертикали; 3 – вертикального большого бина ВББ; 4 – центр расположения ВББ; 5 – направление возможных смещений центра ВББ



в

б

а

Рис. 5. Результат инверсии экспериментальных данных (скв. Д1 – L = 1070 м): а – исходное волновое поле; б – результат его трансформации предложенным способом; в – результат независимой трансформации, выполненной ранее авторами полевых работ ВСП

Для повышения качества и устойчивости (стабильности) получаемых сейсмических изображений геологической среды перенос выбранной амплитуды с наблюдаемой трассы следует осуществлять не в одну расчетную точку, а в группу таких точек на соседних вертикалях, которые объединяются нами в «вертикальный большой бин – ВББ». Форма и размер ВББ по числу используемых в нем расчетных точек зависит от качества исходных сейсмических записей и определяется опытным путем в процессе обработки данных НВСП (рис. 4). Проведенные предварительные исследования показали, что размеры вертикального большого бина должны быть различны по двум направлениям. По вертикали – по оси глубин, размеры бина должны быть в 3–5 раз меньше, чем его размеры по горизонтали, и составлять 2–4 м. В целом размеры такого вертикального бина можно выбирать достаточно малыми, например 4x20 м, 2x10 м и т.п.

Проверка правильности предложенных подходов, прежде всего, проверялась математическим моделированием работоспособности способов на идеальных волновых полях. Для этого, как обычно, рассчитывались теоретические волновые поля того или иного вида для определенных моделей сред. На втором этапе проверки работоспособности предложенных способов использовались экспериментальные волновые поля, зарегистрированные в скважинах. Если в первом случае оценка эффективности предложенного способа осуществляется достаточно легко и объективно, поскольку нужный результат известен заранее, то во втором случае для оценки полученного результата приходится привлекать, как правило, косвенные данные.

Приводимый на рис. 5 временной разрез демонстрирует качество и характер получаемых сейсмических изображений геологической среды по результатам экспериментальных данных. Как видно из представленных результатов, получаемые сейсмические изображения околоскважинного пространства являются достаточно качественными и не противоречат имеющимся представлениям о строении изученной среды. По многим показателям – кратности, регулярности и контрастности изображения изучаемой части геологического разреза околоскважинного пространства – они заметно превосходят уже известные аналоги.

Выводы

Предложенная авторами технология построения сейсмических изображений геологической среды по данным ВСП обладает целым рядом преимуществ перед существующими способами:

– управляя параметрами предложенных способов (формой, размером и числом расчетных точек в вертикальном бине и т.д.), становится возможным получение итоговых изображений различной кратности и динамической выразительности;

– получаемые предложенными способами сейсмические изображения геологической среды обладают свойствами мигрированных изображений;

– отсутствуют ограничения на использование сейсмических наблюдений в скважинах с криволинейной геометрией ствола;

– сейсмическое изображение среды может быть получено ниже самого глубоко погруженного сейсмоприемника на глубину, зависящую от времени регистрации сейсмических волн и планируемой кратности;

– показана перспективность использования интерпретационных моделей с наклонно-слоистыми границами сред при анализе данных ВСП и НВСП.

Список литературы

1. Кузнецов В.М., Шехтман Г.А., Череповский А.В. Технические средства в многоволновой сейсморазведке // Технологии сейсморазведки. – 2013. – № 1. – С. 74–86.
2. Ленский В.А., Адиев Р.Я., Адиев А.Я. Скважинная сейсморазведка. – Уфа: Информреклама, 2012. – 348 с.
3. Oz Yilmaz, Seismic Data Analysis. Tulsa, SEG. – 2001. – V.1. – 1000 p., V.2. – 1000 p.
4. Dillon P.B., Thomson R.C. Offset source VSP survey sand their image reconstruction // Geophysical Prospecting. – 1984. – № 32. – P. 790–811.
5. Бондарев В.И., Крылатков С.М. Построение двумерных сейсмических изображений геологической среды по данным неперодольного вертикального сейсмического профилирования. Тезисы доклада на Международной конференции «Глубокие горизонты науки и недр». – Тюмень, – 2015. – С. 1–4.
6. Бондарев В.И., Крылатков С.М., Курашов И.А. Патент на изобретение № 2488145 «Способ построения сейсмических изображений геологической среды» с приоритетом от 10 января 2012 г., зарегистрирован в Государственном реестре изобретений РФ 20 июля 2013 г.

References

1. Kuznetsov V.M., Shekhtman G.A., Cherepovskii A.V. Technical means in multi-wave seismic exploration [Технические средства в многоволновой сейсморазведке]. Tekhnologii seismorazvedki - Seismic technology, 2013, no. 1, pp. 74–86.
2. Lenskii V.A., Adiev R.Ia., Adiev A.Ia. Skvazhinnia seismorazvedka [Borehole seismic exploration]. Ufa: Informreklama, Informreklama, 2012, 348.
3. Yilmaz Oz. Seismic Data Analysis. Tulsa, SEG, 2001, 1000 p.
4. Dillon P.B., Thomson R.C. Offset source VSP survey sand their image reconstruction. Geophysical Prospecting, 1984, no. 32, pp. 790–811.
5. Bondarev V.I., Krylatkov S.M. Postroenie dvumernykh seismicheskikh izobrazhenii geologicheskoi sredy po dannym neprodol'nogo vertikal'nogo seismicheskogo profilirovaniia. [The Construction of two-dimensional seismic images of the geological environment according not longitudinal vertical seismic profiling.]. IV Mezhdunarodnaia konferentsiia Glubokie gorizonty nauki i neдр. Tiumen'-2015. (g. Tiumen', 23-27 marta 2015 g.) [Proceedings of Fourth International conference "Deep horizons of science and subsoil", Tyumen-2015 (Tyumen, March 23-27, 2015)], HOUTEN, Evropeiskaia assotsiatsiia geouchenykh i inzhenerov, 2015, pp. 1-4.
6. Bondarev V.I., Krylatkov S.M., Kurashov I.A. Patent na izobretenie № 2488145 "Sposob postroeniija seismicheskikh izobrazhenij geologicheskoi sredy" s prioritetoм ot 10 janvarja 2012 g., zaregistririvan v Gosudarstvennom reestre izobretenij RF 20 iulja 2013 g.

УДК 621.313:622.23

ОБОСНОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ ЦИЛИНДРИЧЕСКОГО ЛИНЕЙНОГО ВЕНТИЛЬНОГО ДВИГАТЕЛЯ В НЕФТЕДОБЫЧНЫХ АГРЕГАТАХ

Любимов Э.В., Шулаков Н.В., Шутемов С.В.

ГОУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет», Пермь,
e-mail: shutemsv@yandex.ru

Добыча нефти является главной отраслью экономики страны, поэтому ей необходимо уделять особое внимание. При этом следует отметить, что легкодоступные месторождения нефти практически исчерпаны. Новые залежи ископаемых находятся на больших глубинах, в труднодоступных местах. Основной на сегодня способ добычи нефти с помощью станков-качалок не удовлетворяет всем требованиям сегодняшнего дня из-за существенных недостатков. Для их удовлетворения необходимо разрабатывать оборудование нового поколения, которое позволило бы решить эти сложные технические задачи. Представленная статья посвящена проектированию нового класса приводов для нефтедобычи. Линейные вентильные электродвигатели (ЦЛВД), совместно с плунжерными насосами, помещаются непосредственно в скважину, что позволяет им работать на больших глубинах без подвода механической мощности через шток. ЦЛВД используют в составе погружного бесштангового электронасосного агрегата (ПБЭНА), для добычи нефти из мало- и среднедебитных скважин. В представленном проектируемом приводе нет жестких ограничений по глубине спуска плунжерного насоса в скважину, которая может достигать 3000 метров и более. Кроме этого, сам электродвигатель является источником нагрева нефтяного пласта, что позволяет разрабатывать запарафиненную нефть. Проектирование такого инновационного оборудования требует проведения научных исследований в этой области и разработки новых инженерных методик анализа и синтеза. Его использование позволяет вести бесштанговую добычу нефти из скважин, в качестве замены широко используемых в настоящее время станков-качалок. Главной особенностью проектируемого привода ПБЭНА на основе ЦЛВД является возможность работы в периодическом режиме. Такой режим наиболее благоприятен для повышения энергетического КПД. Использование периодического режима позволяет получить высокий КПД установки при различном числе двойных ходов плунжера насоса за счет частотно-импульсного регулирования добычи.

Ключевые слова: линейный двигатель, плунжерный насос, нефтедобычный агрегат, привод

JUSTIFICATION OF CYLINDRICAL LINEAR ELECTRIC MOTOR AS A PART OF OIL PRODUCTION UNIT

Lyubimov E.V., Shulakov N.V., Shutemov S.V.

Perm National Research Polytechnic University, Perm, e-mail: shutemsv@yandex.ru

Oil production is the main branch of the country's economy, so it needs to pay special attention. At the same time it should be noted that easily accessible oil fields are almost exhausted. New deposits of fossils are at great depths, in hard-to-reach places. The main way to produce oil with the help of rocking machines today does not meet all the requirements of today due to significant shortcomings. To meet them, it is necessary to develop a new generation of equipment that would solve these complex technical problems. The article is devoted to the design of a new class of drives for oil production. Linear valve motors (CLEM), together with plunger pumps are placed directly into the well, which allows them to work at great depths without supplying mechanical power through the rod. CLEM are included in the submersible scraping electric pump unit (PBENA), in order to extract oil from low- and medium-rate wells. In the presented projected drive there are no strict limitations on the depth of descent of the plunger pump into the well, which can reach 3000 meters or more. In addition, the electric motor itself is a source of heating of the oil reservoir, which makes it possible to develop quenched oil. The design of such innovative equipment requires conducting research in this area and developing new engineering techniques for analysis and synthesis. Its use makes it possible to carry out unrestricted production of oil from wells, as a replacement for the currently widely used rocking machines. The main feature of the projected drive PBENA on the basis of CLEM is the ability to work in the short-term period. Such a regime is most favorable for increasing the energy efficiency. The use of the short-period mode allows obtaining a high efficiency of the installation with a different number of double strokes of the pump plunger due to frequency-pulse production control.

Keywords: linear motor, plunger pump, oil production unit, drive

Увеличение добычи нефти на существующих скважинах РФ является важной государственной задачей. Основной на сегодня способ добычи нефти с помощью станков-качалок не удовлетворяет всем требованиям сегодняшнего дня из-за существенных недостатков. В еще большей степени он не удовлетворяет требованиям стратегических перспектив развития отрасли. Налицо серьезная проблемная ситуация. Проблема добычи

нефти на средне- и малodeбитных скважинах, а также на скважинах глубиной от 2000–3000 м и более не имеет пока практического разрешения. Установленная невозможность использования станков-качалок для глубоких скважин привела к тому, что возникла необходимость разработки принципиально новых конструкций электропривода.

Цилиндрический линейный вентильный электродвигатель (ЦЛВД) разработан

для погружного бесштангового электронасосного агрегата (ПБЭНА), с целью добычи нефти из средне- и малodeбитных скважин. ПБЭНА выполняет функцию, аналогичную функции станка-качалки, в качестве привода глубинного штангового плунжерного насоса. Принцип действия плунжерного насоса основан на возвратно-поступательном движении поршня, который соединен коротким штоком с электродвигателем типа ЦЛВД. При использовании агрегата исчезает потребность подготовки фундамента под станок-качалку, а также нет необходимости использовать колонну штанг, так как привод ЦЛВД находится непосредственно в забое скважины. Такое решение позволяет получить существенные преимущества в сравнении со станком-качалкой. Это позволит более тщательно производить добычу нефти из месторождений и, соответственно, повысить эффективность извлечения нефти. Использование ПБЭНА должно снизить затраты на энергопотребление, так как отсутствуют потери на трение между колонной штанг и обсадными насосно-компрессионными трубами (НКТ).

Обоснование

В практике нефтедобычи используются следующие добычные агрегаты:

1. Скважинные штанговые насосные установки (СШНУ).

2. Установки погружных центробежных насосов с электроприводом (УЦН).

В мировой практике нефтедобычи наибольшее распространение по количеству эксплуатируемых скважин получили СШНУ, а по объемному количеству добычи – УЦН. При этом такое распространение СШНУ связано с тем, что они предназначены для эксплуатации низко- и среднедебитных скважин. Установки УЦН менее распространены по количеству, так как предназначены для эксплуатации средне- и высокодебитных скважин, но именно они добывают более половины валового количества нефти.

При дебите 100 м³/сут и более скважины относятся к высокодебитным, вне зависимости от высоты подъема. Скважины с дебитом 5,0 м³/сут относятся к низкодебитным. К среднедебитным относятся скважины, которые не попадают в группы высоко- и низкодебитных.

Длительная практика применения СШНУ и УЦН, а также технико-экономические расчеты показали, что приведенные

области применения глубиннонасосного оборудования являются достаточно обоснованными [1].

Привод насосного агрегата СШНУ находится на устье скважины и называется станком-качалкой. Станок-качалка работает за счет перемещения плунжера посредством длинной колонны насосных штанг. При этом рабочий режим соответствует 3–10 качаний в минуту. Такой агрегат обеспечивает высокий напор в ограниченном диапазоне подач от 5 до 50 м³/сут. Станки-качалки имеют высокий КПД в области добычи от 1 до 40 м³/сут. При подаче, равной 40 м³/сут он достигает значения 42%. При этом необходимо учитывать, что чем меньше подача, тем меньше и КПД.

Насосные агрегаты УЦН имеют КПД добычи нефти более 40%. Такой высокий КПД возможен только в области больших подач (более 280 м³/сут). Однако следует учитывать, что при добыче менее 80 м³/сут их КПД резко падает. УЦН невозможно использовать эффективно при добыче менее 45 м³/сут. Это связано с тем, что при меньших дебитах резко падает их КПД, не достигая величины даже в 20%. Из вышеизложенного следует, что такие установки имеют смысл использовать только на высокодебитных скважинах.

Таким образом, приходим к выводу: при высоком дебите скважин наиболее эффективными являются центробежные насосы, а для средне- и малodeбитных скважин наиболее рационально использовать насосы объемного типа, например плунжерные [1].

На текущий момент СШНУ в неполной мере отвечают современным требованиям эксплуатации нефтяных скважин. Такое проблемное состояние связано с особенностями их конструкции, когда передача усилия к плунжерному насосу осуществляется с помощью промежуточных механических звеньев (станок-качалка и колонна штанг). При этом существенными недостатками СШНУ являются:

1) потеря длины плунжера насоса из-за деформации колонны штанг при ходе вверх и вниз;

2) усилие на плунжер насоса передается от станка-качалки с помощью колонны штанг, которые изготавливают из дорогих легированных сталей;

3) при работе колонна штанг подвергается усилиям сжатия и растяжения, поэтому ход плунжера насоса и коэффициент его заполнения уменьшается, что существенно снижает эффективность его работы;

4) разрушение колонны штанг из-за коррозионно-усталостных напряжений;

5) ограничение добычи нефти глубиной в 1800–2000 м, что связано с возможностью обрыва штанг под собственным весом;

6) механическое истирание колонны штанг и насосно-компрессорных труб (НКТ) в результате их совместного трения;

7) значительные ограничения регулировочных свойства станков-качалок из-за применения асинхронного нерегулируемого привода;

8) необходимость создания бетонного основания станка-качалки и большая металлоемкость конструкции, что осложняет строительство в условиях вечной мерзлоты.

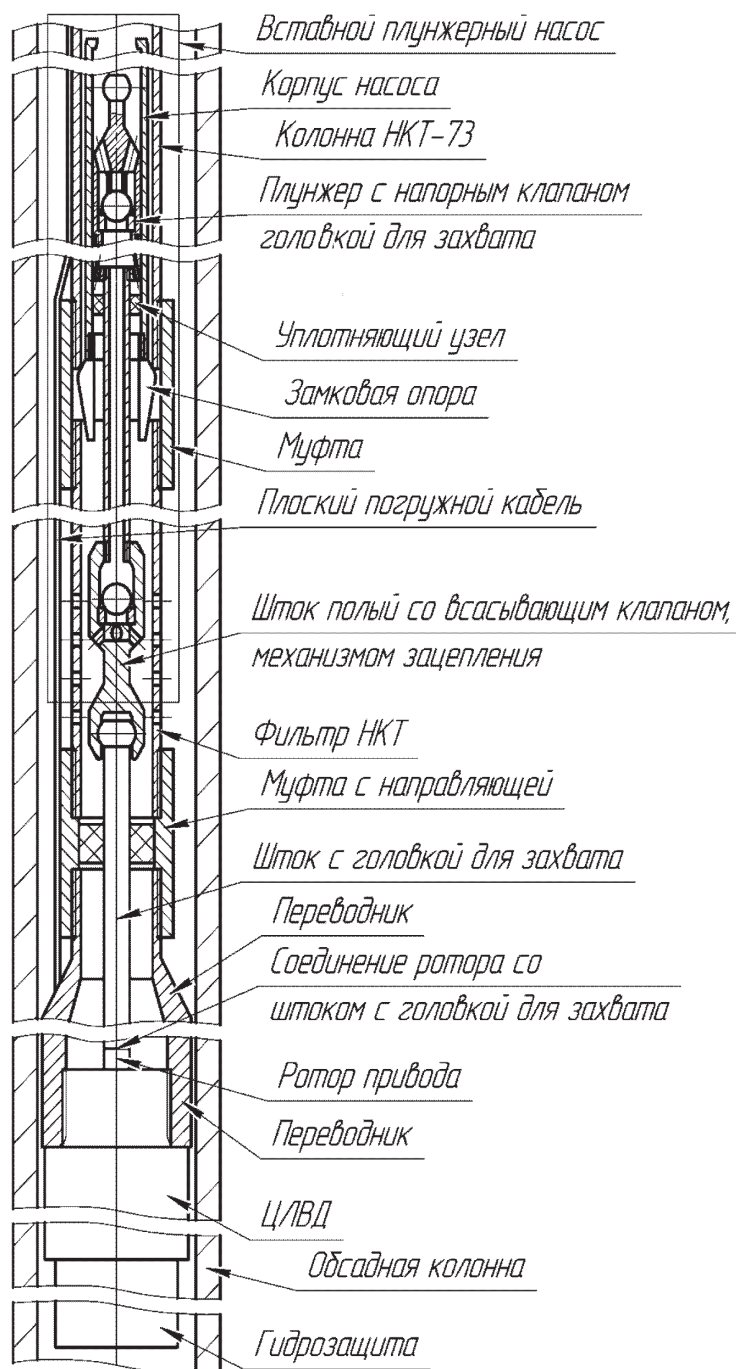


Рис. 1. Конструкция ПБЭНА

ПБНА лишен указанных выше недостатков. Он состоит из ЦЛВД и сочлененного с ним плунжерного насоса (рис. 1). ЦЛВД управляется от ПЧ с помощью микропроцессорной системы, которая обеспечивает необходимую длину хода плунжера и число качаний в минуту.

При работе системы в скважине создается возвратно-поступательное движение плунжера. ЦЛВД получает питание с поверхности в забой скважины с помощью кабеля от преобразователя частоты. В результате происходит исключение промежуточных звеньев привода, осуществляется приближение двигателя к насосу, что обеспечивает ПБЭНА, в сравнении с балансирным станком-качалкой, ряд преимуществ:

- увеличивается эффективность добычи нефти;
- сокращается площадь установки оборудования;
- снижается металлоемкость вследствие исключения части конструкций (станка-качалки, фундаментов, штанговых колонн);
- сокращаются затраты на строительные и монтажные работы;
- ПБЭНА позволяет существенно снизить затраты на обслуживание и ремонт скважины из-за отсутствия колонны штанг;
- позволяет снизить затраты на энергопотребление, так как отсутствуют потери на трение между колонной штанг и обсадными трубами;
- меньше влияют проблемы, связанные с эмульгированием нефти в НКТ;
- нет жестких ограничений по глубине спуска плунжерного насоса в скважину, так как нет опасности обрыва штанг под собственным весом. Глубина добычи может составлять 3000 м и более.

При эксплуатации станков-качалок необходимо учитывать, что с увеличением глубин добычи возрастает трение между колонной штанг и обсадными насосно-компрессионными трубами. Использование колонны штанг при работе станка-качалки приводит к низкому КПД, которое из-за трения об НКТ оказывается в пределах 20–45%.

В качестве альтернативы станку-качалке соответственно представляется более целесообразным использовать насосный агрегат ПБЭНА. Он основан на плунжерном насосе, зарекомендовавшем себя надежностью и характеристиками, в связке с ЦЛВД возвратно-поступательного движения. Использование ЦЛВД, сочлененного с плунжерным насосом, позволяет устранить эффект

трения колонны штанг об НКТ, использовать насосный агрегат в криволинейных скважинах, повысить общий КПД агрегата в целом, по сравнению со стандартным станком-качалкой.

Основной проблемой ЦЛВД является КПД в 55–65%. Это связано с питанием двигателя частотой ПЧ, равной 5–7 Гц, из-за требования низкой скорости хода плунжера насоса. Понижение частоты питания нерационально из-за снижения энергетического КПД ЦЛВД, так что частоту ПЧ ниже 5–7 Гц лучше не применять. Дальнейшее понижение частоты необходимо для уменьшения количества ходов при добыче нефти и регулирования дебита, но от него необходимо отказаться, и лучше выполнять регулирование дебита другими способами, не связанными с понижением рабочей частоты сети [2].

Особенностью проектируемого насосного агрегата ПБЭНА на основе ЦЛВД является необходимость работы с максимальной частотой сети, а соответственно, и максимальной скоростью движения плунжера. Такое условие необходимо для получения максимального КПД двигателя. При этом дебит регулируется за счет изменения количества двойных ходов плунжера в минуту, то есть регулирование осуществляется исключительно за счет паузы в работе двигателя. Такой режим можно назвать периодическим. Высокий КПД при повышении частоты ПЧ связан с тем, что активные потери в двигателе не меняются в зависимости от частоты, а соответственно, и скорости движения вторичного элемента. Полезная же мощность двигателя пропорционально зависит от скорости движения плунжера, а соответственно, и частоты ПЧ. Такой режим позволяет поддерживать при любом дебите максимального высокого энергетического КПД добычного агрегата. Периодический режим отличается тем, что даже после одного хода возвратно-поступательного движения может быть длительный период остановки ЦЛВД. Практически такой режим называется частотно-импульсным регулированием. Учитывая небольшое количество перекачиваемой нефти за один ход плунжера, можно представить такой режим как непрерывный, с малым регулируемым дебитом.

При работе насосного агрегата на основе ЦЛВД необходимо учитывать, что передача энергии в забой скважины в виде электрической энергии по кабелю значительно эффективнее, чем механическая передача энергии штангой (рис. 2). Наклон характе-

ристики КПД при передаче энергии показывает, что при использовании механической штанги (рис. 2, б) потери увеличиваются быстрее, чем при передаче электрической энергии по кабелю (рис. 2, а), с увеличением глубины. Значения потерь при использовании штанги взяты из практики эксплуатации СШНУ, а потери в кабеле – из практики эксплуатации УЦН.

Отсюда можно сделать вывод, что при возрастании глубин эксплуатации месторождений штанги становятся непригодными и ПБНА получает преимущество. Потери энергии в ЦЛВД происходят в забое скважины, это вызывает нагрев пластовой жидкости непосредственно в предзабойной зоне, что в результате приводит к уменьшению выделений отложений парафина на стенках насосно-компрессорных труб. Это дает дополнительное преимущество ПБНА на ряде месторождений, где происходит добыча вязкой нефти, нефти, имеющей высокое содержание парафинов. Это связано с тем, что не требуется установка дополнительных электрических нагревателей в забой. Именно при такой эксплуа-

тации погружной скважинный насосный агрегат становится наиболее эффективным.

При анализе преимуществ привода ПБНА необходимо учитывать, что оценка только по энергетическим параметрам на основе КПД не является полной. При проектировании привода был выбран вентильный двигатель с постоянными магнитами на вторичном элементе, что связано с его компактными размерами. Это обусловлено необходимостью устранения недостатков погружных приводов на основе асинхронных двигателей (АД). Постепенно осуществляется переход к регулируемым вентильным приводам с вытеснением из эксплуатации асинхронных. Такое решение позволило повысить удельные показатели привода. Повышение характеристик электродвигателей произошло за счет возбуждения мощного магнитного поля на вторичном элементе от редкоземельных магнитов. Это позволило увеличить удельные характеристики двигателей в 2–4 раза по сравнению с АД [3]. При этом важно отметить, что увеличивается именно показатель усилия электродвигателя.

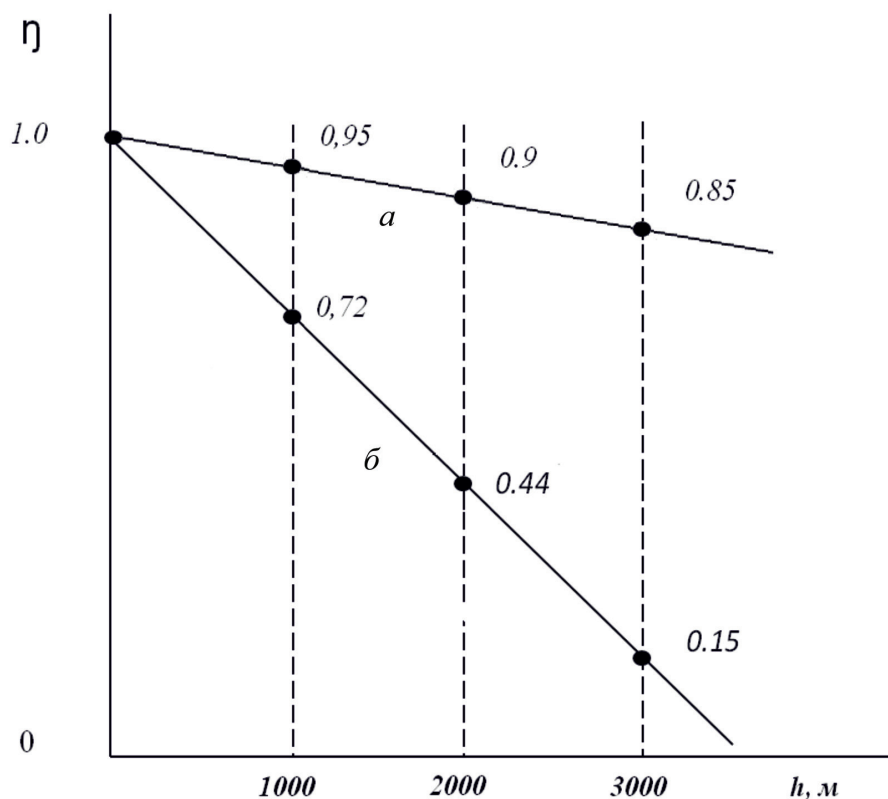


Рис. 2. КПД передачи энергии для двух вариантов добычных агрегатов: а – ЦЛВД, с передачей энергии по кабелю; б – станок-качалка, с передачей энергии штангой

Получение повышенных удельных энергетических показателей электродвигателей стало возможно только с началом применения в ВД новых магнитотвердых материалов с высоким значением удельной энергии. Эти высококоэрцитивные постоянные магниты были разработаны недавно на основе редкоземельных металлов системы неодим – железо – бор.

Рассмотрим основные требования, предъявляемые к модулю ЦЛВД, для проектируемого нефтедобычного агрегата ПБЭНА. На основании параметров эксплуатируемых СШНУ и УЦН были сформулированы требования к ЦЛВД и добычному агрегату ПБЭНА. В состав агрегата входит плунжерный насос, номограмма которого определяет основные требования к электроприводу:

1. Регулирование производительности плунжерного насоса производится изменением количества двойных ходов в минуту, что задается изменением частоты ПЧ. В более приемлемом, рассмотренном выше варианте, за счет изменения величины паузы в работе агрегата.

2. Раздельное и независимое регулирование частоты и длины хода плунжера насоса с помощью двигателя.

3. Необходимо плавно изменять движение плунжера, без рывков. Скорость плунжера должна плавно уменьшаться в конце хода и увеличиваться в начале.

4. Подача насоса и величина хода плунжера должны меняться, в зависимости от депрессии на пласт.

5. Обратный ход поршня может быть осуществлен при уменьшении рабочего тока ЦЛВД, то есть он является нерабочим.

6. Усилие с одного метра длины ЦЛВД должно быть примерно равно 4 кН, что позволяет обеспечивать добычу нефти с глубины не менее 3000 м, при этом используется не более 8 модулей ЦЛВД.

При проектировании ЦЛВД были проведены многовариантные расчеты, содержащие множества точек статических угловых характеристик различных конструкций ЦЛВД, и была выбрана наиболее рациональная конструкция, обеспечивающая максимальное усилие [4, 5]. Результаты были использованы при разработке и создании ЦЛВД в составе ПБЭНА на ПАО «Мотовилихинские заводы». Изготовленные образцы удовлетворяют поставленным требованиям технического задания. В настоящее время опытный образец ЦЛВД длиной 8 метров подготавливается к опытно-промышленным испытаниям.

Выводы

Условия работы и требования, предъявляемые к вновь проектируемому насосам скважинных установок, обуславливают применение новых конструктивных решений, которые направлены на исключение промежуточных звеньев привода. В результате осуществляется приближение электродвигателя к насосу, что обеспечивает ПБЭНА, в сравнении с балансирным станком-качалкой, существенные преимущества.

Одним из основных требований, определяющих эффективность применения новых добычных агрегатов, является общий энергетический КПД. Потери энергии в ЦЛВД происходят в забое скважины, это вызывает нагрев пластовой жидкости непосредственно в предзабойной зоне, что в результате приводит к уменьшению выделений отложений парафина на стенках насосно-компрессорных труб. Это дает дополнительное преимущество ПБЭНА на ряде месторождений, где происходит добыча вязкой нефти, нефти, имеющей высокое содержание парафинов.

В проектируемом добычном агрегате нет жестких ограничений по глубине спуска плунжерного насоса в скважину, которая может составлять 3000 метров и более.

Особенностью проектируемого насосного агрегата ПБЭНА на основе ЦЛВД является возможность работы в периодическом режиме, когда после одного хода возвратно-поступательного движения плунжера может быть длительный период остановки ЦЛВД. Практически такой режим называется частотно-импульсным регулированием. Учитывая небольшое количество перекачиваемой нефти, за один ход плунжера, можно представить такой режим как непрерывный, с малым регулируемым дебитом. Такой режим позволяет получить высокий КПД установки за счет частотно-импульсного регулирования добычи, что рационально в связи с необходимостью поддержания высокого энергетического КПД.

Список литературы

1. Кабиров М.М. Скважинная добыча нефти / М.М. Кабиров, Ш.А. Гафаров. – СПб.: Изд-во Недр, – 2010. – 416 с.
2. Окунева Н.А. Разработка и исследование электропривода для нефтедобывающих насосов с погружным магнитоэлектрическим двигателем: 05.09.03. – Электротехнические комплексы и системы: дис. ... канд. тех. наук / Н.А. Окунева, Моск. энергет. ин-т. – Москва, 2008. – 204 с.
3. Ганджа С.А. Методика инженерного расчета вентильных машин с аксиальным потоком / С.А. Ганджа, А.С. Мартынов // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Энергетика. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2013. – Т. 13, № 2. – С. 85–87.

4. Ключников А.Т. Моделирование цилиндрического линейного вентильного двигателя / А.Т. Ключников, А.Д. Коротаев, С.В. Шугемов // Электротехника. – 2013. – № 11. – С. 14–17.

5. Бурмакин А.М. Низкоскоростной дугостаторный асинхронный двигатель для станков-качалок малodeбитных нефтяных скважин: 05.09.01. – Электрические машины: дис. ... канд. тех. наук / А.М. Бурмакин, Ур. федер. ун-т имени первого Президента России Б.Н. Ельцина. – Екатеринбург, 2011. – 166 с.

References

1. Kabirov M.M., Gafarov Sh.A. Skvazhinnaia dobycha nefti [Downhole oil production]. St. Petersburg, Nedra, 2010, 416.

2. Okuneva N.A. Razrabotka i issledovanie elektroprivoda dlia nefte dobyvaiushchikh nasosov s pogruzhnym magnitoelektricheskim dvigatelom: 05.09.03. - Elektrotekhnicheskie komplekсы i sistemy: Dissertatsiia kandidata tekhnicheskikh nauk [Development and investigation of electric drive for oil-producing pumps with submersible magnetoelectric engine: 05.09.03. - Electrotechnical complexes and systems: the Thesis

of the candidate of technical sciences]. Moscow, Moskovskii energeticheskii institut, 2008, 204.

3. Gandzha S.A., Mart'ianov A.S. Engineer Methodic for Calculation of Axial Gap Electric Machines [Metodika inzhenernogo rascheta ventil'nykh mashin s aksial'nym potokom]. Vestnik Iuzhno-Ural'skogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Energetika. – Bullitin of the South Ural State University Series Power Engineering, 2013, no. 2, pp. 85-87.

4. Kliuchnikov A.T., Korotaev A.D., Shutemov S.V. Modeling of a cylindrical linear valve motor [Modelirovanie tsilindricheskogo lineinogo ventil'nogo dvigatel'ia]. Elektrotekhnika – Russian Electrical Engineering, 2013, no. 11, pp. 14-17.

5. Burmakin A.M. Nizkoskorostnoi dugostatornyi asinkhronnyi dvigatel' dlia stankov-kachalok malodebitnykh neftiannykh skvazhin: 05.09.01. – Elektricheskie mashiny: Dissertatsiia kandidata tekhnicheskikh nauk [Low-speed douche-stator asynchronous motor for rocking machines of low-yield oil wells: 05.09.01. - Electric machines: the Thesis of the candidate of technical sciences]. Ekaterinburg, Ural'skii feder. un-t imeni pervogo Prezidenta Rossii B.N. El'tsina, 2011, 166.

УДК 504.75:628.5(476)

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ОЧИСТКИ ПО ЖЕЛЕЗУ ОБЩЕМУ ПОДЗЕМНЫХ ВОД ИНФИЛЬТРАЦИОННЫХ ВОДОЗАБОРОВ ЮГО-ВОСТОКА БЕЛАРУСИ

¹Макаров Д.В., ¹Валеева Э.Р., ²Вострова Р.Н., ¹Кантор Е.А.

¹ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет»,
Уфа, e-mail: dmitrij.makarov-1990@yandex.ru;

²УО «Белорусский государственный университет транспорта», Гомель, e-mail: vostrova@tut.by

Применены статистические методы анализа временных рядов и построения контрольных карт Шухарта (\bar{X} - и R-карт) для мониторинга показателя железо общее в подземных водах двух инфильтрационных водозаборов (среднесенонманско-маастрихтского карбонатного и туронско-маастрихтского водоносных горизонтов) региона Беларуси. Установлено, что концентрация железа общего в скважинах водозаборов имеет тенденцию к увеличению за счет вымывания пород и минералов моренного и флювиогляциального комплекса ледниковых отложений, однако скорость прироста значений за последние восемь лет снизилась. Вероятно, это связано со стабилизацией работы грунтовых вод в результате долгосрочной эксплуатации водозаборов. Так же отмечена высокая эффективность процесса обезжелезивания (92–94%). Превышения ПДК для питьевой воды носят нерегулярный характер и не должны приводить к существенному увеличению рисков для здоровья. Результаты сезонной декомпозиции подземных и питьевых вод свидетельствуют о том, что значения случайной компоненты после процесса водоподготовки увеличиваются, а тренд-циклической – уменьшаются; сезонная компонента вносит незначительный вклад в формирование концентрации железа общего. Превалирование случайной компоненты, скорее всего обусловлено нестабильностью процессов обезжелезивания. Построением контрольных карт Шухарта (\bar{X} - и R-карт) установлено, что количество скважин, железо общее в которых находится в статистически управляемом и статистически неуправляемом состоянии, изменяется, что, вероятно, связано с изменением интенсивности эксплуатации скважин. В целом использование методов математической статистики (в частности, построения контрольных карт \bar{X} - и R-карт Шухарта) оказалось высокоинформативным для оценки эффективности подземных вод, по показателю железо общее.

Ключевые слова: подземные воды, железо общее, контрольные карты Шухарта, инфильтрационный водозабор, эффективность очистки

EVALUATION OF EFFICIENCY OF PURIFICATION ON THE IRON OF GENERAL UNDERGROUND WATER OF INFLATERAL WATER RESERVOIRS OF THE SOUTH-EAST OF BELARUS

¹Makarov D.V., ¹Valeeva E.R., ²Vostrova R.N., ¹Kantor E.A.

¹Ufa State Petroleum Technological University, Ufa, e-mail: dmitrij.makarov-1990@yandex.ru;

²Belarusian State University of Transport, Gomel, e-mail: vostrova@tut.by

Statistical methods for analyzing time series and constructing Shewhart control charts (\bar{X} - and R maps) for monitoring iron total in underground waters of two infiltrational water intakes (middle-mesinian-maastrichtian carbonate and turonian-maastricht aquifers) of the region of Belarus are used. It has been established that the concentration of iron in the water wells common in wells tends to increase due to the washing out of rocks and minerals of the moraine and fluvioglacial complex of glacial deposits, however, the rate of increase in values over the last eight years has decreased. This is probably due to the stabilization of groundwater operation as a result of long-term operation of water intakes. Also, the high efficiency of the deironing process was noted (92-94%). Excess of MPC for drinking water is irregular and should not lead to a significant increase in health risks. The results of the seasonal decomposition of groundwater and drinking water indicate that the values of the random component, after the water treatment process, increase, and the trend-cyclic decreases; the seasonal component makes an insignificant contribution to the formation of total iron concentration. The prevalence of the random component is most likely due to the instability of deironing processes. The construction of Shewhart's control charts (\bar{X} - and R-charts) established that the number of iron wells in general is in a statistically controllable and statistically uncontrolled state that is likely to be associated with a change in the intensity of well operation. In general, the use of methods of mathematical statistics (in particular, the construction of control charts \bar{X} - and R-cards of Shewhart) turned out to be highly informative for assessing the effectiveness of groundwater, iron is a common indicator.

Keywords: underground waters, general iron, control cards Shewhart, infiltration water intake, cleaning efficiency

Республика Беларусь обладает значительными запасами подземных вод, однако примерно на 70% скважинах отмечается превышение предельно допустимой концентрации (ПДК) для питьевой воды по показателю железо общее, которое составляет 0,3 мг/дм³ [1]. Особенно актуальна эта

проблема для территории Полесья, где превышение наблюдается на 90% скважин [2].

Железо – это важнейший элемент, принимающий участие в кроветворении, дыхании, окислительно-восстановительных реакциях и иммунобиологических процессах. Чрезвычайно важная роль в организме

человека определяется тем, что железо входит в состав крови и более чем сотни ферментов [3, 4]. Ежедневная норма потребления железа составляет около 20–25 мг [5]. Однако избыток этого элемента негативно сказывается на здоровье человека и может стать причиной нарушения функции печени, зуда, шелушения и сухости кожи, болезней кровеносной системы, диабета, атеросклероза [6–8].

Железо общее – показатель качества воды, характеризующий суммарное содержание железа во всех его формах. Железо является самым распространенным из всех d-элементов в земной коре (четвертое место среди всех элементов), распространено во многих породах и встречается почти во всех типах почв, поверхностных и подземных водах [9]. В больших количествах присутствует в различных глинах, в осадочных породах встречается только в виде незначительных примесей. Известно около 300 минералов, содержащих этот металл.

Цель исследования: анализ изменения содержания железа общего в исходной и питьевой воде и оценка эффективности очистки исходной воды по этому показателю на инфильтрационных водозаборах (ИВ1, ИВ2) юго-восточной части Республики Беларусь.

Материалы и методы исследования

Исходными данными послужили ежеквартально определяемые концентрации железа общего в воде 52-х скважин до и после процесса водоподготовки, за периоды времени с 2001 по 2016 гг. и с 2004 по 2016 гг., для ИВ1 и ИВ2 соответственно [10].

Скважины на ИВ1 обеспечиваются водой преимущественно из среднесеноманско-маастрихтского карбонатного водоносного горизонта, а на ИВ2 – туронско-маастрихтского водоносного горизонта. В настоящее время на ИВ1 эксплуатируются 40 скважин, на ИВ2 – 12.

Нами сформированы временные ряды концентрации железа общего в воде из скважин до процесса водоподготовки на ИВ1 и ИВ2. Определены уравнения линейных трендов.

Эффективность очистки по железу общему определена по формуле

$$\Theta = \frac{C_{\text{исх.}} - C_{\text{пит.}}}{C_{\text{исх.}}} \cdot 100\%, \quad (1)$$

где $C_{\text{исх.}}$ – концентрация железа общего в исходной воде, мг/дм³,

$C_{\text{пит.}}$ – концентрация железа общего в питьевой воде, мг/дм³.

С целью обеспечения требуемого качества воды [8], на ИВ1 и ИВ2 предусмотрено обезжелезивание методом упрощенной аэрации на скорых фильтрах с загрузкой из кварцевого песка. Контролю подлежит качество воды на входе на скорые фильтры и в резервуарах чистой воды.

С целью определения вклада детерминированной и случайной компоненты временных рядов концентраций по железу общему в исходной и питьевой воде на ИВ1 и ИВ2, проведена сезонная декомпозиция. Декомпозиция выполнялась по аддитивной математической модели

$$F = T + S + E, \quad (2)$$

где T – тренд-циклическая компонента, S – сезонная компонента, E – случайная компонента.

Для оценки изменения концентрации железа на скважинах ИВ1 и ИВ2 были построены \bar{X} и R-карты Шухарта. Для оценки тенденции изменения содержания железа временные ряды разбивались на три временных интервала (для ИВ1: 2001–2005, 2006–2010, 2010–2016 гг.; для ИВ2: 2004–2008, 2008–2012, 2012–2016 гг.). Построение контрольных карт (КК) проводилось в программе Statistica 10.0. Для построения \bar{X} карт собирались однородные выборки с определенным количеством измерений. В качестве выборок были рассмотрены концентрации железа общего для скважин ИВ1 с 2001 по 2016 гг. (по 20 значений), а для скважин ИВ2 с 2004 по 2016 гг. (по 16 значений). Для каждой выборки определялись выборочные средние \bar{X} , которые наносились на карту. В последующем на карту наносились контрольные границы, на расстоянии три среднеквадратических отклонения выборочных средних значений генеральной совокупности σ . Для построения R-карты по каждой выборке вычислялись размах, равный разности максимального и минимального значения выборки. Результаты вычислений наносились на карту, определенными для нее контрольными границами. Непопадание точек в контрольные границы, свидетельствовало о том, что процесс находился в статистически неуправляемом состоянии.

Формулы определения контрольных пределов карт Шухарта представлены ниже. Верхний контрольный предел для \bar{X} -карты:

$$B_x = \bar{\bar{X}} + A_2 \cdot \bar{R}, \quad (3)$$

где $\bar{\bar{X}}$ – среднее значение для всех выборок,

A_2 – коэффициент для вычисления контрольных границ (табл. 2) [11].

Нижний контрольный предел для \bar{X} -карты:

$$H_x = \bar{\bar{X}} + A_2 \cdot \bar{R}, \quad (4)$$

где $\bar{\bar{X}}$ – среднее значение для всех выборок, A_2 – коэффициент для вычисления контрольных границ (табл. 2) [11].

Верхний контрольный предел для R-карты:

$$B_r = D_4 \cdot \bar{R}, \quad (5)$$

где D_4 – коэффициент для вычисления контрольных границ (табл. 2) [11].

Нижний контрольный предел для R-карты:

$$H_r = D_3 \cdot \bar{R}, \quad (6)$$

где D_3 – коэффициент для вычисления контрольных границ (табл. 2) [11].

Результаты исследования и их обсуждение

За весь период наблюдения на ИВ 1 значения концентрации железа общего находятся в пределах от 3,1 до 18 ПДК (ПДК составляет 0,3 мг/дм³ [12] (рис. 1)). В воде из 70 % скважин среднее значение содержания железа общего за весь период наблюдения составляет менее 3 мг/дм³. Превышение ПДК с 2001 по 2016 гг. зафиксировано на 29 скважинах. Большинство показаний находятся в интервале от 1 мг/дм³ до 7 мг/дм³; 41 раз зафиксирована концентрация больше 6 мг/дм³, а 13 раз – больше 8 мг/дм³. Для оценки тенденции в изменении содержания железа общего в скважинной воде временной ряд разбит на 2 временных интервала: с 2001 г. по 2008 г. и с 2009 г. по 2016 г. Судя по изменению линии тренда, среднее значение концентрации по железу общему за первый и второй временной период в исходной воде увеличилось на 0,5 и 0,1 мг/дм³ соответственно.

Концентрация железа общего в исходной воде на ИВ 2 находится в пределах 9÷13 ПДК (ПДК составляет 0,3 мг/дм³ [12]) (рис. 1). Превышение ПДК наблюдается на всех скважинах. Наиболее часто концентрация железа общего находится в интервале 0,5÷5,5 мг/дм³; 18 раз концентрация превысила 5,5 мг/дм³, а 6 раз – 7 мг/дм³. Для оценки тенденции в изменении содержания данного показателя, временной ряд разбит на 2 интервала: 2004–2008 гг. и 2008–2016 гг. Судя по изменению линии тренда, среднее значение концентрации железа за первый временной интервал увеличилось на 0,9 мг/дм³,

а на втором временном интервале уменьшилось на 0,6 мг/дм³.

Таким образом, на первых временных интервалах (2001–2008 гг. для ИВ 1 и 2004–2008 гг. для ИВ 2) отмечается рост содержания железа общего, в то время как на вторых временных интервалах (2009–2016 гг. для ИВ 1 и 2009–2016 гг. для ИВ 2) концентрация железа общего изменяется незначительно. Вероятно, долгосрочная эксплуатация ИВ 1 и ИВ 2 привела к некоторой стабилизации скорости прироста концентрации железа общего в скважинной воде. То есть несмотря на то, что концентрация данного соединения в подземной воде остается на достаточно высоком уровне, дальнейшего значимого его увеличения не ожидается. В целом среднее значение концентрации железа на ИВ 2 на 29% меньше, чем на ИВ 1 (2,5 мг/дм³ для ИВ 2 и 3,2 мг/дм³ для ИВ 1).

Среднее многолетнее значение содержания железа общего в воде до и после обезжелезивания на ИВ 1 на первом временном интервале составляет 2,8 мг/дм³ и 0,1 мг/дм³, на втором временном интервале – 3 мг/дм³ и 0,2 мг/дм³ соответственно (рис. 2). Эффективность очистки с 2001 г. по 2008 г. составляет 81,2–100% и в среднем – 94,0%, с 2009 по 2016 г. составляет 78,5–97% и в среднем – 92,8%. Превышение ПДК по железу в питьевой воде ИВ 1 с 2001 по 2016 гг. отмечено 4 раза (один раз в 2011 г., три раза в 2014 г.).

Среднее многолетнее значение содержания железа общего в воде до и после обезжелезивания на ИВ 2 на первом временном интервале составляет 2,7 мг/дм³ и 0,2 мг/дм³, на втором временном интервале – 3,5 мг/дм³ и 0,2 мг/дм³ соответственно (рис. 2). Эффективность очистки с 2004 г. по 2008 г. составляет 75,9–97,2% и в среднем – 92,6%, с 2009 по 2016 г. составляет 90,1–97,1% и в среднем – 93,6%. Превышение ПДК за исследуемый период отмечается 2 раза (по одному разу в 2004 и 2013 гг.).

Таким образом, на ИВ 1 на первом временном интервале (2001–2008 гг.) по сравнению со вторым временным интервалом (2008–2016 гг.) наблюдается снижение средней эффективности на 1,2%, а на ИВ 2 на втором временном интервале (2009–2016 гг.) по сравнению с первым временным интервалом (2004–2008 гг.) наблюдается увеличение средней эффективности на 1%.

Для выявления вкладов трендциклической, сезонной и случайной компоненты в значения ряда содержания железа общего в исходной и питьевой воде на ИВ 1 и ИВ 2 проведена сезонная декомпозиция.

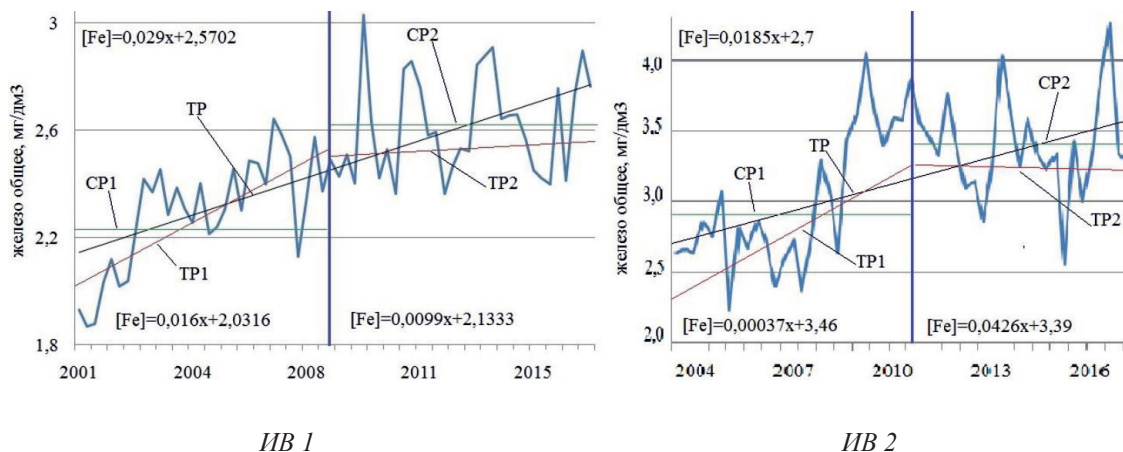


Рис. 1. Изменения содержания железа общего в воде до процесса обезжелезивания на ИВ 1 в 2001–2016 гг. и на ИВ 2 в 2004–2016 гг. Примечания: $[Fe]$ – концентрация железа общего, mg/dm^3 , x – номер измерения. $CP1$, $CP2$ – среднее значение содержания железа общего за первый, второй временной интервал соответственно, TP , $TP1$, $TP2$ – линии трендов всего временного ряда, первого и второго временного интервала

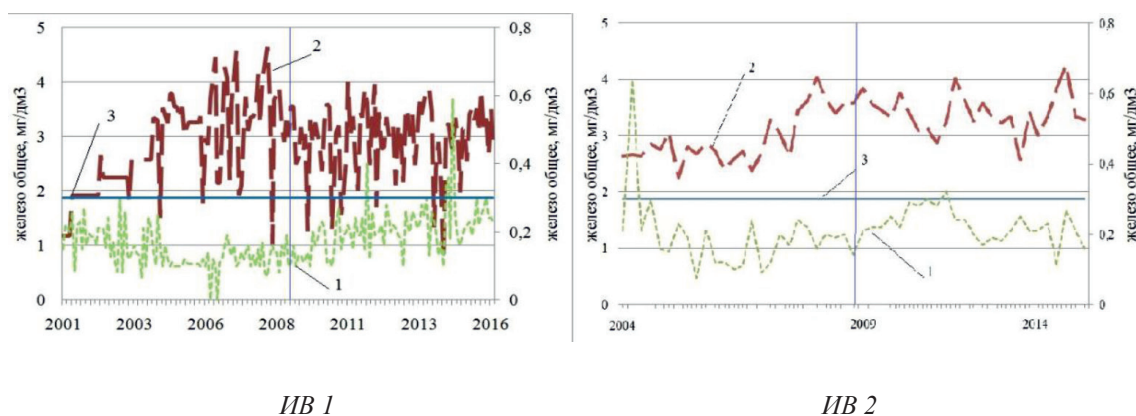


Рис. 2. Изменение концентрации железа общего на ИВ 1 в 2001–2016 гг. и на ИВ 2 в 2004–2016 гг. Примечания: 1 – изменение концентрации железа в питьевой воде ИВ 1, 2 – в исходной воде, 3 – величина ПДК [1]

Значение вклада компонент в изменение показаний по железу общему на ИВ 1 и ИВ 2

Железо общее	ИВ 1			ИВ 2		
	Вклад компоненты, %					
	Тенденция	Сезонная	Случайная	Тенденция	Сезонная	Случайная
В исходной воде	51,96	0,93	47,11	43,29	2,93	53,78
В питьевой воде	25,74	1,25	73,02	0,33	6,50	93,18

Значения случайной компоненты после процесса водоподготовки увеличиваются, а тренд-циклической уменьшаются; сезонная компонента вносит незначительный вклад в формирование концентрации железа общего (таблица). Фактор случайности вносит наибольший вклад в формирование

концентрации железа общего в очищенной воде, что, возможно, связано с нестабильностью процесса обезжелезивания.

С целью оценки изменения содержания железа общего в воде из скважин ИВ 1 и ИВ 2 были построены и проанализированы \bar{X} и R-карты Шухарта (рис. 3). Пример

построения \bar{X} и R-карты Шухарта на содержание железа общего в скважинах ИВ 1 за 2001–2006 гг. представлен на рис. 4.

В результате анализа изменения \bar{X} и R-карт Шухарта выявлено отсутствие тенденций в разбросе концентрации железа общего в скважинной воде ИВ 1 (рис. 3). На 7 скважинах (№ 138, 139, 142, 147, 153, 154, 162) содержание по железу общему в течение всего периода наблюдения находится в статистически управляемом состоянии, на одной скважине (№ 166) – в статистически неуправляемом. На ИВ 2 наблюдается рост числа скважин, концентрация железа общего в воде которых находится в статистически управляемом состоянии (рис. 3). На 3 скважинах (№ 2, 5, 10) величина данного показателя в исходной воде находится в статистически управляемом состоянии. Учитывая тенденцию к увеличению концентрации железа общего в воде из скважин

на ИВ 2 и количества скважин находящихся в статистически управляемом состоянии, можно предположить увеличение вымывания пород и минералов моренного и флювиогляциального комплекса ледниковых отложений [12]. В целом количество скважин, концентрация железа общего в воде из которых находится в статистически управляемом и статистически неуправляемом состоянии, изменяется, что может быть связано с изменением интенсивности эксплуатации (дебита) скважин.

Выводы

1. Использование методов математической статистики, в частности метода анализа временных рядов и карт Шухарта, оказалось высокоинформативным для оценки эффективности очистки подземных вод по показателю железа общего на инфильтрационных водозаборах.

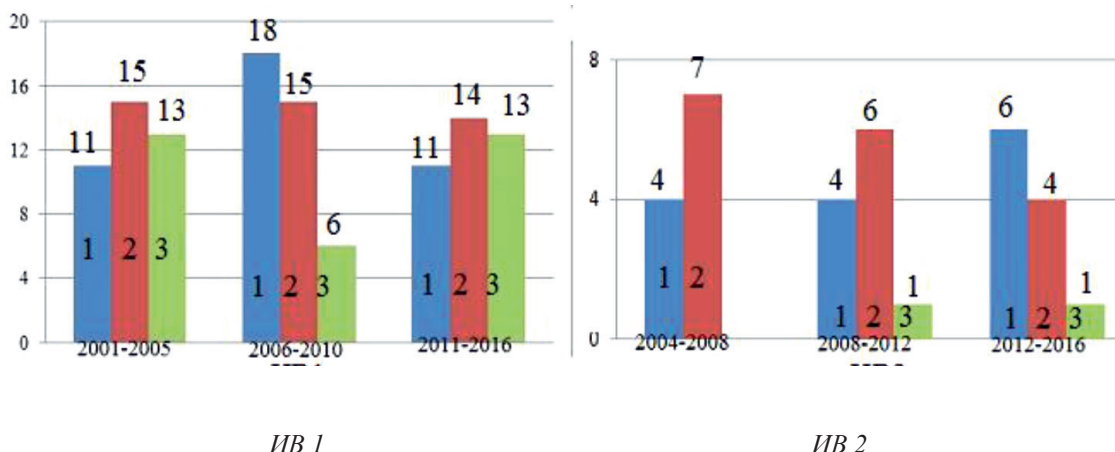


Рис. 3. Количество скважин, в воде которых концентрация железа общего находится в статистически управляемом и неуправляемом состоянии в различные периоды. Примечания: 1 – в статистически управляемом состоянии, 2 – в статистически неуправляемом и в статистически неуправляемом, 3 – в статистически неуправляемом

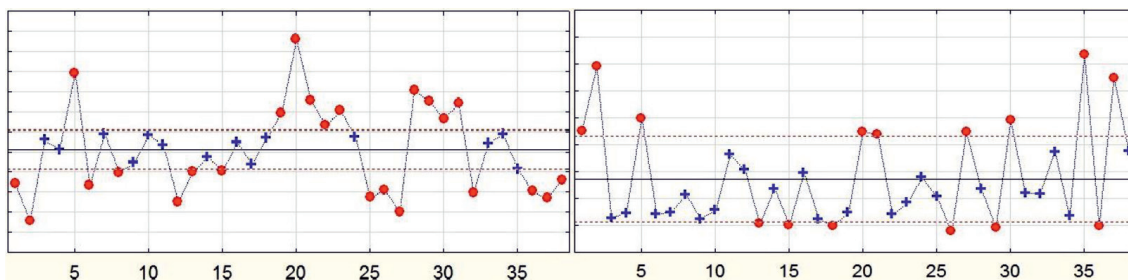


Рис. 4. Контрольные карты Шухарта (\bar{X} -R карты) на содержание железа общего в скважинах ИВ 1 за 2001–2006 гг.

2. Выявлено, что, несмотря на то, что концентрация данного соединения в подземной воде обоих водозаборов достаточно высокая и имеет некоторую тенденцию к увеличению за счет вымывания подземных пород, скорость прироста значений концентраций при этом за последние восемь лет снизилась. Последнее обусловлено стабилизацией работы грунтов при долгосрочной эксплуатации рассматриваемых в работе водозаборов. Полученные выводы подтверждаются увеличением числа скважин, находящихся в статистически управляемом состоянии.

3. При декомпозиции временного ряда содержания железа общего в питьевой воде обоих водозаборов выявлено превалирование вклада случайной составляющей, что скорее всего обусловлено нестабильностью процесса обезжелезивания. Однако при этом эффективность очистки питьевой воды остается достаточно высокой на уровне 92–94% и превышения ПДК для питьевой воды носят эпизодический характер, что согласно [13] не должно приводить к существенному увеличению рисков для здоровья населения.

Список литературы

1. СанПиН 10-124 РБ 99 Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества. – Минск: Минздрав РБ, 1999. – 48 с.
2. Карпук В.В. Состояние подземных вод и система мониторинга в Республике Беларусь // Международное сотрудничество в решении водно-экологических проблем: тезисы докл. между. конф. (Минск, 12–13 окт. 2010 г.) – Минск, 2008. – С. 36.
3. Пудовкин Н.А. Обмен железа в организме поросят и пути его коррекции / Н.А. Пудовкин, Т.В. Гарипов, П.В. Смутнев // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2015. – № 2. – С. 49–53.
4. Клинская Е.О. Железо в источниках питьевых вод Еврейской автономной области как возможный фактор риска повышенной заболеваемости населения / Е.О. Клинская, А.А. Пьяников, Д.Г. Бондарева // Региональные проблемы. – 2009. – № 11. – С. 59–62.
5. Цветаева Н.В. Основы регуляции обмена железа / Н.В. Цветаева, А.А. Левина, Ю.И. Мамукова // Клиническая онкогематология. Фундаментальные исследования и клиническая практика. – 2010. – Т. 3, № 3. – С. 278–283.
6. Семенова К.В. Ферросодержащие соединения в организме человека и их свойства / К.В. Семенова, А.В. Бердников // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия: познание. – 2013. – Т. 17, № 2. – С. 13–16.
7. Прищик С.А. Влияние качества питьевой воды на здоровье человека // Международное сотрудничество в решении водно-экологических проблем: тезисы докл. между. конф. (Минск, 12–13 окт. 2010 г.) – Минск, 2008. – С. 216.
8. Григорьев Ю.И. Оценка риска загрязнения питьевой воды для здоровья детей Тульской области / Ю.И. Григорьев, Н.В. Ляпина // Гигиена и санитария. – № 3. – С. 36–38.
9. Галимова А.Р. Поступление, содержание и воздействие высоких концентраций металлов в питьевой воде на организм / А.Р. Галимова, Ю.А. Тунакова // Вестник Казанского технологического университета. – 2013. – Т. 16, № 20. – С. 165–169.
10. СТБ 1188-99 Вода питьевая. Общие требования к организации и методам контроля качества. – Минск: Госстандарт, 2000. – 19 с.
11. ГОСТ Р 50779.42-99 Статистические методы. Контрольные карты Шухарта. – М.: Изд-во стандартов, 2004. – 31 с.
12. Постановление об утверждении Санитарных норм и правил «Санитарно-эпидемиологические требования к охране подземных водных объектов, используемых в питьевом водоснабжении от загрязнений». – Минск: Госстандарт, 2015. – 16 с.
13. Кудельский А.В. Пресные подземные воды как основной источник питьевого водоснабжения в Республике Беларусь: ресурсы, качество, проблемы водопользования // Материалы 4-го Международного водного форума «Международное сотрудничество в решении водно-экологических проблем». – 2010. – С. 25.

References

1. SanPiN 10-124 RB 99 Pitevaja voda. Gigienicheskie trebovanija k kachestvu vody centralizovannyh sistem pitevogo vododnabzhenija. Kontrol kachestva. Minsk: Minzdrav RB, 1999. 48 p.
2. Karpuk V.V. Sostojanie podzemnyh vod i sistema monitoringa v Respublike Belarus // Mezhdunarodnoe sotrudnichestvo v reshenii vodno-jekologicheskikh problem: tezisy dokl. mezhd. konf. (Minsk, 12–13 okt. 2010g.) Minsk, 2008. pp. 36.
3. Pudovkin N.A. Obmen zheleza v organizme porosjat i puti ego korrekcii / N.A. Pudovkin, T.V. Garipov, P.V. Smutnev // Vestnik Altajskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2015. no. 2. pp. 49–53.
4. Klinskaja E.O. Zhelezo v istochnikah pitevyh vod Evrejskoj avtonomnoj oblasti kak vozmozhnyj faktor riska povshennoj zabolevaemosti naselenija / E.O. Klinskaja, A.A. Pjanikov, D.G. Bondareva // Regionalnye problemy. 2009. no. 11. pp. 59–62.
5. Cvetaeva N.V. Osnovy reguljacji obmena zheleza / N.V. Cvetaeva, A.A. Levina, Ju.I. Mamukova // Klinicheskaja onkogematologija. Fundamentalnye issledovanija i klinicheskaja praktika. 2010. T. 3, no. 3. pp. 278–283.
6. Semenova K.V. Ferrosoderzhashhie soedinenija v organizme cheloveka i ih svojstva / K.V. Semenova, A.V. Berdnikov // Sovremennaja nauka: aktualnye problemy teorii i praktiki. Serija: poznanie. 2013. T.17, no. 2. pp. 13–16.
7. Prishhik S.A. Vlijanie kachestva pitevoj vody na zdorove cheloveka // Mezhdunarodnoe sotrudnichestvo v reshenii vodno-jekologicheskikh problem: tezisy dokl. Mezhd. konf. (Minsk, 12–13 okt. 2010g.) Minsk, 2008. pp. 216.
8. Grigorev Ju.I. Ocenka riska zagrjaznenija pitevoj vody dlja zdorovja detej Tul'skoj oblasti / Ju.I. Grigorev, N.V. Ljapina // Gigiena i sanitarija. no. 3. pp. 36–38.
9. Galimova A.R. Postuplenie, sodержanie i vozdejstvie vysokih koncentracij metallov v pitevoj vode na organizm / A.R. Galimova, Ju.A. Tunakova // Vestnik Kazanskogo tehnologicheskogo universiteta. 2013. T. 16, no. 20. pp. 165–169.
10. STB 1188-99 Voda pitevaja. Obshhie trebovanija k organizacii i metodam kontrolja kachestva. Minsk: Gosstandart, 2000. 19 p.
11. GOST R50779.42-99 Statisticheskie metody. Kontrolnye karty Shuharta. M.: Izd-vo standartov, 2004. 31 p.
12. Postanovlenie ob utverzhdenii Sanitarnyh norm i pravil «Sanitarно-jepidemiologicheskie trebovanija k ohrane podzemnyh vodnyh obektov, ispolzuemyh v pitevom vododnabzhenii ot zagrjaznenij». Minsk: Gosstandart, 2015. 16 p.
13. Kudelskij A.V. Presnye podzemnye vody kak osnovnoj istochnik pitevogo vododnabzhenija v Respublike Belarus: resursy, kachestvo, problemy vodopolzovanija // Materialy 4-go Mezhdunarodnogo vodnogo foruma «Mezhdunarodnoe sotrudnichestvo v reshenii vodno-jekologicheskikh problem». 2010. pp. 25.

УДК 551.89:551.799(571.642)

СЛЕДЫ ПОХОЛОДАНИЙ НА ЮГЕ САХАЛИНА В ПОЗДНЕЛЕДНИКОВЬЕ И АТЛАНТИЧЕСКОМ ПЕРИОДЕ ГОЛОЦЕНА**Микишин Ю.А., Гвоздева И.Г.***Дальневосточный геологический институт ДВО РАН, Владивосток, e-mail: yurimikishin@fegi.ru*

Палинологическое и радиоуглеродное изучение трёх разрезов рыхлых отложений Сусунайской депрессии дало возможность уточнить характер и хронологию палеоклиматических минимумов на юге Сахалина в позднеледниковье и атлантическом периоде голоцена. Наиболее холодные и сухие климатические условия, наступившие около 15000 календарных л.н., соответствовали позднеледниковой стадии ранний дриас в Северной Европе. Они зафиксированы спорово-пыльцевыми спектрами озёрных отложений центральной части Сусунайской депрессии. Спектры отразили распространение лесотундры на юге острова, занимавшей не только депрессию, но и прилегающие к ней склоны гор. В растительном покрове преобладали заросли кустарниковых берёз, в меньшей степени ольховника и кедрового стланика. Лиственница и высокоствольные берёзы встречались редко. Относительное похолодание начала среднего атлантика, около 7800 л.н., имело параметры, близкие к современному климату. Оно привело к смене теплолюбивой широколиственной растительности, господствовавшей во вторую половину ранней фазы атлантического периода голоцена, южно-таёжной тёмнохвойной, с преобладанием пихтово-еловых лесов и примесью широколиственных деревьев. Похолодание начала позднего атлантика, около 6900 л.н., с более сухим климатом, чем современный, вызвало распространение мелколиственных лесов с участием широколиственных пород. Относительное похолодание середины позднего атлантика, около 6300–6100 л.н., отличалось переменной влажностью климата. Более сухое начало события определило развитие смешанных лесов. В среднюю фазу похолодания, около 6200 л.н., усиление влажности климата предоставило пихтово-еловым лесам с участием широколиственных пород ведущую роль в растительности южного Сахалина. На завершающем моменте похолодания, из-за очередного снижения влажности климата, распространились мелколиственные леса.

Ключевые слова: позднеледниковье, атлантический период голоцена, коротко-периодичные похолодания, спорово-пыльцевой комплекс, палеоландшафт, палеоклимат, Сусунайская депрессия

TRACES OF COOLING IN THE SOUTHERN SAKHALIN IN THE LATE-GLACIAL AND ATLANTIC PERIOD OF HOLOCENE**Mikishin Yu.A., Gvozdeva I.G.***Far East Geological Institute Far Eastern Branch RAS, Vladivostok, e-mail: yurimikishin@fegi.ru*

Palynological and radiocarbon studies of three sections of mellow sediments in the Susunaiskaya depression made it possible to clarify the nature and chronology of paleoclimatic minima in southern Sakhalin Island in the Late Glacial and Atlantic Period of Holocene. The coldest and driest climatic conditions, which came about 15,000 Cal. yr. BP, corresponded to the Late Glacial stage of the «Oldest Dryas» in northern Europe. They are revealed by the pollen spectra in lacustrine sediments from in the central part of the depression. The spectra reflected the distribution of forest-tundra in the south of the island, which occupied not only the Susunaiskaya depression, but also the slopes mountain ranges adjoining it. The vegetation cover was dominated by thickets of frigid shrubs with domination of dwarf birches to a lesser degree of bush alder (*Alnaster*) and pine (*Pinus pumila*). Larch and high-birch trees were rare. The relative cooling at the beginning of the Middle Atlantic Period, about 7,800 Cal. yr. BP, had parameters close to the modern climate. It led to a change in the warm-requiring broad-leaved vegetation that prevailed in the second half of the Early Atlantic Period of Holocene, a southern-taiga dark coniferous forest with a predominance of fir-spruce forests and an admixture of broad-leaved trees. The cold beginning of the Late Atlantic Period, about 6,900 Cal. yr. BP, due to more dry conditions, caused the spread of small-leaved forests with broad-leaved species. The relative cooling in the middle of the Late Atlantic Period, about 6,300–6,100 Cal. yr. BP, had a temperature background close to the modern and a changeable humidity. Its early phase of event was somewhat drier than the current conditions, determining the development of mixed forests. The middle phase, about 6,200 Cal. yr. BP, is characterized by high humidity, which was provided a leading role of fir-spruce forests with broad-leaved species in the vegetation of the south Sakhalin. The late phase of cooling was much drier than the present time and led to the spread of small-leaved forests.

Keywords: Late-glacial, Atlantic Period of Holocene, short-term cooling, pollen assemblage, paleolandscape, paleoclimate, Susunaiskaya depression

Климат Земли, особенно в северном полушарии, в течение позднего ледниковья и голоцена отличался чередованием холодных и тёплых короткопериодичных интервалов, происходивших на фоне глобального потепления [1]. Для позднего ледниковья Сахалина прежними исследованиями установлены две холодные палеоклиматические фазы раннего и позднего дриаса. Первая из

них, имевшая климат холоднее и суше современного, определила распространение кустарниковой лесотундры с преобладанием ольховника и кустарниковых, реже высокоствольных, берёз, на западном побережье средней части острова около 13000 радиоуглеродных лет назад (далее л.н.) / 16000 календарных л.н. (далее к.л.н.) [2]. Вторая, поздняя фаза холодных и сухих ледниковых

условий привела к очередному господству в растительном покрове острова зарослей фригидных кустарников, в меньшей степени лиственничных и берёзовых лесов. Она обнаружена в придонных горизонтах древних торфяников на восточном побережье среднего Сахалина, имеющих возраст около 10290–10200 л.н. / 12100–11900 к.л.н. [3]. Относимые к этой же климатической фазе отложения на северо-западе острова [4] содержат пыльцевые спектры, отражающие распространение берёзово-лиственничных лесов с участием тёмнохвойных пород, что не позволяет связывать их с суровыми климатическими условиями. Радиоуглеродное датирование также противоречит отнесению их к позднеледниковью, указывая на раннеголоценовый возраст события – около 10000–9500 л.н. / 11500–10800 к.л.н.

Похолодания, отмеченные на юге Сахалина в атлантическом периоде голоцена (около 5900 л.н. / 6800 к.л.н., 5600 л.н. / 6400 к.л.н., 5100 л.н. / 5800 к.л.н., 4700 л.н. / 5500 к.л.н.), носили относительный характер, так как имели термический режим не ниже современного уровня [5, 6]. Они определяли периодические экспансии преимущественно тёмнохвойной растительности, вытеснявшей широколиственные леса, господствовавшие на юге острова большую часть периода. Новые результаты изучения отложений Сусунайской депрессии, проведённые в последние годы, позволили существенно дополнить имевшуюся картину разномасштабных похолоданий климата, неоднократно наступавших на юге Сахалина как в позднеледниковье, так и в атлантическом периоде голоцена.

Целью данного исследования послужило уточнение хронологии и изменений палеосреды южного Сахалина во время коротко-периодических похолоданий климата в позднеледниковье и атлантическом периоде голоцена.

Материалы и методы исследования

Проведено исследование трех разрезов рыхлых отложений Сусунайской депрессии, лежащей на юге о. Сахалин (рис. 1). Спорно-пыльцевым анализом изучено 38 образцов, 13 из которых были хорошо насыщены пыльцой и спорами, 3 – низкое количество их зёрен, недостаточное для оценки участия таксонов, и 22 – почти не содержали микрофоссилий. Обработка проб выполнялась по стандартной методике, с двукратным обогащением в тяжёлой калиево-кадмиевой жидкости. В каждом образце насчитывалось

300–500 зёрен пыльцы и спор, из которых не менее 250 принадлежит древесным растениям. В общем составе спорно-пыльцевых спектров участие групп пыльцы деревьев и кустарников, фригидных кустарников (кедровый стланик, ольховник и кустарниковые берёзы), трав и кустарничков, а также спор устанавливалось от всего количества обнаруженных микрофоссилий. Содержание компонентов спектра подсчитывалось отдельно в группах пыльцы древесных пород (в том числе и фригидных кустарников), пыльцы трав и кустарничков, и спор. Реконструкция палеорастительности выполнялась на базе данных по субфоссильным спорно-пыльцевым спектрам Сахалина [7]. Абсолютный возраст отложений определялся в лаборатории палеоклиматологии кайнозоя института геологии и минералогии СО РАН, где было получено 6 радиоуглеродных датировок. Калибровка (приведение к календарному возрасту) радиоуглеродных дат проводилась в программе CALPAL2007_HULU [8]. Стратиграфическое расчленение позднеледниковых отложений проведено в соответствии с зональной стратиграфической схемой Северной Европы [9], голоценовых – со схемой Блитта – Сернандера, модифицированной для Северной Евразии [10].

Рельеф Сусунайской депрессии складывается из аккумулятивных равнин и террас. Центральную часть занимает озёрная равнина, лежащая на абсолютных отметках 50–60 м и не поднимающаяся над руслами рек выше 4 м. Формирование равнины отнесено к эпохе последнего оледенения [11]. Вдоль русла р. Сусуи развиты средне-позднеголоценовые аллювиальные террасы, относительной высотой от 3–5 до 7 м. Краевые, приморские части депрессии, сложены морскими и аллювиально-морскими аккумулятивными террасами высотой от 1 до 7–8 м [5].

Растительность Сусунайской депрессии, особенно в центральной части, почти полностью лишена естественного облика. Здесь доминируют сельхозугодия, местами с суходольными и низинными лугами. Вдоль русел рек Сусуя и её притоков развиты ольхово-ивовые заросли. Заболоченные краевые зоны на юге и севере впадины заняты лиственничными марями. Горные склоны прилегающих к депрессии хребтов покрыты каменно-берёзовыми травяно-кустарниковыми лесами (Сусунайский) и вейниковыми сообществами, сформировавшимися на месте сведённой тёмнохвой-

ной растительности (Южно-Камышовый), сохранившейся лишь на юге последнего, где представлена пихтово-еловыми лесами с участием широколиственных пород [7].

Климат относится к умеренному муссонному, с достаточно холодной зимой для столь южного положения территории и прохладным туманным летом. По данным ГМС

«Южно-Сахалинск» и «Долинск», средняя температура воздуха самого холодного месяца – января – равняется $-13,7$ – $-13,5^{\circ}$, самого тёплого – августа – $16,9^{\circ}$, среднегодовая – $2,2^{\circ}$. Сумма выпадающих осадков изменяется от 822 до 1000 мм. Большая их часть, 560–650 мм, выпадает в тёплый период года, с апреля по октябрь [7].

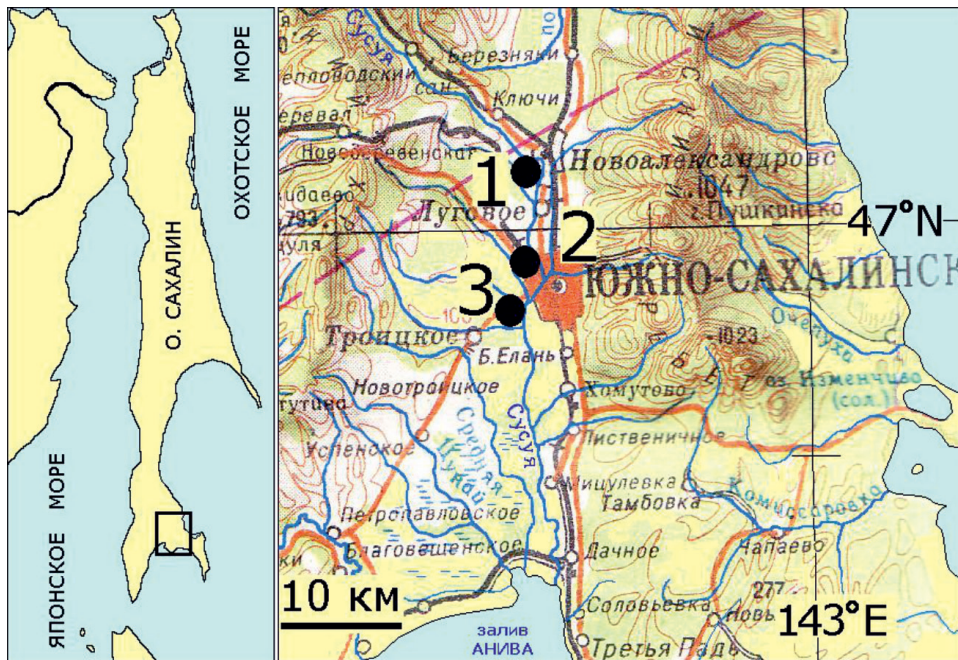


Рис. 1. Схема расположения изученных разрезов отложений Сусунайской депрессии: 1 – «Сусуя – Ключи», 2 – «Сусуя – Дальнее», 3 – «Сусуя – Владимировка»



Рис. 2. Обнажение отложений озерной равнины в разрезе «Сусуя – Ключи». Справа сверху крупным планом – горизонт погребённого торфа в интервале 137–144 см, перекрытый аллювием

Результаты исследования и их обсуждение

1. Разрез «Сусуя – Ключи» расположен северо-западнее пос. Новоалександровск, на правом берегу р. Сусуя (рис. 1). Здесь, в 240 м ниже моста, расчищено обнажение отложений озёрной равнины (рис. 2). Сверху вниз в разрезе вскрываются следующие отложения, в см:

- 0–4 – Дерновый горизонт луговой почвы;
- 4–40 – Супесь с галькой до 10–15%, серовато-жёлтого цвета;
- 40–118 – Песок мелкозернистый, пылеватый, серовато-жёлтого цвета;
- 118–124 – Галечник из мелкой и средней гальки с песчаным заполнителем желтовато-серого цвета;
- 124–137 – Супесь серого цвета, ожелезнённая;
- 137–144 – Торф буровато-чёрного цвета, сильно разложившийся;
- 144–155 – Глина серовато-бурого цвета тугопластичной консистенции, ожелезнённая;
- 155–167 – Глина охристого цвета, тугопластичной консистенции;
- 167–234 – Глина светло-серого цвета, тугопластичной консистенции, сильно ожелезнённая;
- 234–256 – Алеврит светло-серого цвета, ожелезнённый;
- 256–317 – Глина алевритовая голубого цвета, ожелезнённая, в форме трубочек диаметром до 1 см, по вертикально расположенным остаткам стеблей трав;
- 317–340 – Песок алевритовый голубовато-серого цвета;
- 340–357 – Алеврит голубовато-серого цвета с маломощными (0,5–3 см) линзами торфа, не выдержанными по простиранию, с включением остатков вертикально расположенных стеблей трав и мелких веток деревьев;
- 357–362 – Глина буровато-серого цвета, с включением мелкого растительного детрита.

На спорово-пыльцевой диаграмме отложений выделяются следующие спорово-пыльцевые комплексы (СПК) и спектры (рис. 3, А). Спорово-пыльцевой спектр Su_KI-1 удалось выделить лишь с горизонта 355–357 см; остальные пробы из почти 2,5-метровой пачки озёрных осадков почти не содержали пыльцы и спор. В общем составе спектра пыльца деревьев, фригидных кустарников и травы имеет почти равное представительство, по 30–36%. Содержание спор не превышает 4%. В группе пыльцы древес-

ных пород наблюдается господство фригидных кустарников (84%), образованных в основном кустарниковыми берёзами (59%), в меньшей степени ольховником (14%) и кедровым стлаником (11%). Небольшое присутствие у пыльцы высокоствольных берёз (9%), ольхи (3%), ели (2%) и лиственницы (< 2%). Среди пыльцы трав и кустарничков преобладают осоковые (61%), реже отмечается полынь (23%), намного реже – злаковые, разнотравье и вересковые (по 4–6%). Немногочисленные споры образованы лишь сфагновыми мхами.

Состав спектра полностью соответствует субфоссиальному комплексу приморской лесотундры, развитому ныне на холодном северо-восточном побережье Сахалина [7]. Он отражает лесотундровую растительность с преобладанием зарослей кустарниковых берёз, реже ольховника и кедрового стланика, с небольшим участием тощей лиственницы и высокоствольных берёз. Тёмнохвойные породы в растительности отсутствовали, так как присутствие пыльцы ели обусловлено её заносом с соседнего о. Хоккайдо, где она принимала участие в растительности даже при максимуме последнего оледенения [12]. Лесотундра имела широкое распространение и занимала не только Сусунайскую депрессию, но и склоны прилегающих к ней хребтов. Формирование столь фригидной растительности могло происходить в режиме намного холоднее и суше нынешнего климатического фона. Снижение среднегодовых температур воздуха, по сравнению с современными, составляло не менее 5–6 °С, суммы осадков – 300–500 мм. Эти оценки следует рассматривать как минимальные, поскольку они основываются на метеорологических параметрах территории, распространения лесотундры на Сахалине (среднегодовые температуры воздуха –3–3,6 °С, сумма осадков 480–580 мм). Не исключено, что климат события соответствовал северному побережью Охотского моря (температуры воздуха составляют –5–8,5 °С, сумма осадков 410–470 мм), где формируются субфоссиальные спектры близкого состава [13]. Падение среднегодовых температур, по сравнению с современным уровнем, могло достигать 7–10,5 °С, осадков – 400–500 мм. Абсолютный возраст обнаруженного климатического минимума составляет около 12700 л.н. / 15000 к.л.н. (таблица), что позволяет сопоставить его с начальной фазой позднеледниковья Северной Европы – ледниковой стадией раннего, или древнейшего дриаса, имевшей место около 13000–12400 л.н. / 15900–14600 к.л.н. [9].

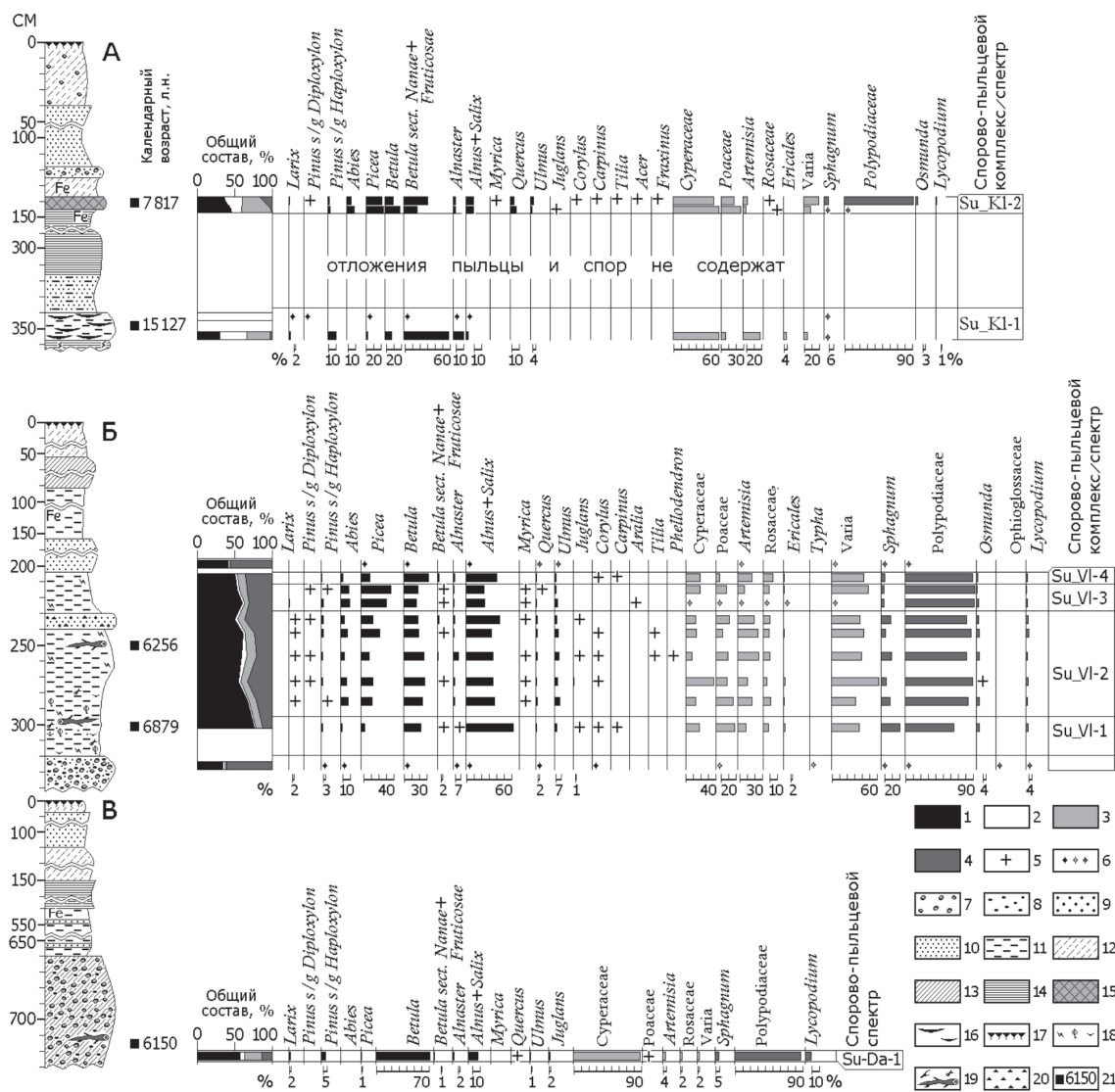


Рис. 3. Спорно-пыльцевые диаграммы отложений разрезов «Суся – Ключи» (А), «Суся – Владимировка» (Б) и «Суся – Дальнее» (В): 1 – пыльца деревьев и кустарников, 2 – пыльца фригидных кустарников, 3 – пыльца трав и кустарничков, 4 – споры, 5 – содержание таксонов < 1%, 6 – % участия не подсчитан из-за малого числа обнаруженных зёрен пыльцы и спор. Литология: 7 – галька, 8 – гравий, 9 – песок крупнозернистый, 10 – песок мелкозернистый, 11 – алевроит, 12 – супесь, 13 – суглинок, 14 – глина, 15 – торф сильно разложившегося, 16 – маломощные (0,5–3 см) прослои слабо разложившегося торфа, 17 – дерновый горизонт современной почвы, 18 – стебли трав, листья, кора деревьев и другой растительный детрит, 19 – обломки веток и стволов деревьев, 20 – древесные угольки, 21 – радиоуглеродная дата

Горизонт сильно разложившегося торфа, перекрывающий озёрные отложения в интервале 137–144 см, содержит СПК Su_K1-2, в общем составе которого доля пыльцы деревьев (37–45%) превышает содержание пыльцы травянистых растений (28–39%), фригидных кустарников (14–23%) и, особенно, спор (2–12%). В группе пыльцы деревьев и кустарников наблюдается близкое соотношение тёмнохвойных и мелколиственных пород, а также фригидных кустарников, содержание которых колеблется

в пределах 23–38%. Среди пыльцы тёмнохвойных деревьев чаще отмечается ель (21–23%), чем пихта (6–10%). Из светлохвойных пород в незначительном количестве (до 1%) встречается пыльца лиственницы и сосны (*Pinus s/g Diploxylon*). Пыльца мелколиственных деревьев в большей степени образована берёзами (11–20%), нежели ольхой и ивами (до 12%), фригидных кустарников – кустарниковыми берёзами (18–33%), чем ольховником и кедровым стлаником (2–3%). Заметно ниже роль

пыльцы широколиственных деревьев с преобладанием дуба (5–8%), ильма (2–4%), присутствием липы, клёна, ясеня, ореха, граба и лещины (по 0,2–0,5%). Редко, до 1%, отмечается пыльца низкорослого восковника (*Myrica*), обитателя болот. В группе пыльцы трав и кустарничков много осоковых (54–61%), злаковых (17–26%) и разнотравья (9–20%). Реже фиксируется пыльца полыни (4–6%), розоцветных (до 1%) и водных растений. Среди спор наблюдается господство папоротников, в основном Polypodiaceae (до 90%) и *Osmunda* (до 3%); реже отмечаются сфагновые мхи (до 6%) и плауны.

Состав СПК очень близок к субфоссильному комплексу пихтово-еловых лесов с участием широколиственных пород, развитому в южной части о. Сахалин [7]. Он отразил распространение южнотаёжной тёмнохвойной растительности с примесью широколиственных деревьев, покрывавшей в основном горные склоны. В Сусунайской впадине преобладали мелколиственные, преимущественно берёзовые леса с ильмом и ясенем, а также лиственничники на заболоченных местах. Условия их существования почти отвечали современным, и зафиксировали относительное похолодание климата, происходившее около 7000 л.н. / 7800 к.л.н. (таблица), в начале средней фазы атлантического периода голоцена [10].

2. Разрез «Сусуя – Владимировка» расположен на юго-западной окраине г. Южно-Сахалинска (рис. 1). На правом берегу р. Сусуя, в 1 км ниже по течению от устья р. Владимировка, расчищено обнажение 3-метровой аллювиальной террасы, лежащей на абсолютной высоте около 21 м (рис. 4).

Сверху вниз в разрезе вскрываются следующие отложения, в см:

- 0–32 – Супесь плотная желтовато-серого цвета, с корнями трав;
- 32–52 – Супесь плотная буровато-жёлтого цвета, с корнями трав;
- 52–91 – Суглинок лёгкий серовато-бурого цвета, ожелезненный;
- 91–153 – Алеврит серого цвета, ожелезненный по корням трав;
- 153–204 – Песок горизонтально слоистый, мелкозернистый, желтовато-бурого цвета, переслаивающийся с песком буровато-серого цвета;
- 204–230 – Алеврит песчанистый синевато-серого цвета;
- 230–240 – Песок крупнозернистый буровато-серого цвета;
- 240–320 – Алеврит песчанистый синевато-серого цвета, с включением большого количества мелких веток, коры и листьев деревьев в интервале 280–290 см;
- 320–340 и глубже – Галечник из мелкой и средней гальки, с песчано-гравийным заполнителем буровато-серого цвета, ожелезненный.

В разрезе хорошо заметна смена трёх фациальных разностей аллювия: руслового, залегающего в основании (глубже 320 см), старичного – в средней части (204–320 см) и пойменного – в верхней (0–204 см). Генезис средней пачки разреза вначале связывался со среднеголоценовой морской ингрессией в долину р. Сусуя [14]. Диатомовый анализ показал её принадлежность к континентальным отложениям. В осадках преобладают пресноводные водоросли, с заметной долей реофилов (*Meridion circulare* Ag., *Diatoma anceps* (Ehr.) Kirchn.), вместе с переотложенными морскими формами неогенового возраста (*Coscinodiscus marginatus* Ehr. и др.).

Радиоуглеродные датировки отложений изученных разрезов южной части о. Сахалин

№ п/п	Разрез, координаты	Лаб. №	Глубина отбора, см	Материал	Возраст образца	
					радиоуглеродный, л.н.	календарный, к.л.н.
1	«Сусуя – Ключи» 47°03'40.1"с.ш., 142°41'04.1"в.д.	СОАН-6162	340–352	Торф	12730 ± 120	15127 ± 350
2		СОАН-6163	137–144	Торф	6980 ± 100	7817 ± 98
3	«Сусуя – Дальнее» 46°58'19.4"с.ш., 142°42'58.5"в.д.	СОАН-6158	700–730	Древесина	5375 ± 80	6150 ± 106
4	«Сусуя – Владимировка» 46°57'07.8"с.ш., 142°41'38.2"в.д.	СОАН-6159	300	Древесина	6010 ± 110	6879 ± 141
5		СОАН-6160	250	Древесина	5455 ± 50	6256 ± 40
6	В 120 м ниже по течению от разреза «Сусуя – Владимировка»	СОАН-6161	210	Древесина	5395 ± 85	6161 ± 109

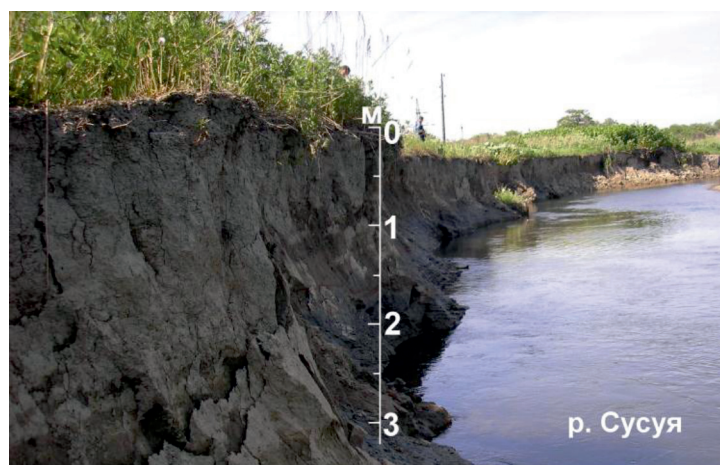


Рис. 4. Обнажение отложений аллювиальной террасы в разрезе «Сусуя – Владимировка»

На спорово-пыльцевой диаграмме отложений выделяются следующие спорово-пыльцевые комплексы и спектры (рис. 3, Б). В нижней части пачки старичного аллювия (русловой аллювий в основании террасы слабо насыщен микрофоссилями), в интервале 290–320 см, содержится спектр Su_VI-1 с преобладанием в общем составе пыльцы деревьев (76%), и резко подчинённой ролью спор (13%), пыльцы трав (9%) и фригидных кустарников (2%). Среди пыльцы древесных видов растительности господствуют мелколиственные породы, в основном ольха и ивы (63%), реже берёзы (22%). Тёмнохвойные породы представлены несравненно слабее, чаще елью (5%), чем пихтой (2%). Также немного пыльцы широколиственных деревьев, образованной ильмом (2,6%), дубом (1,4%) и в незначительной степени (0,1–0,2%) лещиной, орехом и грабом. Пыльца фригидных кустарников имеет крайне низкое значение, не более 2,5%, и почти полностью образована кедровым стлаником. В группе пыльцы трав отмечается преобладание разнотравья (36%), в меньшей степени злаковых (25%), осоковых (18%), полыни (11%) и розоцветных (7%). Верескоцветные отмечены в количестве 2%. Споры представлены в основном папоротниками *Polypodiaceae* (66%) и *Osmunda* (4%), реже сфагновыми мхами (25%) и плаунами (3%).

Состав спектра близок к характеристике ряда субфоссильных спектров южной части Сахалина [7], в растительности которого, из-за вырубок тёмнохвойных лесов, места-ми высока роль берёз. Он отразил преобладание в растительности мелколиственных, преимущественно берёзовых лесов

с примесью широколиственных деревьев, и ольхово-ивовых зарослей вдоль рек. Тёмнохвойные породы принимали небольшое участие в лесах на склонах хребтов, прилегающих к Сусунайской депрессии. Условия существования этой растительности приближались к современным по термическому режиму, но были суше, что видно по невысокой роли влаголюбивых тёмнохвойных пород. Они отвечали относительно похолоданию начала позднего атлантика, обнаруженному в последнее время на юге Сахалина [15]. Этому не противоречит радиоуглеродная дата около 6000 л.н. / 6900 к.л.н., полученная с глубины 300 см (таблица). Похолодание в начале позднего атлантика имело глобальный характер, поскольку обнаружено в разных районах Земли [16].

Вышележащая часть старичного аллювия, в интервале 230–290 см, содержит СПК Su_VI-2. В нём ведущая роль принадлежит пыльце деревьев (50–67%), меньшие доли – спорам (21–37%), пыльце травянистых растений (9–13%) и фригидных кустарников (3–7%). В группе пыльцы деревьев и кустарников преобладают мелколиственные породы, в большей степени ольха и ивы (34–45%), нежели берёзы (19–27%). Второе место занимают тёмнохвойные породы, чаще представленные елью (12–25%), чем пихтой (5–10%). Широколиственные деревья, стоящие в группе на третьем месте (6–9%), в основном образованы ильмом (до 7%) и дубом (до 2%). Другие таксоны (*Tilia*, *Corylus*, *Juglans*, *Phellodendron*) встречаются в количестве не более 1%. Последнее место пыльцы фригидных кустарников (2–10%) чаще обеспечено ольховни-

ком, нежели кедровым стлаником. Слабо представлена и пыльца светлохвойных деревьев, как лиственницей, так и сосной подрода *Diploxylon* (0,2–0,8%). В таком же мизерном количестве фиксируется и пыльца кустарника восковника. Среди пыльцы трав много разнотравья (32–63%), меньше полыни (13–27%), осоковых (8–37%), злаковых (8–23%) и розоцветных (5–10%). Вересковые встречаются редко, в количестве не более 2%. В группе спор господствуют папоротники *Polypodiaceae* (80–89%) и *Osmunda* (1–4%), реже отмечаются сфагновые мхи (6–14%) и плауны (2–4%).

Состав СПК имеет общие черты с субфоссильным комплексом долинных лесов подзоны тёмнохвойной растительности юга Сахалина [7], отличаясь от него меньшей ролью пыльцы тёмнохвойных пород и фригидных кустарников и большей – мелколиственных деревьев. Эти отличия позволяют предполагать развитие смешанных лесов с преобладанием берёз в горах и мелколиственной формации с участием широколиственных пород, преимущественно ильма – в Сусунайской депрессии. Характер растительности свидетельствует об относительном похолодании, с температурами, близкими к современным, но с меньшей влажностью климата. Радиоуглеродная дата около 5500 л.н. / 6300 к.л.н. (таблица) позволяет отнести его к середине позднего атлантика.

СПК Su_VI-3, заключённый в верхних горизонтах старичного аллювия, в интервале 210–230 см, зафиксировал возрастание влажности климата, превысившей современный уровень, при сохранении прежнего температурного фона. Более высокое содержание пыльцы тёмнохвойных пород (46–51%), нежели в субфоссильном комплексе, свидетельствует о большей роли пихтovo-еловых лесов с участием широколиственных пород (3–5%), по сравнению с современной растительностью южного Сахалина, вытеснивших с горных склонов смешанные леса прежней фазы. В Сусунайской депрессии по-прежнему преобладали мелколиственные леса (содержание пыльцы до 43%) и, скорее всего, лиственничники на заболоченных местах. Влажная фаза похолодания середины позднего атлантика, вероятно, наступила около 5400 л.н. / 6200 к.л.н., учитывая результаты датирования верхнего слоя старичного аллювия в отложениях речной террасы ниже по течению р. Сусуя (таблица).

Спорово-пыльцевой спектр Su_VI-4 из поверхностного горизонта (204–209 см)

старичного аллювия отметил падение содержания пыльцы тёмнохвойной растительности более чем в три раза (до 15%), возрастание доли пыльцы мелколиственных деревьев (до 74%) и сохранение прежней, небольшой роли широколиственных пород (4,5%). Он, следовательно, отметил снижение влажности климата в завершающей фазе относительного похолодания климата, происшедшее после 5400 л.н. / 6200 к.л.н.

3. Разрез «Сусуя – Дальнее» находится на северо-западной окраине г. Южно-Сахалинска, в 1,1 км к северу от автомобильного моста у Владимировки (рис. 1). Здесь, на правом берегу р. Сусуя, расчищено обнажение 7-метровой аллювиальной террасы, лежащей на абсолютной высоте около 30 м. Сверху вниз в разрезе вскрываются следующие отложения, в см:

- 0–28 – Супесь гумусированная черновато-серого цвета с корнями трав;
- 28–110 – Песок мелкозернистый, пылеватый, желтовато-бурого цвета;
- 110–150 – Супесь серовато-бурого цвета;
- 150–540 – Глина тугопластичной консистенции серовато-бурого цвета, ожелезнённая, глубже 300 см переходящая в полутвёрдую консистенцию;
- 540–660 – Алевриты синевато-серого цвета, ожелезнённые в виде тонких прослоев и корочек, переслаивающиеся с мелко-среднезернистыми песками буровато-серого цвета (мощность прослоев 10–20 см);
- 660–730 и глубже – Галечник из мелкой и средней гальки, преимущественно полуокатанной формы, с гравием и суглинистым заполнителем голубовато-серого цвета, с включением ствола дерева хорошей сохранности диаметром 30 см.

Палинологическим анализом изучена только нижняя часть разреза, глубже 600 см, в которой лишь один образец оказался хорошо насыщенным пыльцой и спорами (рис. 3, В). Спорово-пыльцевой спектр Su_Da-1, обнаруженный в интервале 720–730 см, в общем составе имеет преобладание пыльцы деревьев (57%) и меньшее содержание пыльцы травянистых растений (23%), фригидных кустарников (5%) и спор (14%). Среди пыльцы древесных видов наблюдается господство мелколиственных деревьев, в основном представленных берёзами (72%), реже ольхой и ивами (13%). Значительно меньше пыльцы как фригидных кустарников (8%, с преобладанием кедрового стланика), так и тёмнохвойных пород, среди которых фиксируется только ель

(1%), а также широколиственных деревьев, представленных орехом (до 2%), ильмом и дубом (до 1%). В небольшом количестве, как обычно, присутствует пыльца лиственницы (2%). Пыльца трав, почти полностью, образована осоковыми (88%), гораздо реже (3–4%) полынью, розоцветными и разнотравьем. Среди спор отмечается полное превосходство папоротников Polypodiaceae (87%) над плаунами (8%) и сфагновыми мхами (5%).

Спектр отразил максимальное распространение мелколиственных лесов на юге Сахалина. Тёмнохвойные породы в них почти не встречались, что свидетельствует об уменьшении влажности климата в заключительную фазу похолодания середины позднего атлантика, начало которой зафиксировано спектром Su_VI-4 в разрезе «Су-суя – Владимировка». Результаты радиоуглеродного датирования, около 5375 л.н. / 6150 к.л.н. (таблица), близкие к таковым предыдущей, влажной фазы похолодания, отмечают кратковременность события, продолжавшегося, возможно, не более 100 лет. Подтверждением этому служит возраст начала интенсивного потепления, сменившего данное похолодание около 5300 л.н. / 6100 к.л.н., также обнаруженного на юге Сахалина [17].

Выводы

Изучение отложений Сусунайской депрессии позволило выявить в позднем ледниковье и атлантическом периоде голоцена ряд кратковременных похолоданий, охватывавших южный Сахалин.

1. Максимальное похолодание и иссушение климата, отвечавшее позднеледниковой стадии ранний дриас в Северной Европе, происходило около 15000 к.л.н. Оно вызвало экспансию лесотундровой растительности, представленной зарослями кустарниковых берёз, реже ольховника и кедрового стланика, с небольшим участием лиственницы и древесной берёзы.

2. Относительное похолодание начала среднего атлантика, около 7800 к.л.н., имело климат, близкий к современным условиям, обеспечивший распространение южно-таёжных пихтово-еловых лесов с примесью широколиственных пород.

3. Похолодание начала позднего атлантика, наступившее около 6900 к.л.н., обладало более сухими климатическими условиями, которые привели к развитию мелколиственных лесов с участием широколиственных пород.

4. Относительное похолодание середины позднего атлантика, около 6300–6100 к.л.н., отличалось переменной влажностью при сохранении температур, близких к нынешнему фону. Более сухое начало события определило развитие смешанных лесов, сменившихся пихтово-еловыми лесами во время влажной средней стадии, около 6200 к.л.н. На завершающем моменте похолодания, из-за очередного снижения влажности климата, распространились мелколиственные леса.

Исследование выполнено при финансовой поддержке гранта Дальневосточного отделения Российской академии наук (15-1-2-063).

Список литературы

1. Палеоклиматы и палеоландшафты внетропического пространства Северного полушария. Поздний плейстоцен-голоцен. Атлас-монография / под ред. Величко А.А. – М.: ГЕОС, 2009. – 120 с.
2. Короткий А.М. Палинологические характеристики и радиоуглеродные датировки верхнечетвертичных отложений Российского Дальнего Востока (низовье р. Амур, Приморье, о. Сахалин, Курильские острова) // Позднечетвертичные растительность и климаты Сибири и Дальнего Востока (палинологическая и радиоуглеродная база данных). – Магадан: Изд-во Сев.-Вост. науч. центра ДВО РАН, 2002. – С. 257–369.
3. Микишин Ю.А., Гвоздева И.Г., Петренко Т.И. Ранний голоцен Сахалина // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. – 2010. – № 12. – С. 432–437.
4. Igarashi Y., Zharov A. Climate and vegetation change during the late Pleistocene and early Holocene in Sakhalin and Hokkaido, northeast Asia // Quaternary International. – 2011. – V. 237 – P. 24–31.
5. Микишин Ю.А., Гвоздева И.Г. Эволюция природы юго-восточной части острова Сахалин в голоцене. – Владивосток: Изд-во Дальневост. ун-та, 1996. – 130 с.
6. Гвоздева И.Г., Микишин Ю.А. Стратиграфия и палеогеография голоцена юго-западного Сахалина // Естеств. и техн. науки. – 2008. – № 3. – С. 177–183.
7. Микишин Ю.А., Гвоздева И.Г. Субфоссильные спорово-пыльцевые комплексы Сахалина и прилегающих территорий. – Владивосток: Изд-во Дальневост. ун-та, 2009. – 162 с.
8. Weninger B., Joris O., Danzeglocke U., 2013. CalPal-2007. Cologne Radiocarbon Calibration & Palaeoclimate Research Package. [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.calpal.de> (дата обращения: 06.02.18).
9. Шарапова А.Ю. Зональная стратиграфическая схема верхнеплейстоцен-голоценовых отложений Северной Европы // Вестник СПбГУ. – сер. 7. Геология и география. – 2005. – Вып. 1. – С. 103–105.
10. Хотинский Н.А. Радиоуглеродная хронология и корреляция природных и антропогенных рубежей голоцена // Новые данные по геохронологии четвертичного периода. К XII конгрессу ИНКВА (Канада, 1987 г.). – М.: Наука, 1987. – С. 39–45.
11. Александрова А.Н. Плейстоцен Сахалина. – М.: Наука, 1982. – 192 с.
12. Igarashi Y. Vegetation and climate during the LGM and the last deglaciation on Hokkaido and Sakhalin Islands in the northwest Pacific // Quaternary International. – 2016. – V. 425. – P. 28–37.
13. Карташова Г.Г. Спорово-пыльцевые спектры современных отложений в бассейне р. Олы (северное побережье

Охотского моря). – Спорово-пыльцевой анализ при геоморфологических исследованиях. – М.: Изд-во МГУ, 1971. – С. 90–105.

14. Микишин Ю.А., Гвоздева И.Г. Формирование рельефа побережья залива Анива в голоцене // Геодинамические процессы и природные катастрофы в Дальневосточном регионе: тезисы докл. науч. конф., посвящённой 65-летию ин-та морской геол. и геоф. ДВО РАН (Южно-Сахалинск, 26–30 сент. 2011 г.). – Южно-Сахалинск, 2011. – С. 158–159.

15. Микишин Ю.А., Гвоздева И.Г. Ландшафтно-климатические изменения на юге Сахалина в средне-позднеатлантическое время голоцена // Успехи современного естествознания – 2017. – № 12. – С. 207–214.

16. Борисова О.К. Ландшафтно-климатические изменения в голоцене // Изв. РАН. Сер. геогр. – 2014. – № 2. – С. 5–20.

17. Mikishin Yu.A., Gvozdeva I.G., Orlova L.A. Basic Holocene section of South West Sakhalin // Environment Development of East Asia in Pleistocene-Holocene (boundaries, factors, stages of Human mastering). Abstract of International Scientific Conference. (Vladivostok, Russia, September 14–18, 2009) – Pacific Institute of Geography Russian Academy of Sciences. – Vladivostok, 2009. – P. 149–152.

References

1. Paleoklimaty i paleolandshafty vnetropicheskogo prostranstva Severnogo polusharija. Pozdnij plejstocen–golocen. Atlas-monografija / pod red. Velichko A.A. M.: GEOS, 2009. 120 p.

2. Korotkij A.M. Palinologicheskie karakteristiki i radiouglerodnye datirovki verhnechetvertichnyh otlozhenij Rossijskogo Dalnego Vostoka (nizove r. Amur, Primore, o. Sahalin, Kurilskie ostrova) // Pozdnechetvertichnye rastitelnost i klimaty Sibiri i Dalnego Vostoka (palinologicheskaja i radiouglerodnaja baza dannyh). Magadan: Izd-vo Sev.-Vost. nauch. centra DVO RAN. 2002. pp. 257–369.

3. Mikishin Ju.A., Gvozdeva I.G., Petrenko T.I. Rannij golocen Sahalina // Aktualnye problemy gumanitarnyh i estestvennyh nauk. 2010. no. 12. pp. 432–437.

4. Igarashi Y., Zharov A. Climate and vegetation change during the late Pleistocene and early Holocene in Sakhalin and Hokkaido, northeast Asia // Quaternary International. 2011. V. 237 pp. 24–31.

5. Mikishin Ju.A., Gvozdeva I.G. Jevoljucija prirody jugovostochnoj chasti ostrova Sahalin v golocene. Vladivostok: Izd-vo Dalnevost. un-ta, 1996. 130 p.

6. Gvozdeva I.G., Mikishin Ju.A. Stratigrafija i paleogeografija golocena jugo-zapadnogo Sahalina // Estestv. i tehn. nauki. 2008. no. 3. pp. 177–183.

7. Mikishin Ju.A., Gvozdeva I.G. Subfossilnye sporovo-pylcevyje komplekxy Sahalina i privilegajushhh territorij. Vladivostok: Izd-vo Dalnevost. un-ta, 2009. 162 p.

8. Weninger B., Joris O., Danzeglocke U., 2013. CalPal-2007. Cologne Radiocarbon Calibration & Palaeoclimate Research Package. [Elektronnyj resurs]. URL: <http://www.calpal.de> (data obrashhenija: 06.02.18).

9. Sharapova A.Ju. Zonalnaja stratigraficheskaja shema verhneplejstocen-golocenovyh otlozhenij Severnoj Evropy // Vestnik SPbGU. 2005. ser. 7. Geologija i geografija. Vyp. 1. pp. 103–105.

10. Hotinskij N.A. Radiouglerodnaja hronologija i korreljacija prirodnyh i antropogennyh rubezhej golocena // Novye dannye po geohronologii chetvertichnogo perioda. K XII kongressu INKVA (Kanada, 1987 g.). M.: Nauka, 1987. pp. 39–45.

11. Aleksandrova A.N. Plejstocen Sahalina. M.: Nauka, 1982. 192 p.

12. Igarashi Y. Vegetation and climate during the LGM and the last deglaciation on Hokkaido and Sakhalin Islands in the northwest Pacific // Quaternary International. 2016. V. 425. pp. 28–37.

13. Kartashova G.G. Sporovo-pylcevyje spektry sovremennyh otlozhenij v bassejne r. Oly (severnoe poberezhe Ohotskogo morja). Sporovo-pylcevoj analiz pri geomorfologicheskikh issledovanijah. M.: Izd-vo MGU, 1971. pp. 90–105.

14. Mikishin Ju.A., Gvozdeva I.G. Formirovanie relefa poberezhja zaliva Aniva v golocene // Geodinamicheskie processy i prirodnye katastrofy v Dalnevostochnom regione: tezisы dokl. nauch. konf., posvjashhjonnoj 65-letiju in-ta morskoj geol. i geof. DVO RAN (Juzhno-Sahalinsk, 26–30 sent. 2011 g.). Juzhno-Sahalinsk, 2011. pp. 158–159.

15. Mikishin Ju.A., Gvozdeva I.G. Landshaftno-klimaticheskie izmenenija na juge Sahalina v sredne-pozdneatlanticheskoe vremja golocena // Uspеhi sovremennogo estestvoznanija 2017. no. 12. pp. 207–214.

16. Borisova O.K. Landshaftno-klimaticheskie izmenenija v golocene // Izv. RAN. Ser. geogr. 2014. no. 2. pp. 5–20.

17. Mikishin Yu.A., Gvozdeva I.G., Orlova L.A. Basic Holocene section of South West Sakhalin // Environment Development of East Asia in Pleistocene-Holocene (boundaries, factors, stages of Human mastering). Abstract of International Scientific Conference. (Vladivostok, Russia, September 14–18, 2009) Pacific Institute of Geography Russian Academy of Sciences. Vladivostok, 2009. pp. 149–152.

УДК 551.4:502.64

**ГЕОМОРФОМЕТРИЧЕСКИЙ ПОДХОД В ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИХ
ИССЛЕДОВАНИЯХ СЕВЕРНЫХ ТЕРРИТОРИЙ СТРАНЫ****Полякова Е.В.***Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики РАН, Архангельск,
e-mail: lenpo26@yandex.ru*

Вплоть до 1990-х гг. топографические карты являлись основным источником количественной информации о рельефе. По мере развития космических и компьютерных технологий, цифровое моделирование рельефа оформилось в самостоятельную научную дисциплину – геоморфометрию, изучающую количественное моделирование и анализ рельефа дневной поверхности, а также взаимосвязи между рельефом и другими естественными и антропогенными компонентами геосистем. Интенсивное хозяйственное освоение северных территорий страны часто приводит к активизации природных процессов или развитию новых опасных явлений, которые ранее здесь отсутствовали. Осуществление всех видов деятельности, обеспечивающих недропользование в северных регионах РФ, включая геологоразведочные, проектно-изыскательские, строительные, эксплуатационные работы, сталкивается с серьезными трудностями в плане почти полного отсутствия актуальной, точной геопространственной информации об опасных процессах и явлениях. Количественные характеристики рельефа (геоморфометрические параметры), рассчитываемые по матрицам высот, служат в качестве основы для прогнозирования целого ряда экзогенных процессов (эрозионных, деструктивных, аккумулятивных и пр.), позволяют оценивать вероятность и интенсивность их развития. Получение такой информации крайне необходимо для обеспечения промышленной и экологической безопасности в процессе освоения и эксплуатации месторождений, развития инфраструктуры, строительстве дорог и пр. видов хозяйственной деятельности человека. В статье показана возможность проведения геоэкологических исследований средствами цифрового моделирования рельефа. Геоморфометрический подход в геоэкологических исследованиях осуществляется по следующему алгоритму: Выбор ЦМР – Выбор программного обеспечения – Подготовка ЦМР – Выбор геоморфометрических параметров – Проведение геоморфометрического анализа по выбранным параметрам – Составление карт прогнозно-вероятностного моделирования. Геоморфометрический подход является неотъемлемой частью геоэкологических исследований в силу своей доступности, объективности, способности охвата больших территорий одновременно.

Ключевые слова: цифровая модель рельефа, геоморфометрические параметры, геоморфометрический анализ**GEOMORPHOMETRIC APPROACH IN GEOECOLOGICAL RESEARCH
OF THE NORTHERN TERRITORIES OF THE COUNTRY****Polyakova E.V.***Federal Center for Integrated Arctic Research RAS, Arkhangelsk, e-mail: lenpo26@yandex.ru*

Up to the 90s of the 20th century, topographic maps were the main source of quantitative information on the relief. With the development of space and computer technologies, digital modeling of the relief has formed into an independent scientific discipline – geomorphometry, which studies the quantitative modeling and analysis of the relief of the day surface, as well as the relationship between the relief and other natural and anthropogenic components of geosystems. Intensive economic development of the northern territories of the country often leads to the activation of natural processes or the development of new dangerous phenomena that were previously absent here. The implementation of all types of activities that provide subsoil use in the northern regions of the Russian Federation, including geological exploration, design and survey, construction, and operation, faces serious difficulties in terms of the almost complete absence of relevant, accurate geospatial information on hazardous processes and phenomena. The quantitative characteristics of the relief (geomorphometric parameters), calculated from the altitude matrices, serve as a basis for predicting a number of exogenous processes (erosive, destructive, accumulative, etc.), allow us to estimate the probability and intensity of their development. Obtaining such information is extremely necessary to ensure industrial and environmental safety in the process of development and exploitation of deposits, infrastructure development, construction of roads and other types of human economic activities. The article shows the possibility of carrying out geoeological research using digital relief modeling. Geomorphometric approach in geoeological research is carried out according to the following algorithm: DEM selection – Software selection – Preparation of DEM – Selection of geomorphometric parameters – Geomorphometric analysis for selected parameters – Preparation of predictive-probability modeling maps. Geomorphometric approach is an integral part of geoeological research due to its accessibility, objectivity, ability to cover large areas at a time.

Keywords: digital elevation model, geomorphometric parameters, geomorphometric analysis

Рельеф является одним из основных факторов, определяющих ход и направленность процессов, протекающих в приповерхностном слое планеты. Большинство эколого-геохимических процессов зависят от поступления в каждую точку пространства влаги и солнечной энергии, их распределе-

ние регулируется наклоном и экспозицией склонов. Направление распространения загрязняющих веществ, зоны их возможного накопления и смыва определяют параметры рельефа. Вместе с тем, будучи результатом взаимодействия эндогенных и экзогенных процессов, рельеф выступает индикато-

ром геологического строения территории. В этой связи информация о рельефе широко применяется в науках о Земле, инженерных изысканиях, проектировании и строительстве [1–2].

Вплоть до 1990-х гг. топографические карты являлись основным источником количественной информации о рельефе. По мере развития космических и компьютерных технологий, цифровое моделирование рельефа оформилось в самостоятельную научную дисциплину – геоморфометрию, изучающую количественное моделирование и анализ рельефа дневной поверхности, а также взаимосвязи между рельефом и другими естественными и антропогенными компонентами геосистем [1].

В то же время возможности цифрового моделирования рельефа в геоэкологических исследованиях, особенно северных (приарктических и арктических) территорий страны используются крайне недостаточно.

В России цифровое моделирование рельефа и геоморфометрический анализ приобрели популярность в начале XXI века. Несомненными лидерами в этом направлении исследований являются И.В. Флоринский и П.А. Шарый.

Цель исследования: показать возможность применения геоморфометрического анализа цифровой модели рельефа для геоэкологических исследований северных регионов страны.

Материалы работ и обсуждения

Методика проведения геоэкологических исследований осуществляется по алгоритму, представленному на рис. 1.



Рис. 1. Блок-схема методики проведения геоэкологических исследований на основе цифрового моделирования рельефа

Блок 1. Под цифровой моделью какого-либо геометрического (географического) объекта понимается определенная форма представления исходных данных и способ их структурного описания, позволяющий «вычислять» (восстанавливать) объект путем интерполяции, аппроксимации или экстраполяции [3]. ЦМР – это растровое представление непрерывной поверхности Земли (в случае, если рассматривается земная поверхность). Выбор ЦМР для исследований должен базироваться, прежде всего, на таких параметрах, как доступность, пространственное разрешение и охват территории (таблица).

Обзор глобальных некоммерческих цифровых моделей рельефа

ЦМР	Пространственное разрешение		Охват территории Земли
	угловые секунды	метры	
GTOPO30	30"	~900	от 90° с.ш. до 90° ю.ш.
GLOBE	30"	~900	от 90° с.ш. до 90° ю.ш.
ETOPO 2	30"	~900	от 90° с.ш. до 90° ю.ш.
GMTED2010	7,5"	~225	от 84° с.ш. до 56° ю.ш.
SRTM 3	3"	~90	от 60° с.ш. до 56° ю.ш. (80% поверхности земного шара)
ACE2	3"	~90	от 90° с.ш. до 90° ю.ш., и от 180° в.д. до 180° з.д.
SRTM 1	1"	~30	от 60° с.ш. до 56° ю.ш. (80% поверхности земного шара)
ASTER GDEM V.2	1"	~30	от 83° с.ш. до 83° ю.ш. (99% поверхности земного шара)

ЦМР высокого разрешения (NEXTMap World 30, WorldDEM™, AW3D) являются коммерческими продуктами и доступны не всем пользователям в силу своей дороговизны. Свободные (некоммерческие) ЦМР могут удовлетворять по пространственному разрешению, но не содержать данных на интересующую исследователя территорию. Например, модель SRTM не покрывает северные (выше 60° северной широты) территории. Поэтому для северных регионов страны лучше всего подходит ASTER GDEM V.2.

Блок 2. Существует достаточное количество программных продуктов, реализующих функции геоморфометрического анализа рельефа. В целом все они обладают схожим набором возможностей, но одни программные продукты фокусируются на решении частных задач, например расчет характеристик рельефа в SAGA GIS, а другие охватывают широкий круг задач, тем самым претендуя на универсальность (ESRI ArcGIS). Выбор обычного потребителя основывается в первую очередь на доступности программного продукта. Наиболее используемые для геоморфометрического анализа рельефа и находящиеся в свободном доступе такие программные продукты, как SAGA GIS (группа модулей Terrain Analysis), GRASS (модуль r.param.scale), QGIS (использует модули SAGA GIS и GRASS), gvSIG (набор инструментов SEXTANTE). Среди коммерческих продуктов – это ESRI ArcGIS (модуль Spatial

Analyst), MapInfo Professional (модуль Vertical Mapper). Для проведения геоморфометрического анализа хорошо подходит SAGA GIS, поскольку обладает расширенной линейкой инструментов расчета геоморфометрических параметров.

Блок 3. Подготовка выбранной ЦМР – важный и ответственный этап, поскольку от этого будет зависеть качество дальнейшего получаемого материала. Глобальные ЦМР имеют наличие таких артефактов, как резкие понижения (впадины) и повышения (пики), которые нужно устранять перед началом работы с моделью. В большинстве случаев наличие данных артефактов обусловлено экранированием территории облаками, недостаточным количеством наблюдений, отражением континентальных водоемов и несовпадений между цифровыми моделями, используемыми для построения глобальной модели [4]. При разработке ASTER GDEM V.2 на территорию России большинство артефактов были удалены разработчиками, но на их месте образовались пустоты, области отсутствующих данных. Пустоты можно заполнять данными других моделей, например GMTED2010, искусственно уменьшая размер ячейки до 1 угловой секунды (разрешение ASTER GDEM V.2). Подробно методика подготовки ЦМР Архангельской области описана в [5–6]. Проведение геоморфометрического анализа на «сырой» неподготовленной модели будет давать ложные результаты (рис. 2).

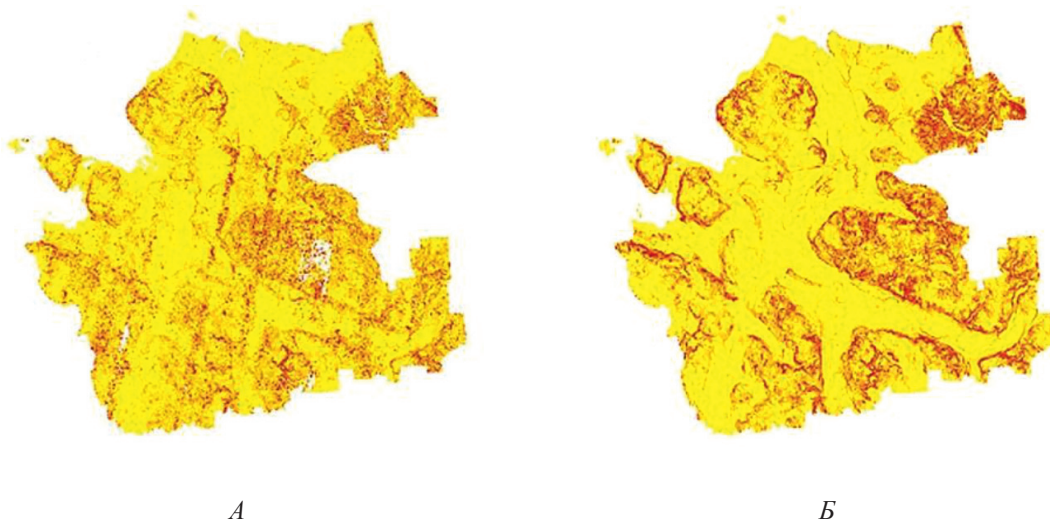


Рис. 2. Результат расчета угла наклона поверхности на исходной модели ASTER GDEM V.2 (А) и подготовленной ЦМР Архангельской области [5]

Блок 4. Существуют различные классификации геоморфометрических параметров.

И.В. Флоринский и П.А. Шарый [7–8] выделяют четыре основные группы морфометрических величин:

1) локальные (крутизна, экспозиция, горизонтальная и вертикальная кривизны склона);

2) нелокальные (водосборная и дисперсионная площади);

3) солярные (отражательная способность, инсоляция);

4) комбинированные (топографический индекс, индекс мощности потоков).

По методике характеристики рельефа Дж. Вуда [9] вся поверхность анализируется по таким морфометрическим параметрам, как угол наклона, поперечная, максимальная и минимальная кривизны, затем классифицируются в 6 морфометрических типов: 1 – плоские поверхности (Plane), 2 – впадины (Pit), 3 – каналы (Channel), 4 – проходы (перевалы) (Pass (saddle)), 5 – хребты (Ridge), 6 – пики (Peak).

В данном случае для исследования северных территорий выбран программный комплекс SAGA GIS, модули анализа рельефа в котором согласуются с классификацией геоморфометрических параметров, приведенной в статье [10].

Выделяются следующие группы геоморфометрических параметров:

1. Геометрические – группа параметров, описывающих морфологические особенности территории, которые определяют динамику склоновых процессов, скорость и интенсивность потоков вещества и энергии. К этой группе относятся угол наклона, экспозиция склона, различные виды кривизн земной поверхности.

2. Гидрологические – группа параметров, оценивающих поверхностный сток, степень увлажнения почвы и перемещения обломочного материала. Сюда относятся такие параметры, как общая и удельная водосборные площади, направленность потоков, бассейновое моделирование, топографический индекс влажности, показатели плоскостного и линейного эрозионного потенциала, предрасположенность склонов к развитию осыпных процессов, оценка зон потенциального затопления и т.д.

3. Топографо-микrokлиматические – группа показателей, показывающих влияние земной поверхности на территориальные особенности распределения солнечной радиации, формирование температурного режима и воздействия ветра.

К данной группе относятся потенциальная солнечная радиация и инсоляция, фотосинтетически активная радиация, распределение температуры земной поверхности, ветровой эффект и др.

4. Вертикальная дифференциация природной среды. Данные параметры применяются для количественной оценки неоднородностей рельефа. Сюда относятся индекс расчлененности рельефа, глубина речной долины и т.п.

Выбор параметров должен определяться поставленными для решения задачами.

Блок 5. Геоморфометрический анализ проводится по выбранным параметрам или группам параметров с использованием инструментально-математических возможностей программного обеспечения (в данном случае SAGA GIS). В результате формируется комплект монофакторных карт (рис. 3), каждая из которых характеризует территорию с точки зрения предпосылок рельефа, иллюстрируя зоны сноса, транзита и накопления осадочного материала, степень закарстованности, увлажненности и расчлененности. Карты геоморфометрических параметров дают возможность оценить пространственное положение и количественные характеристики процессов эрозии и аккумуляции на различных участках исследуемой территории. В то же время целесообразно делать выводы о возможности проявления опасных процессов, используя значения только одного показателя. Корректнее использовать комбинации параметров и, применив ряд логических и математических процедур, проводить вероятностное моделирование проявления экзогенных геологических процессов.

Блок 6. Карты прогнозно-вероятностного моделирования составляются для оценки вероятности проявления тех или иных опасных экзогенных процессов. Их составление основывается на сочетании нескольких параметров, отвечающих за проявление одного процесса или ряда генетически связанных процессов и явлений. Так, например, сочетание таких параметров, как угол наклона, LS-фактор и индекс расчлененности рельефа, позволяют выделить зоны максимальной вероятности проявления эрозионных процессов, зоны транзита и аккумуляции осадочного материала. Для выделения территорий, склонных к подтоплению во время паводков и общей тенденции к заболачиванию, помимо трех перечисленных параметров следует использовать метод кластеризации индекса влажности.

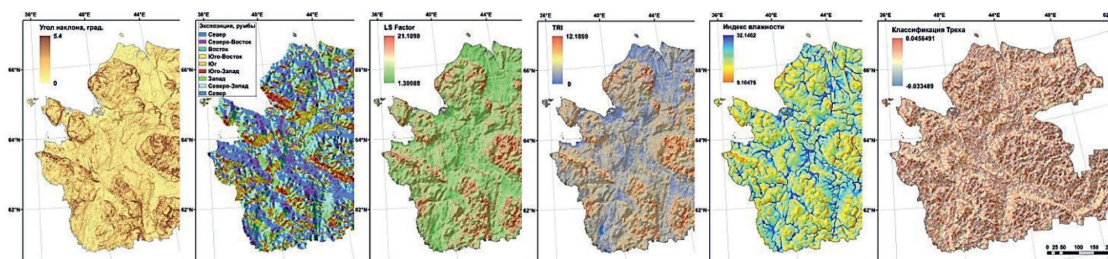


Рис. 3. Пример набора монофакторных карт, составленных по геоморфометрическим параметрам рельефа в программном продукте SAGA GIS

Для выявления локальных участков предрасположенных к аккумуляции загрязняющих веществ необходимо использовать сочетание кривизн. Неплохие результаты показывает комбинация горизонтальной и вертикальной кривизн (классификация Треха). Естественно, простое сопоставление карт не дает возможности прямого выделения подобных зон. Вначале проводится кластерный анализ по каждому параметру, чтобы сгруппировать значения в кластеры. Далее проводится операция генерализации с целью объединения прерывистых и раздробленных контуров кластеров. Генерализация, несомненно, приводит к потере данных, но для больших территорий это является скорее плюсом, поскольку позволяет сформировать определенное представление о масштабах развития процессов.

Выводы

Интенсивное хозяйственное освоение территорий часто приводит к активизации природных процессов или развитию новых опасных явлений, которые ранее здесь отсутствовали. Осуществление всех видов деятельности, обеспечивающих недропользование в северных регионах РФ, включая геологоразведочные, проектно-изыскательские, строительные, эксплуатационные работы, сталкивается с серьезными трудностями в плане почти полного отсутствия актуальной, точной геопрограммной информации об опасных процессах и явлениях. Геоморфометрические параметры рельефа могут выступать в качестве источника для прогнозирования целого ряда экзогенных процессов (эрозионных, деструктивных, аккумулятивных и пр.), позволяют оценивать вероятность и интенсивность их развития. Получение такой информации крайне необходимо для обеспечения промышленной

и экологической безопасности в процессе освоения и эксплуатации месторождений, развития инфраструктуры, строительстве дорог и пр. видов хозяйственной деятельности человека.

Таким образом, геоморфометрический подход является неотъемлемой частью геоэкологических исследований в силу своей доступности, объективности, способности охвата больших территорий одновременно.

Исследования проведены в ходе выполнения государственного задания ФГБУН ФИЦКИА РАН № гос. регистрации АААА-А18-118012390305-7.

Список литературы

1. Флоринский И.В. Теория и приложения математики картографического моделирования рельефа: дис. ... д-ра техн. наук. – Пушино, 2010. – 267 с.
2. Pike R.J. A bibliography of terrain modeling (geomorphometry), the quantitative representation of topography, Suppl. 4.0. Open-file Rep. 02-465. Menlo Park: USGS, 2002. – 157 p.
3. Новаковский Б.А. Цифровые модели рельефа реальных и абстрактных геополей / Б.А. Новаковский, С.В. Прасолов, А.И. Прасолова. – М.: Научный мир, 2003. – 64 с.
4. ASTER Global Digital Elevation Model Version 2 – Summary of Validation Results / Tachikawa T. [et al.]. August 31, 2011. http://www.jspacesystems.or.jp/ersdac/GDEM/ver-2Validation/Summary_GDEM2_validation_report_final.pdf. (дата обращения: 05.01.2018).
5. Подготовка цифровой модели рельефа для исследования экзогенных процессов северных территорий Российской Федерации / А.Л. Минеев [и др.] // Пространство и время. – 2015. – № 3(21). – С. 278–291. URL: https://space-time.ru/space-time/article/view/2226-7271prov_st3-21.2015.83. (дата обращения: 05.01.2018).
6. Методические аспекты создания цифровой модели рельефа Архангельской области на основе ASTER GDEM V. 2 / А.Л. Минеев [и др.] // Современные проблемы науки и образования. – 2015. – № 2. URL: www.science-education.ru/129-21949 (дата обращения: 05.01.2018).
7. Флоринский И.В. Иллюстрированное введение в геоморфометрию / И.В. Флоринский // Электронное научное издание Альманах Пространство и Время. – 2016. – Т. 11. – Вып. 1: Система планета Земля. URL: http://www.j-spacetime.com/actual%20content/t11v1/2227-9490e-aprov_e-ast11-1.2016.71.php. (дата обращения: 05.01.2018).
8. Shary P.A., Sharaya L.S., Mitsov A.V. Fundamental Quantitative Methods of Land Surface Analysis // Geoderma. –

2002. – Vol. 107(1–2). – P. 1–32. DOI 10.1016/S0016-7061(01)00136-7.

9. Wood J.D. The geomorphological characterisation of digital elevation models. Ph.D. Thesis. Leicester: Univ. Leicester, 1996. – 193 p.

10. Глотов А.А. Использование ЦМР для эффективного управления природопользованием / А.А. Глотов // Геоматика. – 2013. – № 4. – С. 32–36.

References

1. Florinskii I.V. Teoriia i prilozheniia matematiko-kartograficheskogo modelirovaniia rel'efa [Theory and applications of mathematical and cartographic modeling of relief]. Pushchino, Dissertatsiia na soiskanie uchenoi stepeni doktora tekhnicheskikh nauk, 2010, 267.

2. Pike R.J. A bibliography of terrain modeling (geomorphometry), the quantitative representation of topography. Menlo Park, USGS, 2002, 157 p.

3. Novakovskii B.A., Prosalov S.V., Prosalova A.I. Tsifrovye modeli rel'efa real'nykh i abstraktnykh geopolei [Digital elevation models of real and abstract geofields]. Moscow, Nauchnyi mir, 2003, 64.

4. Tachikawa T. ASTER Global Digital Elevation Model. Available at: http://www.jspacesystems.or.jp/ersdac/GDEM/ver2Validation/Summary_GDEM2_validation_report_final.pdf (accessed 5 January 2018).

5. Mineev A.L., Kutinov Iu.G., Chistova Z.B., Poliakova E.V. Building the Digital Elevation Model for Studying Exogenous Processes across Northern Territories of Russian Federation [Podgotovka tsifrovoi modeli rel'efa dlia issledova-

niiia ekzogennykh protsessov severnykh territorii Rossiiskoi Federatsii]. Prostranstvo i Vremia - Space and Time, 2015, vol. 21, no. 3. available at: https://space-time.ru/space-time/article/view/2226-7271prov_r_st3-21.2015.83. (accessed 05.01.2018).

6. Mineev A.L., Poliakova E.V., Kutinov Iu.G., Chistova Z.B. Methodical Aspects of Creating Digital Elevation Models of the Arkhangel'sk Region Based on ASTER GDEM V. 2 [Metodicheskie aspekty sozdaniia tsifrovoi modeli rel'efa Arkhangel'skoi oblasti na osnove ASTER GDEM V. 2]. Sovremennye problemy nauki i obrazovaniia - Modern Problems of Science and Education, 2015, vol. 2, no. 2. available at: <https://www.science-education.ru/ru/article/view?id=21949>. (accessed 05.01.2018).

7. Florinskii I.V. An Illustrated Introduction to Geomorphometry [Illiustrirovannoe vvedenie v geomorfometriiu]. Elektronnoe nauchnoe izdanie Al'manakh Prostranstvo i Vremia. – Electronic Scientific Edition Almanac Space and Time, 2016, vol. 11, no. 1. available at: http://www.j-spacetime.com/actual%20content/t11v1/2227-9490e-aprov_r_e-ast11-1.2016.71.php. (accessed 05.01.2018).

8. Shary P.A., Sharaya L.S., Mitusov A.V. Fundamental Quantitative Methods of Land Surface Analysis. Geoderma, 2002, vol. 107, no. 1, pp. 1–32. DOI: 10.1016/S0016-7061(01)00136-7.

9. Wood J.D. The geomorphological characterisation of digital elevation models. Ph.D. Thesis. Leicester: Univ. Leicester, 1996, 193 p.

10. Glotov A.A. Application of DEM for tasks of rational nature management and monitoring of natural processes [Ispol'zovanie TsMR dlia effektivnogo upravleniia prirodopol'zovaniem]. Geomatika - Geomatics, 2013, no. 4, pp. 32–36.

УДК 553.98

МЕТОД ВЫЯВЛЕНИЯ ЗОН С ОСТАТОЧНЫМИ ЗАПАСАМИ НЕФТИ**Уваров Ф.В.***ОАО «Сургутнефтегаз», Тюменское отделение «СургутНИПИнефть», Тюмень,
e-mail: ufv519@gmail.com*

Статья посвящена специфике нефтегазового производства – выявлению зон с остаточными запасами нефти. Актуальность рассматриваемой темы определяется необходимостью разработки наиболее эффективной и рациональной методики по выявлению зон остаточных запасов в ходе выработки эксплуатируемых запасов углеводородного сырья на различных этапах разработки месторождений в районах с разнообразными геологическими и гидродинамическими параметрами в геолого-промысловой аналитике следует уделить внимание вопросам «охвата пластов», заключающимся в определении относительного объема движущихся запасов в сферу дренирования от области нагнетания, а также воздействием и особенностям движения флюидов по продуктивным пластам. Для подготовки упрощенной алгоритмизации автором предложена концепция разработки метода, основанного на количественной оценке используемой информации. Проведение различных исследований с получением качественных результатов не только требует специальной подготовки, но и является процессом трудоемким и ресурсозатратным, а значит, необходимо сократить неэффективные исследования, результат которых можно определить аналитическим путем. В работе автором предложен аналитический метод оценки зон консолидации остаточных запасов нефти. Определен алгоритм выполнения расчетов по данному методу, его характеристика и возможность применения при отсутствии постоянно действующей геолого-гидродинамической модели. Исходя из специфики современного развития нефтегазовой отрасли и сложности поиска зон невыработанных запасов нефти на разрабатываемых месторождениях обоснована необходимость проведения расчетов по данному методу. Предложенный в статье метод «Дренирование» базируется на определении минимального объема породы для каждой скважины, из которого мог быть получен накопленный отбор углеводородов. Высотой данной объемной фигуры является эффективная нефтенасыщенная толщина пласта (или работающая нефтенасыщенная толщина, если представлены соответствующие результаты исследований). Площадью является эллипс, радиусы которого пропорциональны изменениям проницаемости в разных направлениях. Рекомендуется использовать направления, которые отражают максимальное изменение. Данный подход может быть использован также при анализе низкопроницаемых объектов, на которых проводится гидравлический разрыв пласта (далее – ГРП) при вводе скважин в эксплуатацию или повторные ГРП в период эксплуатации.

Ключевые слова: аналитические методы, геолого-промысловая информация, подсчет запасов, остаточные запасы, зона консолидации, геолого-гидродинамическая модель

**THE METHOD OF IDENTIFICATION OF THE AREAS
WITH THE RESIDUAL OF PETROLEUM****Uvarov F.V.***OJSC «Surgutneftegas», Tyumen department «SurgutNIPIneft», Tyumen, e-mail: ufv519@gmail.com*

The article is devoted to the specifics of oil and gas production – identification of zones with residual oil reserves. The urgency of the topic under consideration is determined by the need to develop the most effective and rational methodology for identifying areas of residual reserves during the development of exploitable hydrocarbon reserves at various stages of field development in areas with diverse geological and hydrodynamic parameters. In geological and commercial analytics, attention should be given to the issues of «formation coverage», which consists in determining the relative volume of moving reserves in the drainage area from the injection area, as well as the effects and features of the fluids movement through reservoirs. To prepare a simplified algorithmization, the author proposes the concept of developing a method based on a quantitative evaluation of the information used. Carrying out various studies with obtaining qualitative results does not only require special preparation, but is also a labor-consuming and resource-consuming process, and therefore it is necessary to reduce inefficient studies, the result of which can be determined analytically. In this paper, the author offers an analytical method for estimating zones of consolidation of residual oil reserves. An algorithm for performing calculations based on this method, its characteristics and the possibility of application in the absence of a constantly operating geological and hydrodynamic model is determined. Based on the specifics of the modern development of the oil and gas industry and the complexity of searching for zones of unprocessed oil reserves in the developed fields, the need for calculations based on this method is justified. The «Draining» method proposed in the article is based on determining the minimum rock volume for each well, from which the accumulated selection of hydrocarbons could be obtained. The height of this volumetric figure is the effective oil-saturated thickness of the formation (or the working oil-saturated thickness, if the relevant research results are presented). The area is an ellipse whose radii are proportional to changes in permeability in different directions. It is recommended to use directions that reflect the maximum change. This approach can also be used in the analysis of low permeability objects where hydraulic fracturing of the formation (hereinafter referred to as «fracturing») is performed when wells are put into operation or repeated fracturing during operation.

Keywords: analytical methods, geological information, reserve estimation, residual reserves, consolidation zone, geological and hydrodynamic model

Отсутствие системного подхода в вопросах стимулирования добычи трудноизвлекаемых запасов (далее по тексту – ТИЗ) нефти

заставляет постоянно возвращаться к проблеме, так как принятые ранее меры неизменно оказывались недостаточно эффективными.

Цель исследования

Максимальная реализация основных резервов: повышения отдачи от месторождений; рациональное (с позиций концепции устойчивого развития) использование сырьевой базы; активное использование и включение в оборот трудно извлекаемых запасов нефти.

Материалы и методы исследования: аналитические материалы, статьи и публикации по теме, разработки автора.

Результаты исследования и их обсуждение

Такие проекты требуют значительных капиталовложений и инновационных технологий, доступ к которым в связи с санкциями, сегодня существенно ограничен. В этой связи актуализируется задача отечественных разработок. Для этого необходимо создать для инвесторов привлекательные условия, чтобы выход на новые площадки, разработка технологически сложных месторождений были выгодными и интересными для компаний, гарантировали бы и возврат инвестиций, и экономически обоснованный уровень рентабельности. Сделать это без совершенствования методов выявления зон с остаточными запасами нефти нельзя.

Разведанные геологические запасы нефти делятся на две части: извлекаемые и остаточные неизвлекаемые. При традиционном способе вода, закачиваемая в пласт, вытесняет часть разведанных геологических запасов нефти, в то же время другую часть остаточных запасов, наоборот, делает ещё менее доступной. Основным недостатком традиционного применяемого способа разработки нефтяных месторождений методом заводнения заключается также в том, что неизвлекаемая часть геологических запасов нефти существенно превышает извлекаемую часть геологических запасов нефти [1]. Так, доля извлекаемых запасов колеблется в пределах 20–50%, тогда как доля неизвлекаемых запасов в пределах 50–80%.

В перспективе степень выработанности неоднородных по проницаемости пластов нефтяных месторождений, как правило, будет определяться размерами застойных, т.е. не охваченных фильтрацией зон, а также их взаимным расположением. Численные методы, реализованные в применяемых сегодня программных продуктах, пригодные для создания карт остаточных запасов требуют расчета адаптированной к совокупной истории разработки геолого-гидродинамической модели. В данном случае из-за пространственной неоднородности пласта сложно учесть

действительное направление движения фильтрационных потоков. Сегодня решение обратной задачи подземной гидродинамики позволяет определять величины, показывающие процессы фильтрации. Речь идет о проницаемости, упругоёмкости, пьезопроводности и т.п., на базе известных фактических динамик дебитов и давлений. Нахождение множества неизвестных параметров при минимизации суммарных расхождений между расчетными, т.е. теоретическими и фактическими изменениями параметров фильтрации (по дебитам или давлению) базируется на решении задач нелинейного программирования. Использование данного подхода при разработке метода локализации остаточных запасов нефти на базе изучения обратных задач подземной гидродинамики дает возможность обеспечить проектную выработку запасов нефтяных месторождений.

Анализ выработки запасов нефти чаще всего ведется отдельно от разработки методов оценки и локализации остаточных запасов. В связи с этим их методологические подходы бывают совершенно разными. Эффективность действующих систем разработки нефтяных месторождений с заводнением по большей части определяется полнотой энергетического действия на промышленные запасы нефти, а также характером процесса вытеснения. Как правило, на ранних этапах это поршневое вытеснение, тогда как на поздних – уже струйное. Именно этот фактор способен формировать неподвижные зоны повышенной нефтенасыщенности. Определение типа вытеснения критически важно для темпов добычи нефти, а тем более – для полноты ее извлечения. Последняя в продуктивных пластах в условиях заводнения в максимальной степени производна от коэффициента охвата продуктивного объекта разработки, причем как стратиграфически, так и по вертикали. Это в том числе зависит и от свойств продвижения вытесняющего агента, а также от интерференционной неоднородности между нагнетательными и добывающими скважинами.

Здесь, в геолого-промысловой аналитике следует уделить внимание вопросам «охвата пластов», заключающимся в определении относительного объема движущихся запасов в сферу дренирования от области нагнетания, а также воздействием и особенностям движения флюидов по продуктивным пластам. Из числа геолого-физических факторов, детерминирующих процесс выработки нефтяных запасов, целесообразно выделить фильтрационные свойства продуктивных коллекторов, а также характер

анизотропности, реологические свойства, физические и химические свойства насыщающих пласты и закачиваемых в них флюидов. Базовыми технологическими факторами, оказывающими влияние на параметры заводнения и, соответственно, нефтеотдачи пластов, следует считать 1) свойства и геометрию сеток добывающих скважин, 2) общую топологию системы поддержания пластового давления, 3) темп дренирования и нагнетания, 4) технологию отбора и нагнетания воды, 5) гидродинамическую ситуацию и её изменчивость при разработке гидродинамических связанных пластов, 6) характер вскрытия продуктивных пластов скважинами [1].

В 2015 г. Д.А. Баталовым был разработан и теоретически обоснован математический метод поиска полей нефтенасыщенности на базе топологической схемы интерференции скважин с применением анализа их режимов в системе вода – нефть. В частности, проведенное автором исследование показало, что данный метод дает возможность достичь требуемой точности, превышающей 75%, при условии накопления промыслового опыта разработки превышающего 46% от предельного времени или 82% – от конечного коэффициента извлечения нефти (далее – КИН) [2].

Самым распространенным методом искусственного воздействия на нефтеносные пласты остается заводнение. Базовым параметром, используемым для оценки потенциально возможной добычи нефти, остается коэффициент вытеснения нефти водой, характеризующий содержание остаточной нефти в поровом пространстве горной породы при предельном ее вытеснении [3]. Значение указанного параметра для конкретного объекта разработки дает возможность оценить потенциально подвижные запасы нефти.

Базовым методом выявления остаточной нефтенасыщенности также остается метод лабораторного моделирования процесса заводнения на моделях пласта. На базе специального обследования строятся корреляционные зависимости остаточной нефтенасыщенности от фильтрационно-емкостных характеристик пород-коллекторов. Далее они используются при выборе оптимальных проектных вариантов разработки месторождений. Применяемый метод определения коэффициента вытеснения нефти водой в то же время, по оценкам российских специалистов, недостаточно информативен и требует дополнительной поправки [4].

Для планирования рациональной разработки эксплуатационных объектов, при-

уроченных к различным районам, различающихся по своим геологическим, гидродинамическим параметрам, находящихся на различных этапах разработки, возникает необходимость создания такой методики выявления зон с остаточными запасами углеводородов, при которой поиск данных участков будет происходить максимально быстро с применением упрощенных алгоритмов и без требований специальных навыков от пользователя [5].

Ввиду решения поставленной задачи, а именно подготовки упрощенной алгоритмизации автором предложена концепция разработки метода, основанного на количественной оценке используемой информации. Проведение различных исследований с получением качественных результатов не только требует специальной подготовки, но и является процессом трудоемким и ресурсозатратным, а значит, необходимо сократить неэффективные исследования, результат которых можно определить аналитическим путем [6, 7].

В связи с постоянной изменчивостью эксплуатации скважин использование наиболее эффективного метода (такого, как гидродинамическое моделирование) ежедневно невозможно, создание постоянно действующей геолого-гидродинамической модели трудоемко ввиду ограниченности информации и технической базы, а любой срок ожидания от остановки скважины до начала проведения определенного вида ремонта или геолого-технического мероприятия с целью увеличения нефтедобычи негативно сказывается на результатах последнего [5, 8, 9]. Определение консолидирования запасов нефти в объемах, сопоставляемых с окупаемостью мероприятий, направленных на их извлечение, позволит оперативно принимать решения об использовании скважин, выполнивших свое проектное назначение на одних объектах, в качестве добывающих или в качестве вспомогательных на других эксплуатационных объектах [10].

Предложенный метод основан на применении базовой формулы подсчета запасов объемным методом при изменении отдельно взятых параметров, или же вычислении одной из составляющих данной формулы [5].

В ходе работы метод апробирован для каждого из четырех уникальных эксплуатационных объектов, на текущую дату проведен анализ полученных результатов, определены зоны с остаточными запасами нефти, результаты сопоставлены с иными аналитическими методами оценки и с построенной геолого-гидродинамической моделью, предложены

мероприятия по дальнейшему проведению геолого-технических мероприятий [6, 9].

Как было сказано ранее, при выявлении зон с остаточными запасами не может использоваться только один аналитический метод [1, 11]. Но необходим метод, применяемый на любых эксплуатационных объектах в любых геологических условиях.

Разработанный автором метод «Дренирование» основан на определении для каждой скважины минимального объема породы, из которого мог быть получен накопленный отбор углеводородов. Высотой данной объемной фигуры является эффективная нефтенасыщенная толщина пласта (или работающая нефтенасыщенная толщина, если представлены соответствующие результаты исследований). Площадью является эллипс, радиусы которого пропорциональны изменениям проницаемости в разных направлениях. Рекомендуется использовать направления, которые отражают максимальное изменение. Данный подход может быть использован также при анализе низкопроницаемых объектов, на которых проводится гидравлический разрыв пласта (далее – ГРП) при вводе скважин в эксплуатацию или повторные ГРП в период эксплуатации. В случае отсутствия программного продукта, способного автоматически производить данный расчет в виде эллипса, возможно использование круга в качестве начальной площади. Тогда формула (1) поиска радиуса будет иметь следующий вид:

$$R = \sqrt{\frac{Q}{(h * K_p * K_{nn} * \rho * K_{пер} * K_{охв} * K_{выт} * \pi)}}, \quad (1)$$

где R – радиус круга;

Q – накопленная добыча нефти / накопленная закачка воды (для добывающих / нагнетательных скважин);

h – эффективная нефтенасыщенная (работающая) толщина;

K_p – коэффициент пористости;

K_{nn} – коэффициент нефтенасыщенности;

ρ – плотность нефти в поверхностных условиях;

$K_{пер}$ – пересчетный коэффициент для перевода нефти из поверхностных условий в пластовые;

$K_{охв}$ – коэффициент охвата;

$K_{выт}$ – коэффициент вытеснения.

Эффективная нефтенасыщенная толщина, коэффициенты пористости и нефтенасыщенности могут быть приняты по скважинным данным или по данным утвержденной геологической модели. Плотность нефти в поверхностных условиях, пересчетный коэффициент – значения, принятые при проектировании, соответствуют актуальной геоло-

гической модели. Коэффициент охвата также может быть выбран в качестве утвержденного или рассчитан по отдельным блокам соответствующими методиками и алгоритмами.

Коэффициент вытеснения рассчитывается по стандартной формуле

$$K_{выт} = \frac{(K_{nn_нач} - K_{nn_ост})}{(K_{nn_нач})}, \quad (2)$$

где $K_{nnнач}$ – коэффициент начальной нефтенасыщенности, $K_{nnост}$ – коэффициент остаточной нефтенасыщенности.

В качестве коэффициента остаточной нефтенасыщенности выбрано соответствующее значение, утвержденное в проектом документе на разработку месторождения, или рассчитанное значение по утвержденным петрофизическим зависимостям.

Далее построенные площади для каждой скважины необходимо визуализировать. Построенные области отражают конкретный объем пород, дальнейшая выработка запасов которых будет экономически нецелесообразной. Они не являются первоочередными для планирования геолого-технических мероприятий. Данные зоны возможно уточнить, пересчитав перечисленные выше показатели для построенных площадей. Затем полученные средние значения возможно использовать для расчета зон. Использование данного алгоритма через некоторое количество расчетов приведет к состоянию сопоставления полученной площади с конкретными значениями параметров в пределах ее контура. Данный повторяемый шаг не является обязательным, но может быть программируемым для увеличения точности и времени расчета.

Ранее было сказано, что таким методом определяется минимальный объем выработанной породы, в зоны с граничным значением трудноизвлекаемых запасов (далее – ТИЗ) (значение окупаемости мероприятия) планировать геолого-технические мероприятия нежелательно ввиду меньшей точности метода по сравнению с построенной геолого-гидродинамической моделью.

При построении данных зон рекомендуется не учитывать некоторые последние исследования текущей нефтенасыщенности и ввода новых скважин или стволов на рассматриваемый объект с целью апробации метода на данном эксплуатационном объекте этими данными после получения результатов. Сопоставление построенных площадей с входными показателями работы неучтенных скважин и неучтенными результатами геофизических исследований, например, по определению текущей нефтенасыщенности по-

зволит определить корректность построений и в отдельных случаях подобрать масштаб отображения путем ввода поправочного коэффициента в радиусы площадок. Например, по некоторой скважине, не участвовавшей в построении площадок, получена значительная входная обводненность, в то время как данная точка не перекрыта площадками соседних скважин. Необходимо скорректировать радиусы всех скважин так, чтобы данная точка была задействована как неперспективная область для проведения геолого-технических мероприятий с целью повышения рентабельности предлагаемых ремонтов и работ. Карту с нанесенными площадками необходимо интегрировать с целью построения перспективных для проведения геолого-технических мероприятий зон. Используя утвержденную геолого-гидродинамическую модель залежи, возможно рассчитать остаточные запасы по полученным сегментам, выбрать наиболее перспективные участки и соответственно убрать из перспективных те участки, объем запасов которых несопоставим с затратами на их разработку на текущий период с применение известных технологий. Данный шаг позволяет уменьшить погрешность метода.

Выводы

Как было оговорено ранее, ни один из существующих сегодня оперативных аналитических методов не позволяет достоверно определить зоны консолидации остаточных запасов нефти, поэтому необходимо применять не менее двух методов оценки. Вероятность проведения эффективных мероприятий в перекрываемых зонах, выделенных по двум или более методам, при этом увеличивается. Комплексование нескольких методов позволяет уменьшить погрешности построения отдельных методов и выявить зоны, максимально привлекательные для эффективного проведения мероприятий по вводу в разработку слабодренлируемых или недренлируемых ранее участков залежи.

Список литературы

1. Шпуров И.В. Трудноизвлекаемые запасы нефти Российской Федерации. Структура, состояние, перспективы освоения / И.В. Шпуров, А.Д. Писарницкий, И.П. Пуртова, А.И. Вариченко. – Тюмень: ФГУП «ЗапСибНИИГТ», 2012. – 256 с.
2. Баталов Д.А. Разработка метода локализации остаточных запасов нефти на поздних стадиях разработки: дис. ... канд. техн. наук: 25.00.17. – Тюмень, 2015. – 165 с.
3. Манырин В.Н. Физико-химические методы увеличения нефтеотдачи при заводнении / В.Н. Манырин, И.А. Швецов. – Самара, 2002. – 392 с.
4. Липчинский К.Н. Изменение структуры залегающих остаточных запасов нефти под действием естественных и техногенных факторов / К.Н. Липчинский, К.В. Киселев, О.В. Андреев // Вестник Тюменского государственного университета. Социально-экономические и правовые исследования. – 2007. – № 3. – С. 3–10.

5. Кудинов В.И. Основы нефтегазопромыслового дела / В.И. Кудинов. – Ижевск: Издательство Удмуртского университета, 2004. – 720 с.
6. Гималдинова А.Ф. Комплексные геофизические исследования разноразмерных водонефтяных контактов малоамплитудных залежей Западной Сибири: автореф. дис. ... канд. геол.-мин. наук (25.00.10). – Москва: МГУ, 2012. – 25 с.
7. Михайлов А.Н. Основные представления о переходных зонах и водных контактах в неоднородных пластах / А.Н. Михайлов // Георесурсы. Геоэнергетика. Геополитика. – 2012. – № 1(5). – С. 150–160.
8. Юфин П.А. Построение геолого-математической модели участка месторождения с трудноизвлекаемыми запасами // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. – 2014. – № 12. – С. 39–42.
9. Регламент по созданию постоянно действующих геолого-технологических моделей нефтяных и газонефтяных месторождений. РД 153-39.0-047-00. – М., 2000. – 164 с.
10. Шмелев В.А. Оптимизация затрат при освоении буровых установок для строительства нефтяных скважин / В.А. Шмелев, А.И. Сухарьков // Нефтяное хозяйство. – 2015. – № 1. – С. 38–40.
11. Лысенко В.Д. Новые эффективные методы увеличения добычи нефти // Нефтепромысловое дело. – 2012. – № 4. – С. 18–21.

References

1. Shpurov I.V. Pisarnitskii A.D. Purtova I.P. Varichenko A.I. Trudnoizvlekaemye zapasy nefiti Rossiiskoi Federatsii. Struktura, sostoianie, perspektivy osvoeniia [Hard-to-recover oil reserves of the Russian Federation. Structure, condition and prospects of development]. Tyumen, FGUP «ZapSibNIIGT», 2012, 256.
2. Batalov D.A. Razrabotka metoda lokalizatsii ostatochnykh zapasov nefiti na pozdnykh stadiakh razrabotki [Development of a method for localizing residual oil reserves in the late stages of development]. Tyumen, dissertatsiia Batalov D. A. , 2015, 165.
3. Manyrin V.N. Shvetsov I.A. Fiziko-khimicheskie metody uvelicheniia nefteotdachi pri zavodnenii [Physico-chemical methods of enhanced oil recovery by water flooding]. Samara, Dom pechati, 2002, 392.
4. Lipchinskii K.N. Kiselev K.V. Andreev O.V. Change in the structure of occurrence of residual oil reserves under the influence of natural and technogenic factors [Izmenenie struktury zaleganiia ostatochnykh zapasov nefiti pod deistviem estestvennykh i tekhnogennykh faktorov]. Vestnik Tiimenskogo gosudarstvennogo universiteta. Sotsial'no-ekonomicheskie i pravovye issledovaniia – Bulletin of Tyumen state University. Socio-economic and legal research, 2007, no. 3, pp. 3-10.
5. Kudinov V.I. Osnovy neftegazopromysloвого dela [Basics of oil and gas industry]. Izhevsk, Izdatel'stvo Udmurtskogo universiteta, 2004, 720.
6. Gimaldinova A.F. Kompleksnye geofizicheskie issledovaniia raznourovnevnykh vodoneftnykh kontaktov maloamplitudnykh zalezhei Zapadnoi Sibiri [Complex geophysical studies of multi-level oil-water contacts of low-amplitude deposits in Western Siberia]. Moscow, avtoreferat dissertatsii, 2012, 25.
7. Mikhailov A.N. The main ideas of transitional zones and water contacts in non-uniform stratum [Osnovnye predstavleniia o perekhodnykh zonakh i vodnykh kontaktakh v neodnorodnykh plastakh]. Georesursy. Geoenergetika. Geopolitika – Georesources. Geoenergetics. Geopolitics, 2012, vol. 5, no. 1. available at: http://oilgasjournal.ru/vol_5/mikhailov-senior.pdf. (accessed 02.04.2017).
8. Iufin P.A. Building of a geological-mathematical model of a field's sector with hardly-recoverable resources [Postroenie geologo-matematicheskoi modeli uchastka mestorozhdeniia s trudnoizvlekaemyimi zapasami]. Geologiya, geofizika i razrabotka nefitnykh i gazovykh mestorozhdenii - Geology, Geophysics and development of oil and gas fields, 2014, no. 12, pp. 39-42.
9. Mintopenergo Rossii Reglament po sozdaniiu postoianno-deistvuiushchikh geologo-tekhnologicheskikh modelei nefitnykh i gazoneftnykh mestorozhdenii. RD 153-39.0-047-00 [Regulations on the creation of permanent geological and technological models of oil and gas oil fields. RD 153-39.0-047-00]. Moscow, Opublikovan v Mintopenergo Rossii, 2000, 164.
10. Shmelev V.A. Sukhar'kov A.I. Cost reduction for oil well construction by means of use of drilling rigs [Optimizatsiia zatrat pri ispol'zovanii burovnykh ustanovok dlia stroitel'stva nefitnykh skvazhin]. Neftianoe khoziaistvo - Oil industry, 2015, no. 1, pp. 38-40.
11. Lysenko V.D. New efficient methods for increasing oil production [Novye effektivnye metody uvelicheniia dobychi nefiti]. Neftepromyslovoe delo - Oilfield business, 2012, no. 4, pp. 18-21.

ПЕРЕМАГНИЧИВАНИЕ ГОРНЫХ РУД

Урусова Б.И., Лайпанов У.М.

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

Приведены экспериментальные результаты возможности перемагничивания горной руды – габбро при одновременном воздействии температуры и слабых магнитных полей разных направлений порядка земного поля. Для измерения намагниченности насыщения и стабилизации температуры созданы экспериментальные установки: схема стабилизации температуры и схема автоматической записи остаточной намагниченности насыщения от температуры. При комнатной температуре (200 °С), величина и направление естественной намагниченности кубиков из разных частей образцов горной руды одинаковы как в случае прямо намагниченных, так и обратно намагниченных горных руд. Это связано с однородной намагниченностью в исследуемых образцах горных руд – габбро. Экспериментальные исследования показали, что направление естественно остаточной намагниченности прямо намагниченных образцов горных руд-габбро не изменяется до температуры ~600 °С при небольших магнитных полях и около ~600 °С совпадает с направлением внешнего поля. Когда внешнее поле направлено обратно, направлению естественной остаточной намагниченности не меняется до температуры ~400 °С, а выше ~500 °С происходят изменения знака направления. Магнитные явления в горной руде-габбро и условия образования в ней остаточной намагниченности являются весьма специфическими и наблюдаются следующие факторы: ферромагнитные зерна очень малы от 1 до 10 мкм в отличие от обычно рассматриваемых ферромагнитных массивных образцов; неоднородное рассеяние частиц по образцу; малость внешнего намагничивающего поля, в сравнении с внутренним образца (поле эффективной анизотропии и коэрцитивной силой); внешние немагнитные воздействия, оказывающие влияние на остаточную намагниченность; температура Кюри прямо намагниченных образцов находится в интервале 500–600 °С. Горная руда – габбро содержит мельчайшую выраженность магнита и составляет примерно 10%.

Ключевые слова: горная руда – габбро, остаточная намагниченность насыщения, перемагничивание, температура, Кюри, магнитное поле

REMAGNETIZATION OF MINING ORES

Urusova B.I., Laypanov U.M.

*Karachaevo-Cherkessk State University named after U.D. Aliev, Karachaevsk,
e-mail: urusova50@mail.ru*

The experimental results of the possibility of remagnetization of mining ore – gabbro with simultaneous influence of temperature and weak magnetic fields of different directions of the order of the Earth's field are presented. To measure the magnetization of saturation and stabilization of the temperature created by the experimental setup: schematic of temperature stabilization and automatic recording of the remanent saturation magnetization on temperature. At room temperature (200 °C), the magnitude and direction of the natural magnetization of the cubes from different parts of the samples of mining ore are the same as in the case of directly magnetized, as well as back magnetized mining ores. This is due to homogeneous magnetization in the samples of mountain ores – gabbro. Experimental studies have shown that the direction of naturally residual magnetization of directly magnetized samples of ore – gabbro does not change to a temperature of ~600 °C at small magnetic fields and about ~600 °C coincides with the direction of the external field. When the external field is directed back, the direction of the natural residual magnetization does not change to a temperature of ~400 °C, and above ~500 °C there is a change in the direction sign. Magnetic phenomena in mining ore-gabbro and conditions of formation of residual magnetization in it are very specific and the following factors are observed: the ferromagnetic grains are very small from 1 to 10 microns in contrast to the usual the considered ferromagnetic bulk samples; heterogeneous scattering particles in the sample; the smallness of the external magnetizing field, in comparison with an internal sample (field effective anisotropy and coercivity); a non-magnetic external effects influencing the residual magnetization; Curie temperature directly magnetized samples is in the range of 500–600 °C. Mining and ore – gabbro contains a smallest intensity of the magnet from and it's about 10%.

Keywords: mining ore-gabbro, residual saturation magnetization, remagnetization, temperature, Curie, magnetic field

Горные руды обычно содержат некоторое количество ферромагнитных зерен или ферримагнитных минералов. Поэтому большинство горных руд обнаруживают свойственные ферромагнетикам магнитный гистерезис и температуру Кюри, хотя их намагниченность в ряде случаев очень незначительно превышает намагниченность парамагнетиков. Рассеянное состояние ферромагнитных частиц не влияет на интенсив-

ность намагниченности и точку Кюри, но магнитная восприимчивость и гистерезисные характеристики горных пород имеют отличительные от чистых ферромагнетиков особенности. С точки зрения магнетизма «идеализированными горными породами» являются такие, в которых небольшое количество мелких ферромагнитных частиц эллипсоидальной формы распределено равномерно, частицы имеют хаотическую

ориентацию и находятся друг от друга на расстояниях, исключающих магнитное взаимодействие между ними.

Намагниченность горных руд зависит от целого ряда факторов и, в частности, от величины напряженности магнитного поля, температуры, давления, химических изменений, времени, механических деформаций и др. А промежуток времени, в течение которого магматические, горные руды приобретают тот или иной вид намагниченности, зависит от скорости остывания магм или скорости седиментации и диагенеза. Он может меняться в пределах от нескольких часов до десятков и тысяч лет.

Так как к настоящему времени в Карачаево-Черкесской республике (КЧР) не исследованы и не изучены магнитные свойства горных руд ввиду удаленности объектов исследований от научных центров; сложности и экономической дороговизны, неоднородности состава горнорудных руд и взаимодействие между ними, поэтому представляло интерес изучить горную руду – габбро.

Целью данной работы является экспериментальным путем выяснить возможность перемагничивания горной руды – габбро при одновременном воздействии температуры и слабых магнитных полей разных направлений порядка земного поля.

Материалы и методы исследования

Образцы горных руд – габбро были взяты из левобережья р. Марухи, Зеленчукского района, Карачаево-Черкесской республики, номером буровой скважины № 7/1022 и возрастом $vPR - PZ_1$.

Так как диапазон изменения первичной остаточной намагниченности одной и той же горной руды весьма велик, одно и то же значение намагниченности может быть у руд различного состава и учитывая, что существует еще вторичная остаточная намагниченность, которая возникает в результате последующего умеренного разогрева (например, при метаморфизме) или механической деформации (при тектонических нарушениях, дислокациях, метаморфизме и т.д.), химических изменениях, а также при общем размагничивании в ходе времени или под влиянием переменных магнитных полей локального происхождения.

Поскольку вторичная остаточная намагниченность, накладываясь на первичную остаточную намагниченность, затрудняет получение истинных значений, образцы в процессе экспериментальных измерений подвергали магнитной или термической

чистке. Сущность магнитной чистки пород заключается в том, что образец подвергали размагничиванию в плавно меняющемся переменном магнитном поле, в результате чего нестабильная вторичная остаточная намагниченность удалялась, а более стабильная первичная остаточная намагниченность сохраняется как бы в чистом виде.

Результаты исследования и их обсуждение

На рис. 1 приведена экспериментальная установка для стабилизации температуры. Схема стабилизации работала таким образом, что разностный сигнал сводился к нулю путем изменения тока через нагреватель. Питание потенциометра Р-306 осуществлялось от стабилизатора тока, что позволило устранить возможности изменения температуры из-за сползания рабочего тока потенциометра. Необходимая постоянная времени схемы стабилизации для данной температуры подбиралась посредством изменения коэффициента усиления предварительного усилителя Ф-116 и параметров фильтра схемы У-1136. Измерения температуры проводились «золото – хромель» термопарой «К», ЭДС которой измерялась потенциометром Р-348. Измерения намагниченности насыщения от температуры автоматически записывались на ЭВМ.

Ориентированный образец – габбро кубической формы медленно нагревался до 200 °С. При постоянной температуре образец – габбро выдерживался около 5 часов и затем медленно охлаждался до комнатной температуры. Затем несколько раз повторяли нагрев от комнатной температуры до 600 °С с шагом 100 °С. Опыты показали, что степень нагрева не вносит существенных изменений намагниченности горной руды габбро.

Исследование температурной зависимости остаточной намагниченности насыщения проводилось баллистическим методом [1–2] и велась автоматическая запись исследуемых процессов (см. рис. 2). Для регистрации сигнала с измерительной катушки использовался микроверметр Ф-190, при этом величина погрешности измерений составляла 2,5%. Измерительная катушка имела две секции. Намотанные проводом ПЭЛ 0.05 навстречу друг другу и дополнительную докомпенсирующую секцию из 60 витков. Так что сигнал, возникающий в них при изменении однородного поля, был скомпенсирован.

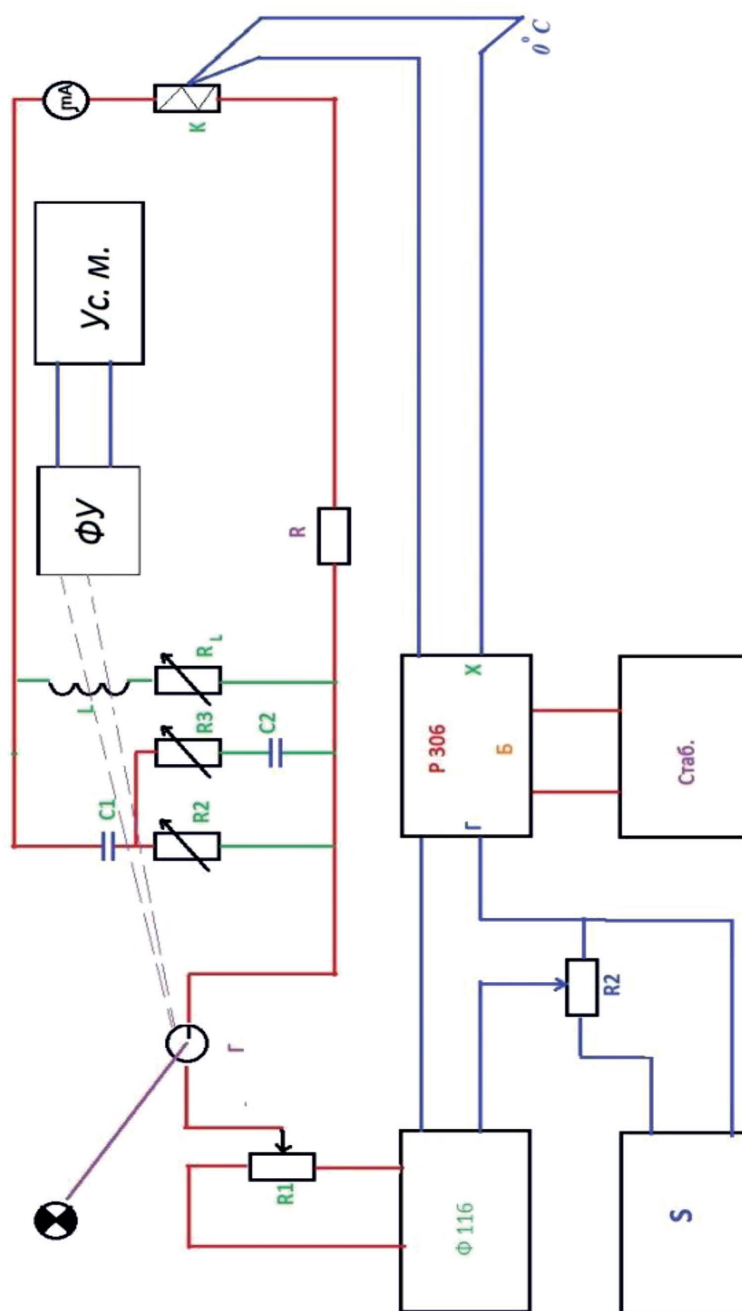


Рис. 1. Схема стабилизации температуры

При измерении намагниченности насыщения образец протодергивался через катушку, что позволяло избежать погрешности, связанной с первоначальным положением образца. Запись сигнала с катушек осуществлялась автоматически при помощи ЭВМ (см. рис. 2).

Магнитное поле создавалось с помощью сверхпроводящего соленоида с по-

стоянной напряженностью 1,91 кЭ и критическим током 25 мА поддерживалось с точностью до 0,5%. Неоднородность магнитного поля не превышала 0,4% на сантиметр. Блок питания соленоида позволял задавать нужное значение тока через соленоид, по измерительной величине которого рассчитывалась величина магнитного поля [3].

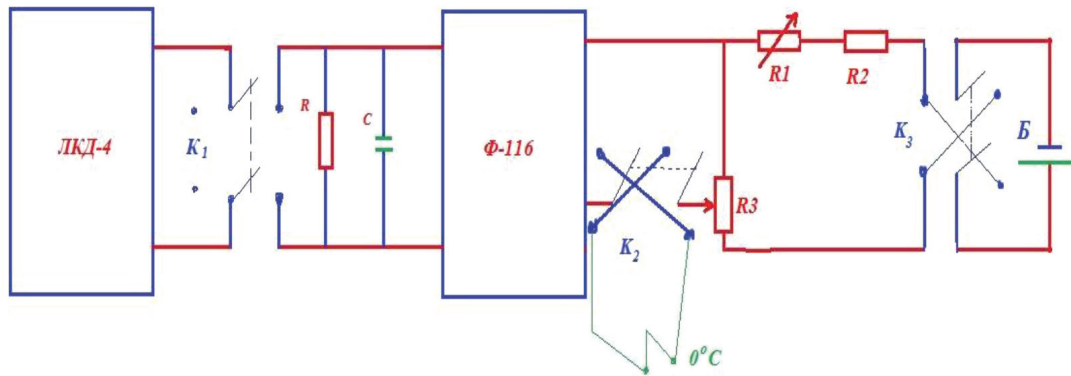


Рис. 2. Схема автоматической записи остаточной намагниченности насыщения от температуры

Направление тока изменяли при помощи ключа. Расчет истинного поля в образце проводился по формуле

$$H_{\text{ист}} = H_{\text{внеш}} - NI, \quad (1)$$

где N – размагничивающий фактор [4].

После каждого нагрева при комнатной температуре с каждого ориентированного образца были вырезаны несколько кубиков ($30 \times 30 \times 30 \text{ мм}^2$) для изучения изменения вектора естественной остаточной намагниченности в разных температурных условиях и внешнего магнитного поля, а также для проверки стабильности намагничивания образца методом переменного магнитного поля (магнитное поле Земли скомпенсировано) [5].

При комнатной температуре (20°C) величина и направление естественной намагниченности кубиков из разных частей образцов горной руды одинаковы как в случае прямо намагниченных, так и обратно намагниченных горных руд [6]. По-видимому, это связано с однородной намагниченностью в исследуемых образцах горных руд – габбро.

Таким образом, эксперимент показывает, что направление естественной остаточной намагниченности прямо намагниченных образцов горных руд – габбро не изменяется до температуры $\sim 600^\circ\text{C}$ при небольших магнитных полях и около $\sim 600^\circ\text{C}$ совпадает с направлением внешнего поля. Когда внешнее поле направлено обратно, направление естественной остаточной намагниченности не меняется до температуры $\sim 400^\circ\text{C}$, а выше $\sim 500^\circ\text{C}$ происходят изменения знака направления.

На рис. 3 приведены кривые изменения остаточной намагниченности насыщения – $I_{\text{ТС}}$ от температуры.

Температура Кюри прямо намагниченных образцов находится в интервале $500\text{--}600^\circ\text{C}$. По-видимому, что прямо намагниченная горная руда содержит мельчайшую выраженность магнита от 1 до 10 мкм. Наши исследования показали, что выраженность магнита в горной руде – габбро составляет примерно 10%.

Выводы

Экспериментальное исследование показало, что магнитные явления в горной руде – габбро и условия образования в ней остаточной намагниченности являются весьма специфическими и можно выделить следующие основные факторы:

1. Ферромагнитные зерна очень малы, от 1 до 10 мкм, в отличие от обычно рассматриваемых ферромагнитных массивных образцов.
2. Неоднородное рассеяние частиц по образцу.
3. Малость внешнего намагничивающего поля, в сравнении с внутренним образца (поле эффективной анизотропии и коэрцитивной силой).
4. Внешние немагнитные воздействия, оказывающие влияние на остаточную намагниченность.
5. Температура Кюри прямо намагниченных образцов находится в интервале $500\text{--}600^\circ\text{C}$. Прямо намагниченная горная руда содержит мельчайшую выраженность магнита от 1 до 10 мкм и составляет примерно 10%.

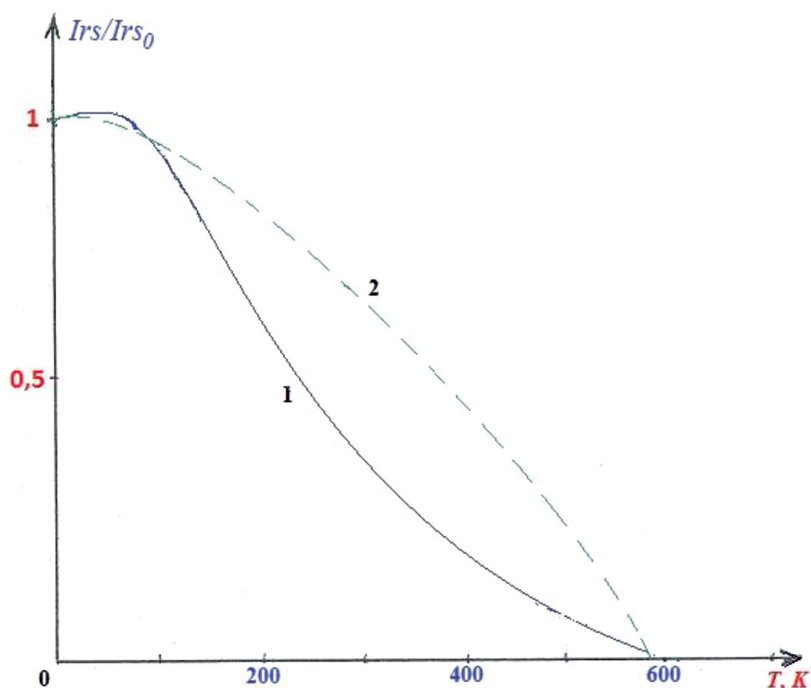


Рис. 3. Изменение остаточной намагниченности насыщения $-I_{rs}$ от температуры (1 – прямо намагниченная кривая; 2 – обратно намагниченная кривая)

6. Когда внешнее магнитное поле направлено обратно в горной руде – габбро, направлению естественной остаточной намагниченности, то направление остаточной намагниченности не меняется до температуры $\sim 400^\circ\text{C}$, а выше $\sim 500^\circ\text{C}$ происходит изменение знака.

Список литературы

1. Емуродский П.В. Электротехника и электроника / П.В. Емуродский. – М.: «Феникс», 2018. – 600 с.
2. Трухин В.И. Физическая и компьютерная модели явления самообращения намагниченности горных пород / В.И. Трухин, Н.С. Безаева, Т.В. Матвеева, П. Рошет // Физика Земли. – 2006. – № 2. – С. 50–63.
3. Гончаров С.А. Физика горных пород: физические явления и эффекты в практике горного производства / С.А. Гончаров, П.Н. Пашенков, А.В. Плотников. – М.: Дом МИ-СиС, 2016. – 27 с.
4. Урусова Б.И. Физика магнитных явлений горных пород. / Урусова Б.И. – СПб.: Инфо – да, 2010. – 123 с.

5. Heider F. Temperature dependence in magnetic crystal / F. Heider, S.L. Halgedain, D.I. Dunlop // Geophys. Res. Lett. – 1988. – Т. 15, № 5. – С. 199.

6. Ржевский В.В. Основы физики горных пород / В.В. Ржевский, Г.Я. Новик. – СПб.: Ленанд, 2014. – 368 с.

References

1. Emurodskii P.V. Elektrotehnika i elektronika. [Electrical engineering and electronics.]. Moscow, Feniks, 2018, 600.
2. Trukhin V.I. Physical and computer models of self-transformation of magnetization of rocks [Fizicheskaja i komp'uternaia modeli javleniia samoobrashcheniia namagnichennosti gornykh porod]. Fizika Zemli - Physics Of The Earth, 2006, no. 2, pp. 50.
3. Goncharov S.A. Fizika gornykh porod: fizicheskie javleniia i efekty v praktike gornogo proizvodstva. [Physics of rocks: physical phenomena and effects in the practice of mining.]. Moscow, Dom MI-SiS, 2016, 27.
4. Urusova B.I. Fizika magnitnykh javlenii gornykh porod [Physics of magnetic phenomena of rocks]. St. Petersburg, Info – da, 2010, 123.
5. Heider F. Temperature dependence in magnetic crystal. Geophys. Res. Lett, 1988, vol. 15, no. 5, pp. 199.
6. Rzhetskii V.V. Osnovy fiziki gornykh porod [Basics of rock physics]. St. Petersburg, Lenand, 2014, 368.

НАУКИ О ЗЕМЛЕ

УДК 621.315.613.1:549.623.5

**СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ СЛЮДЯНОЙ ОБЛАСТИ.
ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ****Шишелова Т.И., Житов В.Г.***Иркутский национальный исследовательский технический университет, Иркутск,
e-mail: tamara.shishelova@gmail.com*

Слюда – достаточно простой и известный минерал, который находит применение во многих отраслях промышленности. Слюда исследуют и используют почти во всех странах мира. Впервые слюда нашла применение в качестве оконных вставок. Области использования постоянно расширяются и возобновляются. Так как слюда обладает высокими электроизоляционными свойствами, областью применения долго являлась электротехническая промышленность. Диапазон использования слюды в настоящее время достаточно широк. Слюда находит применение для производства различных слюдосодержащих композиционных материалов. Редкие природные качества слюд будут востребованы в развитии технологий будущего. Целью работы явилось изучение состояния слюдяной отрасли в России. Рассмотрение решения вопроса успешного возобновления и развития слюдяной отрасли России. Выявление перспективных областей использования слюды. Приводится анализ решения проблемы. Анализируются работы зарубежных авторов. Выявление наиболее перспективных областей использования слюд будет способствовать успешному возобновлению слюдяной промышленности. Для успешного решения необходимо расширить перспективные отрасли использования слюды. Такими областями использования слюды являются строительная индустрия, экология. Особый интерес представляет использование слюды в нанотехнологии для машиностроительных материалов, обладающие долгосрочной перспективой развития. Рекомендуется возможность применения композиционных материалов на основе слюды в радиационной и космической тематике.

Ключевые слова: слюда, слюдо-композиты, использование, добыча, перспективы, микалекс, мусковиты, флюгоптиты, радиационная защита

MODERN CONDITION OF THE MICA SPHERE. PROBLEMS AND PROSPECTS**Shishelova T.I., Zhitov V.G.***Irkutsk National Research Technic University, Irkutsk, e-mail: tamara.shishelova@gmail.com*

Mica is a fairly simple and well-known mineral, which finds application in many industries. Mica is explored and used in almost all countries of the world. For the first time, mica found application as window inserts. Areas of use are constantly expanding and resuming. Possessing high electrical insulation properties, the field of application for a long time was the electrical industry. The range of use of mica is now quite wide. Mica is used for the production of various mica-containing composite materials. Rare natural qualities of mica will be in demand in the development of future technologies. The aim of the work was to study the state of the mica industry in Russia. Consideration of the solution of the issue of the successful resumption and development of the mica industry in Russia. Identification of promising areas of mica use. Results of the study. An analysis of the solution of the problem is given. The works of foreign authors are analyzed. The identification of the most promising areas of use of micas will contribute to the successful resumption of the mica industry. For a successful solution, it is necessary to expand the promising fields of mica use. Such areas of mica use are construction industry, ecology. Of particular interest is the use of mica in nano-technology for machine-building materials that have a long-term development perspective. It is recommended to use composite materials based on mica in radiation and space topics.

Keywords: mica, mica-composites, use, extraction, prospects, micalaks, muscovites, fugovit, radioactive-defence

История использования слюды. Первую крупнолистовую слюду, с которой познакомилась европейская цивилизация, добывали в Карелии. В XVII – начале XVIII в. её крупными партиями вывозили на запад через Архангельский порт, и она являлась одним из важнейших экспортных товаров России. Светлую слюду называют *мусковит*. Происходит это название от города Москвы, или правильнее «Московиин» [1–2].

Цель работы

Изучение состояния слюдяной отрасли в России: Основные месторождения и запасы слюды. Свойства и разновидности слюды, используемые в слюдяной промыш-

ленности. Анализ решения проблемы по восстановлению слюдяной отрасли. Выявление перспективных отраслей её использования.

В настоящее время невозможно установить, когда впервые начали применять слюду как промышленное сырье. Впервые использовалась карельская слюда для вставок в оконные переплёты древнего Новгорода X–XII века. Большой спрос на крупнолистовую слюду был в XVI в. Английские купцы вывозили её из России большими партиями, предпочитая слюдяные окна еще не совершенному тогда оконному стеклу. К середине XVII в. появился самостоятельный центр добычи слюды и в Сибири. Роль

местного потребления слюды была довольно велика. В конце XVII в. были открыты месторождения слюды на Алдане, которые не имели в то время большого промышленного применения. В конце XIX и начале XX вв. её использовали для хозяйственных ремесёл. В больших объёмах слюду стали применять в электротехнической промышленности, которая развивалась очень медленно, и только в период войны 1914 г. начался существенный рост. Следующий этап развития слюдяной промышленности Советского Союза имел место во время Великой Отечественной войны. В послевоенные годы было сделано еще одно крупное открытие. Было открыто Ковдорское месторождение флогопитовой слюды. Очень хорошие мусковитовые слюды добываются в Индии, их сравнительно невысокая цена складывалась за счёт дешевого рабочего труда. Россия закупала индийскую мусковитовую слюду, тем самым пополняя недостающую потребность.

Свойства и разновидности слюды. Слюда является одним из самых распространенных в земной коре минералов. Содержание её в верхних слоях земной коры составляет 2–4% всего объёма горных пород [3]. Несмотря на широкое распространение в природе различных слюд, в том числе биотита (магнезиально-железистая слюда), лепидолита, циннвальдита (литиевые слюды) и других, наибольшее промышленное значение имеют мусковит $KAl_2[AlSi_3O_{10}](OH,F)_2$ (калиево-алюминиевая слюда) и флогопит $K(Mg,Fe)_3[AlSi_3O_{10}](OH,F)_2$ (калиево-магнезиальная слюда) [4].

Важнейшими свойствами мусковита и флогопита, определяющими их промышленное использование (помимо способности к расщеплению на тонкие, упругие и гибкие пластинки), являются: высокая механическая прочность и высокие диэлектрические и электрические свойства.

Запасы слюды в Иркутской области. В недрах Иркутской области имеется два вида слюды: мусковит (светлая калиевая слюда, залегающая в Мамско-Чуйском и Гутаро-Бирюсинском мусковитовых районах); флогопит (железисто-магнезиальная слюда, сосредоточенная в Слюдянском-флогопитовом районе). Прогнозные ресурсы всех видов слюды оценены в 1640 млн т, балансовые – в 704 млн т. Известны такие месторождения, как Витимское, Колотовское, Большесевёрное, Луговское, Слюдянское, Согдиондонское, Чуйское. Месторождения известны с 1689 г.

В настоящее время в районе сосредоточены все основные запасы и вся добыча слюды области [5]. Основными потребителями слюды являлись Иркутская слюдяная фабрика (65%) и Балашовский слюдокомбинат в Саратовской области (35%).

Сейчас прогнозные ресурсы флогопита по Слюдянскому району оцениваются примерно в 300 тыс. т. Это позволяет в случае появления спроса на данный вид слюды возобновить добычу в объёме порядка 1,5 тыс. т промсырца в год [6].

Области использования слюд. Флогопит и мусковит – это высококачественные электроизоляционные материалы, незаменимые в электротехнических областях. Большие размеры листов, получаемых при склеивании пластин слюды и миканита, применяются в качестве первосортного электро- и теплоизоляционного материала. Мелкая слюда и скрап, полученный из молотой слюды, используются преимущественно в цементной, строительной, резиновой промышленности, в процессе производства пластмасс, красок, клея, герметиков, мастик и т.д. [7–9].

Государственная политика СССР, направленная на усиление оборонного потенциала страны, привела к стремительному росту военно-промышленного комплекса, ставшего основным потребителем слюды. Слюда становится одним из стратегических видов минерального сырья. Значительно увеличился и ассортимент изделий из нее. Это потребовало открытия специализированных фабрик по переработке слюды. В период с 1925 по 1966 гг. на территории СССР были открыты 13 специализированных фабрик. В начале 1960-х гг. резко возросла потребность народного хозяйства в производстве листовой слюды как материала для электроизоляционной промышленности. Возникла необходимость в подготовке инженерных кадров. Эту работу в Сибири возглавил ректор Иркутского политехнического института (ИПИ) С.Б. Леонов – крупный ученый, государственный деятель, организатор научных исследований вузовской науки. Под его руководством работал большой коллектив ученых в направлении добычи и переработки слюды. В 1980–1990-х гг. был проведен большой объем исследовательских работ по обогащению крупнолистовой и мелкоформатной слюды, что позволило комплексно использовать минеральное сырьё.

Под руководством д.т.н. Т.И. Шишеловой на основе научных достижений и экспе-

риментальных исследований разработаны теоретические основы технологии создания новых термически устойчивых слюдо-содержащих материалов и эффективных нагревательных элементов [10–12], предусматривающих расширение сырьевой базы и рациональное использование минерального сырья [13–14]. На основе слюдокерамических электронагревателей (СКЭН) была разработана нагревательная слюдо-керамическая панель. Это была принципиально новая область использования микалекса в электротермии. Были также проведены научные работы по использованию нагревостойких композитов на основе слюды в металлургической промышленности. В частности, изделия из них применялись для разлива алюминия на заводе в городе Шелехов. Совместно с учеными Москвы и Ленинграда были разработаны другие слюдокомпозиты с высокими электротехническими характеристиками взамен дорогостоящих материалов, таких как электротехнический фарфор, кордиеритовая керамика и другие материалы, которые имели более низкие электротехнические характеристики.

Большая работа проведена по внедрению СКЭНов, на основе которых были разработаны системы электроотопления зданий: нагревательные панели, теплые полы, воздухонагреватели, калориферы. В 1950–1960-х гг. в Иркутской области большими темпами развивалась слюдяная отрасль промышленности. В Иркутской области находились две слюдяные фабрики, которые перерабатывали слюду. В настоящее время Иркутская слюдяная фабрика полностью закрыта, а на ее месте расположен рынок. На Нижне-Удинской фабрике функционирует только один цех.

В первой половине 1990-х гг. спрос на слюдяные материалы на российском рынке значительно сократился вследствие резкого падения производства в отраслях ВПК, потреблявших в 1980-е гг. до 70% добывавшейся в СССР слюды. Это пагубно сказалось на отечественной добывающей слюдоиндустрии. Были законсервированы ранее эксплуатировавшиеся слюдяные месторождения, закрыты, перепрофилированы либо фактически перестали существовать многие слюдоперерабатывающие фабрики [15].

Начиная с 2000-х гг. в связи с постепенным выходом России из экономического кризиса начинает расти потребность отечественного рынка в слюде. Однако количество добываемой в России слюды падает год от

года и не удовлетворяет все возрастающие потребности отечественной промышленности.

В настоящее время в Иркутской области имеются очень большие запасы слюды, есть и рабочая сила и еще сохранился научный потенциал. Для возрождения слюдяной отрасли промышленности необходимо разрабатывать новые перспективные области использования слюды, в результате которых слюда займет определенное место в развивающейся индустрии страны. В этом направлении работают ученые ИРНИТУ. Одной из перспективных областей использования слюды является экология [16, 17]. В этом направлении работали и другие ученые [18–20].

Ученые из Государственного университета штата Пенсильвания при поддержке Национального научного общества (NSF) провели исследования по проблеме удаления вредных веществ из загрязненных рек и питьевой воды с помощью слюдяной пульпы. Профессором минералогии глин Ридхаром Комарнени доказано, что синтетическая глина, известная как разбухающая слюда, может отделять ионы радия от воды. Это открытие может иметь огромное значение для ядерной промышленности при проведении захоронений радиоактивных и опасных для окружающей среды промышленных отходов. Ученые из Белоруссии применяли порошок слюды для очистки водоема от разлива нефти. Авторами работы [21] изготовлены высокогидрофильные фильтры с использованием природных и гидротермальных обработанных наночастиц слюды для эффективного разделения масла и воды. Изготовленная двойная слоистая мембрана показала сверхамфифильные и сверхгидрофильные характеристики в воздухе и под водой соответственно. Мембрана может отделять смеси масла – вода с эффективностью разделения ~99%. Авторы публикации [22] утверждают, что поверхность материалов, изготовленных из синтетических слюд с поверхностным функционалом обладает высокой эффективностью для адсорбции неионных органических загрязнителей. В работе [23] предлагается использовать термообработанный флогопит для активации щелочи. Авторы работ подтвердили радиационную стойкость минералов, входящих в состав гранитоидов [24, 25].

Особенно широкое применение слюда нашла при производстве композиционных материалов: миканитов, микалексов, новомикалексов, слюдокерамики и ряда других материалов [26–28]. Композиционные материалы

на основе слюды стали выпускаться нашей промышленностью сравнительно давно, примерно в 30-х гг. XX в. Научные исследования и разработки технологий этих материалов в большей степени принадлежат учёным и исследователям из Санкт-Петербурга и Москвы [29], Иркутска [30, 10].

Большой вклад в развитие слюдяной отрасли России в целом и в разработку технологий получения микалекса с улучшенными характеристиками в частности внесли учёные ИПИ: Т.И. Шишелова, Л.В. Чиликанова, Т.В. Созинова, Н.В. Леонова, а также профессор Иркутского государственного университета М.С. Мецик.

Микалекс – композиционный материал, получаемый методом горячего прессования смеси мелкокристаллического порошкообразного природного мусковита и тонкодисперсного легкоплавкого стекла. Физические свойства микалекса определяются качеством исходных материалов, их микроструктурой, а также технологией его изготовления. Микалекс обладает большой механической прочностью – предел прочности при статическом изгибе составляет 70–100 МПа.

Авторами проведены исследования новых областей применения микалекса. Методом регистрации ионизирующего излучения и масс-спектроскопическим методом проведены исследования линейных коэффициентов ослабления от γ -излучения микалексов на основе различных слюд после бомбардировки потоками электронов с различными энергиями. Результаты исследований показали, что микалекс как композиционный материал особенно перспективен для захоронения радиационных отходов (РО), поскольку компоненты, из которых он изготавливается – стекло и слюда, сами по себе имеют хорошие показатели по радиационной стойкости. В процессе спекания и горячего прессования образуется монолит с хорошими механическими и электрофизическими свойствами: он не подвержен воздействию влаги, выдерживает сложную технологическую обработку, запрессовку и, как следствие, может быть рекомендован для захоронения РО.

Показана четкая зависимость коэффициента линейного ослабления от состава микалекса: вида использованной слюды, процентного соотношения наполнителей и связующего. Выявлена новая область использования композиционных материалов на основе слюды (микалекса) в качестве радиационно стойких материалов и материалов для захоронения РО.

Проведены испытания микалекса на газоотделение в сверхвысоковакуумной установке УСУ-3 (вакуум 10^{-11} мм рт.ст., $t = 30^\circ\text{C}$). В течение всего эксперимента проводился масс-спектрометрический контроль состава остаточных газов. Испытания показали, что наличие образца в системе не сказалось ни на режиме откачки, ни на значении предельно достижимого вакуума, ни на спектре остаточных газов. Это дает возможность использования микалекса в электронной промышленности в качестве заменителя сверхвысоковакуумной керамики (СВБК), а также в области космических технологий.

Редкие природные качества слюды будут востребованы в развитии технологий будущего, например в нанотехнологиях. Отдельные компоненты из графена уже существуют, например ультрабыстрые транзисторы или детекторы размером всего в одну молекулу. Однако для применения в реальном мире данный материал необходимо разместить на некоторой подложке, которая за счет взаимодействия может существенно ухудшить его свойства. При взаимодействии со слюдой электронная структура графена остается неизменной. Использование слюды будет востребовано практически во всех макро- и наносферах завтрашнего дня. А потому дальнейшее исследование этого минерала привлекает пытливые умы многих учёных.

В настоящее время успешно ведутся работы по созданию композиционных материалов на основе полимерных матриц. Наполнителями таких материалов часто являются представители природных слоистых силикатов. Для изготовления композита требуется измельчение исходного минерального сырья для получения наполнителя нужного размера и формы. Частицы слюды в большинстве случаев имеют форму микропластин, что позволяет использовать их в нанокompозитах.

Выводы

Для успешного возобновления слюдяной промышленности необходимо расширять и выявлять новые области использования слюды. Наиболее перспективными среди них являются:

- экология: использование слюды в качестве сорбента для очистки воды от различных загрязнителей;
- создание на основе слюд материалов для радиационной защиты и захоронения РО;
- возможность использования слюды в космической отрасли;

– использование слюды в нанотехнологиях.

Особое внимание нужно уделить силикатсодержащим нанокompозитам как машиностроительным материалам, оптимально сочетающим высокие параметры физико-механических, технико-экономических и технологических характеристик и имеющим долгосрочную перспективу развития.

Список литературы

1. Шахнович М.М., Скамницкая Л.С. Локализация мест добычи слюды в позднем средневековье в северной Карелии и на Кольском полуострове // Известия Иркутского государственного университета. Серия: Геоархеология. Этнология. Антропология. – 2014. – № 9. – С. 141–152.
2. Апшаров А.Ю., Лыткина Ю.Е., Курмангалиев С.Б. Слюда: прошлое и настоящее ценного минерала // Наука, образование и инновации: материалы Междунар. науч.-практ. конф. (Стерлитамак, 12 июля 2017 г.). – Уфа: Изд-во ООО «Агентство международных исследований», 2017. – С. 19–21.
3. Ткачев А.В., Сапожникова Л.Н. Разноранговые многофакторные модели месторождений листового мусковита для полистадийных геологоразведочных работ // Гранитные пегматиты: проблемы геологической теории и практики. – М.: ВИМС, 2008. – С. 77–103.
4. Волков К.И., Загибалов П.Н., Мецик М.С. Свойства, добыча и переработка слюды. – Иркутск: Вост.-Сиб. кн. изд-во, 1971. – 350 с.
5. Яловик Г.А. Состояние и перспективы развития минерально-сырьевой базы Бурятии // Новые и нетрадиционные типы месторождений полезных ископаемых Прибайкалья и Забайкалья: материалы Всерос. науч.-практ. конф. (Улан-Удэ, 10–12 ноября 2010 г.). – Улан-Удэ: ИД «Экос». – С. 3–15.
6. Винокуров М.А., Суходолов А.П. Горнотехническое и горнохимическое сырье Иркутской области // Экономика Иркутской области: В 4 т. – Иркутск: Изд-во: БГУЭП, 1999. URL: http://irkpedia.ru/content/gornotekhnicheskoe_i_gornohimicheskoe_syre_irkutskoy_oblasti_vinokurov_ma_suhodolov_ap
http://irkpedia.ru/content/gornotekhnicheskoe_i_gornohimicheskoe_syre_irkutskoy_oblasti_vinokurov_ma_suhodolov_ap.html.html (дата обращения: 05.02.2018).
7. Абдулова С.Р., Олах Н.М. Обогащение слюдяных руд: тенденции развития // Связь теории и практики научных исследований: сб. ст. Междунар. науч.-практ. конф. (Саранск, 03 марта 2016 г.). – Уфа: Изд-во ООО «Омега Сайнс», 2016. – С. 209–211.
8. Чиликанова Л.В., Шишелова Т.И., Коновалов Н.П. Слюдяные рудничные скрапы в производстве слюдокомпозитов // Фундаментальные исследования. – 2004. – № 5. – С. 55–57.
9. Абдулова С.Р., Олах Н.М. Производство электроизоляционных материалов на основе слюдопласта // Взаимодействие науки и общества: проблемы и перспективы: сб. ст. Междунар. науч.-практ. конф. (Уфа, 01 марта 2016 г.). – Уфа: НИЦ «Этерна», 2016. – С. 22–23.
10. Шишелова Т.И., Шульга В.В. Физико-химические основы производства композитных материалов на основе слюд // Фундаментальные исследования. – 2016. – № 3–3. – С. 538–541.
11. Шишелова Т.И., Тюрин Н.Г., Чайкина Е.А., Леонов С.Б. Физико-химические основы производства слюдокомпозитов. – Иркутск: Ладья, 1993. – 212 с.
12. А.с. 1139367 СССР МКИЗ Н 05 В 3/10. Способ изготовления резистивного нагревателя / В.С. Стариков, Т.И. Шишелова, С.Б. Леонов. – 1980. – Бюл. № 3/0. – С. 1–4.
13. Шишелова Т.И., Липовченко Е.Л. Квантово-механический расчёт дегидроксиляции минералов // Успехи современного естествознания. – 2015. – № 12. – С. 177–181.
14. Шишелова Т.И., Леонова Н.В. Дегидроксиляция слюды в системе «слюда – стекло» // Успехи современного естествознания. – 2017. – № 1. – С. 23–27.
15. Малов Н.Д., Щипцов В.В. Кризис слюдяной отрасли беломорской пегматитовой провинции и перспективы его преодоления // Записки горного института. – 2016. – № 218. – С. 172–178.
16. Бондаренко В.И., Лукина Г.В., Самаркина Е.В. Использование отходов слюды для очистки воды на объектах теплоэнергетики // Вестник ИРГСХА. – 2012. – № 51. – С. 104–111.
17. Матвеев Д.Ю. Гальваномагнитные свойства блочных и монокристаллических пленок висмута, легированного теллуром, изготовленных на подложках из слюды-мусковит // Перспективные технологии, оборудование и аналитические системы для материаловедения и наноматериалов: труды III Междунар. конф. (Курск, 24–26 мая 2016 г.). – Курск: Изд-во Юго-Западного государственного университета, 2016. – С. 268–273.
18. Леушин И.О., Лычагов А.С. Применение отходов слюды в составе защитных покрытий чугуновых тиглей для плавки алюминиевых сплавов // Заготовительные производства в машиностроении. – 2015. – № 8. – С. 3–7.
19. Определение кривой отражения сферически изогнутого кристалла слюды, применяемого для диагностики рентгеновского излучения релятивистской лазерной плазмы / М.А. Алхимова [и др.] // Краткие сообщения по физике Физического института им. П.Н. Лебедева Российской академии наук. – 2016. – Т. 43, № 10. – С. 3–8.
20. Петров В.Б., Глазова Н.Ю., Бычяня Ю.Г. Получение модифицированных слюд, используемых для покрытий сварочных электродов // Проблемы рационального использования природного и техногенного сырья Баренц-региона в технологии строительных и технических материалов: материалы V Всерос. науч. конф. с междунар. участием (Апатиты, 12–15 ноября 2013 г.). – Апатиты: Изд-во Кольского научного центра РАН, 2013. – С. 158–159.
21. Udara Bimendra Gunatilake, Jayasundera Bandara Fabrication of highly hydrophilic filter using natural and hydrothermally treated mica nanoparticles for efficient waste oil-water separation // Journal of Environmental Management. – 2017. – № 191. – P. 96–104. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.01.002>.
22. Pazos M.C., Castro M.A., Cota A., Osuna F.J., Pavon Esperanza, Alba M.D. New insights into surface-functionalized swelling high charged micas: Their adsorption performance for non-ionic organic pollutants // Journal of Industrial and Engineering Chemistry. – 2017. – № 52. – P. 179–186. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jiec.2017.03.042>.
23. Harisankar Sreenivasan, Paivo Kinnunen, Eetu-Pekka Heikkinen, Mirja Illikainen Thermally treated phlogopite as magnesium-rich precursor for alkali activation purpose // Minerals Engineering. – 2017. – № 113. – P. 47–54. doi: <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2017.08.003>.
24. Дубровский В.Б. Радиационная стойкость строительных материалов. – М.: Стройиздат, 1977. – 278 с.
25. Шишелова Т.И., Чиликанова Л.В., Борзов В.Г., Байбородин Б.В. Микалекс. – Иркутск: Изд-во Иркутского государственного университета, 1986. – 111 с.
26. Термохимические характеристики глинистых минералов и слюд / М.Д. Маслова [и др.] // Вестник Казанского технологического университета. – 2014. – Т. 17, № 21. – С. 121–127.
27. Коган В.Е., Шахпаронова Т.С. Способы получения и свойства композиционных материалов в системе стекло – слюда // Международный научно-исследовательский журнал. – 2015. – № 1–1 (32). – С. 45–47.
28. Шишелова Т.И., Чиликанова Л.В., Коновалова А.Н. Мелкозернистая слюда и стеклобой в производстве кон-

струкционных электроизоляционных материалов // Успехи современного естествознания. – 2004. – № 2. – С. 87–88.

29. Серебряник И.А., Федорова С.В. Слодопереработка в Сибири: исторический аспект // Theoretical and applied science. – 2015. – № 10. – С. 20–23.

30. Шишелова Т.И., Житов В.Г. Использование композиционных материалов на основе слюды для захоронения радиоактивных отходов // XXI Век. Техносферная безопасность. – 2017. – Т. 2, № 1. – С. 86–92.

References

- Shakhnovich M. M., Skamnitskaia L. S. Localization of mica production in the late Middle Ages in North Karelia and the Kola Peninsula [Lokalizatsiia mest dobychi sliudy v pozdnem srednevekov'e v severnoi Karelii i na Kol'skom poluostrove]. Izvestiia Irkutskogo gosudarstvennogo universiteta. Serii: Geoarkheologiya. Etnologiya. Antropologiya. - News of the Irkutsk state university. Series: Geoarcheology. Ethnology. Anthropology, 2014, no. 9, pp. 141-152.
- Apsharov A.Iu., Lytkina Iu.E., Kurmangaliev S.B. Sliuda: proshloe i nastoiashchee tsebnogo minerala [Mica: past and the present of valuable mineral]. Nauka, obrazovanie i innovatsii: materialy Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. (g. Sterlitamak, 12-13 iulia 2017 g.) [Proceedings of Science, education and innovations: materials of the International scientific and practical conference (Sterlitamak, July 12-13, 2017)], Ufa, Izd-vo OOO «Agentstvo mezhdunarodnykh issledovaniy», 2017, pp. 19-21.
- Tkachev A.V., Sapozhnikova L.N. Raznorangovye mnogofaktornye modeli mestorozhdenii listovogo muskovita dlia polistadiinykh geologorazvedochnykh rabot [Raznorangovyye multiple-factor models of fields of sheet white mica for polyphasic exploration works]. Granitnye pegmatity: problemy geologicheskoi teorii i praktiki [Granite pegmatites: problems of the geological theory and practice]. Moscow, VIMS, 2008, pp. 77-103.
- Volkov K.I., Zagibalov P.N., Metsik M.S. Svoistva, dobycha i pererabotka sliudy [Properties, production and processing of mica]. Irkutsk, Vost.-Sib. kn. izd-vo, 1971, 350.
- Ialovik G.A. Sostoianie i perspektivy razvitiia mineral'no-syr'evoi bazy Buriatii [State and prospects of development of mineral resources of Buryatia]. Novye i netraditsionnye tipy mestorozhdenii poleznykh iskopaemykh Pribaikal'ia i Zabaikal'ia: materialy Vserossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii (g. Ulan-Ude, 10-12 noiabria 2010 g.) [Proceedings of New and nonconventional types of mineral deposits of Baikal region and Transbaikalia: materials of the All-Russian scientific and practical conference (Ulan-Ude, November 10-12, 2010)], Ulan-Ude, ID «Ekos», 2010, pp. 3-15.
- Vinokurov M.A., Sukhodolov A.P. Gornotekhnicheskoe i gornokhimicheskoe syr'e Irkutskoi oblasti [Mining and mining chemical raw materials of the Irkutsk region]. Available at: http://irkipedia.ru/content/gornotekhnicheskoe_i_gornokhimicheskoe_syre_irkutskoy_oblasti_vinokurov_ma_suhodolov_ap (accessed 12 March 2018).
- Abdulova S.R., Olakh N.M. Obogashchenie sliudianykh rud: tendentsii razvitiia [Enrichment of mica ores: development tendencies]. Sviaz' teorii i praktiki nauchnykh issledovaniy: sb. st. Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. (g. Saransk, 3-3 marta 2016 g.) [Proceedings of Communication of the theory and practice of scientific research: collection of articles of the International scientific and practical conference (Saransk, March 3-3, 2016)], Ufa, OOO «Omega Sains», 2016, vol. 2, pp. 209-211.
- Chilikanova L.V., Shishelova T.I., Kononov N.P. Mica miner skrapa in production of slyudokompozit [Sliudiane rudnichnye skrapy v proizvodstve slyudokompozitov]. Fundamental'nye issledovaniia - Fundamental research, 2004, no. 5, pp. 55-57.
- Abdulova S.R., Olakh N.M. Proizvodstvo elektroizolatsionnykh materialov na osnove sliudoplasta [Production of electroinsulating materials on the basis of the slyudoplast]. Vzamoдействие nauki i obshchestva: problemy i perspektivy: sb. st. Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. (g. Ufa, 1-1 marta 2016 g.) [Proceedings of Vzamodeystviy sciences and obshchestva: problema and prospects: Collection of articles of the International scientific and practical conference (Ufa, March 1-1, 2016)], Ufa, NITS «Eterna», 2016, pp. 22-23.
- Shishelova T.I., Shul'ga V.V. Current State of Production of Composite Materials Based on Mica [Fiziko-khimicheskie osnovy proizvodstva kompozitnykh materialov na osnove sliudy]. Fundamental'nye issledovaniia - Fundamental research, 2016, vol. 3, no. 3, pp. 538-541.
- Shishelova T.I., Tiurin N.G., Chaikina E.A., Leonov S.B. Fiziko-khimicheskie osnovy proizvodstva slyudokompozitov [Physical and chemical bases of production of slyudokompozit]. Irkutsk, Lad", 1993, 212.
- Starikov V.S., Shishelova T.I., Leonov S.B. The copyright certificate on the invention of 1139367 [Way of production of the resistive heater]. 1980. Bulletin No. 3/0. Page 1-4.
- Shishelova T.I., Lipovchenko E.L. Quantum Mechanical Calculation of Minerals Denydroxylation [Kvantovomekhanicheskii raschet degidroksilatsii mineralov]. Uspekhi sovremennogo estestvoznaniia - Advances in current natural sciences, 2015, no. 12, pp. 177-181.
- Shishelova T.I., Leonova N.V. Micas Degidrosilation in the "Mica - Glas" System [Degidroksilatsiia sliudy v sisteme «sliuda – steklo»]. Uspekhi sovremennogo estestvoznaniia - Advances in current natural sciences, 2017, no. 1, pp. 23-27.
- Malov N.D., Shechptsov V.V. Crisis in mica production industry of the Belomorskaya pegmatite province and perspective of its overcoming [Krizis sliudianoi otrasli belomorskoj pegmatitovoi provintsii i perspektiva ego preodoleniia]. Zapiski gornogo instituta - Journal of Mining Institute, 2016, no. 218, pp. 172-178.
- Bondarenko S.I., Lukina G.V., Samarkina E.V. Use of mica wastes for water cleaning at the objects of thermal engineering [Ispol'zovanie otkhodov sliudy dlia ochistki vody na ob'ektakh teploenergetiki]. Vestnik IRGSKhA - Vestnik IRGSKhA, 2012, no. 51, pp. 104-111.
- Matveev D.Iu. Gal'vanomagnitnye svoistva blochnykh i monokristallicheskiy plenok vismута, legirovannogo tellurom, izgotovlennykh na podlozhkakh iz sliudy-muskovit [Galvanomagnetic properties of block and single-crystal films of the bismuth alloyed by tellurium, the made on substrates of mica-white mica]. Perspektivnye tekhnologii, oborudovanie i analiticheskie sistemy dlia materialovedeniia i nanomaterialov: trudy III Mezhdunarodnoi konferentsii (Kursk, 24-26 maia 2016 g.). Kursk: Izd-vo Iugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta, 2016 g. S. (g. Kursk, 24-26 maia 2016 g.) [Proceedings of Perspective technologies, the equipment and analytical systems for materials science and nanomaterials: works III of the International conference (Kursk, May 24-26, 2016)], Kursk, Izd-vo Iugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta, 2016, pp. 268–273.
- Leushin I.O., Lychagov A.S. Application of mica waste in composition of coatings for cast iron crucibles for melting of aluminum alloys [Primenenie otkhodov sliudy v sostave zashchitnykh pokrytii chugunnykh tiglei dlia plavki aliuminievykh splavov]. Zagotovitel'nye proizvodstva v mashinostroenii - Procuring productions in mechanical engineering, 2015, no. 8, pp. 3-7.
- Alkhimova M.A., Pikuz S.A., Skoblev I.Iu., Faenov A.Ia. Determination of the reflectivity curve of a spherically bent mica crystal used to diagnose X-ray radiation of relativistic laser plasma [Opredelenie krivoi otrazheniia sfericheskoi izognutogo kristalla sliudy, primeniayemogo dlia diagnostiki rentgenovskogo izlucheniia relativistkoi lazernoi plazmy]. Kratkie soobshcheniia po fizike Fizicheskogo instituta im. P.N. Lebedeva Rossiiskoi akademii nauk – Bulletin of the Lebedev Physics Institute, 2016, vol. 43, no. 10, pp. 291-294. DOI: 10.3103/S1068335616100018.
- Petrov V.B., Glazova N.Iu., Bychenia Iu.G. Poluchenie modifitsirovannykh sliud, ispol'zuemykh dlia pokrytii svarochnykh elektrodov [Receiving the modified micas used for coverings of welding electrodes]. Problemy ratsional'nogo ispol'zovaniia prirodnogo i tekhnogennogo syr'ia Barents-regiona v tekhnologii stroitel'nykh i tekhnicheskikh materialov: materialy V Vserossiiskoi nauchnoi konferentsii s mezhdunarodnym

uchastiem (g. Apatity, 12-15 noiabria 2013 g.) [Proceedings of Problems of rational use of natural and technogenic Barents-regiona raw materials in technology of construction and technical materials: materials V of the All-Russian scientific conference with the international participation (Apatity, November 12-15, 2013)], Apatity, Izd-vo Kol'skogo nauchnogo tsentra RAN, 2013, pp. 158–159.

21. Udara Bimendra Gunatilake, Jayasundera Bandara Fabrication of highly hydrophilic filter using natural and hydrothermally treated mica nanoparticles for efficient waste oil-water separation. *Journal of Environmental Management*, 2017, no. 191, pp. 96-104. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.01.002>.

22. M. Carolina Pazos, Miguel A. Castro, Agustin Cota, Francisco J. Osuna, Esperanza Pavon, Maria D. Alba New insights into surface-functionalized swelling high charged micas: Their adsorption performance for non-ionic organic pollutants. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 2017, no. 52, pp. 179-186. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jiec.2017.03.042>.

23. Harisankar Sreenivasan, Paivo Kinnunen, Eetu-Pekka Heikkinen, Mirja Illikainen Thermally treated phlogopite as magnesium-rich precursor for alkali activation purpose. *Minerals Engineering*, 2017, no. 113, pp. 47-54. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2017.08.003>.

24. Dubrovskii V.B. Radiatsionnaia stoikost' stroitel'nykh materialov. M.: 1977, 278 s [Radiation firmness of construction materials]. Moscow, Stroiizdat, 1977, 278.

25. Shishelova T.I., Chilikanova L.V., Borzov V.G., Baborodin B.V. Mikaleks [Micalex]. Irkutsk, Izd-vo Irkutskogo gosudarstvennogo universiteta, 1986, 111.

26. Maslova M.D., Belopukhov S.L., Timokhina E.S., Shnee T.V., Nefed'eva E.E., Shaikhiev I.G. Thermochemical characteristics of clay minerals and Maslov's micas [Termokhimiicheskie kharakteristiki glinistykh mineralov i sliud]. *Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta – Bulletin of the Kazan technological university*, 2014, vol. 21, no. 17, pp. 121-127.

27. Kogan V.E., Shakhparonova T.S. Ways of Receiving and Properties of the Composite Materials in System Glass-Mica [Sposoby polucheniia i svoistva kompozitsionnykh materialov v sisteme steklo – sliuda / V.E. Kogan, T.S. Shakhparonova. – 2015. – № 1-1 (32). – S. 45–47]. *Mezhdunarodnyi nauchno-issledovatel'skii zhurnal - International Research Journal*, 2015, vol. 32, no. 1, pp. 45-47.

28. Shishelova T.I., Chilikanova L.V., Konovalova A.N. Melkorazmerny mica and cullet in production of constructional electroinsulating materials [Melkorazmernaia sliuda i stekloboi v proizvodstve konstruksionnykh elektroizoliatsionnykh materialov]. *Uspekhi sovremennogo estestvoznaniia - Advances in current natural sciences*, 2004, no. 2, pp. 87.

29. Serebrianiuk I.A., Fedorova S.V. Processing Mica in Siberia: Historical Aspect [Sliudopererabotka v Sibiri: istoricheskii aspekt]. *Teoreticheskaia i prikladnaia nauka - Theoretical and Applied Science*, 2015, no. 10, pp. 20-23. DOI: <http://dx.doi.org/10.15863/TAS.2015.10.30.6>.

30. Shishelova T.I., Zhitov V.G. Use of mica-based composite materials for radioactive waste dumping. [Ispol'zovanie kompozitsionnykh materialov na osnove sliudy dlia zakhoroneniia radioaktivnykh otkhodov]. *XXI Vek. Tekhnosferaia bezopasnost' – XXI century. Technosphere Safety*, 2017, vol. 2, no. 1, pp. 86-92.

СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫЕ НАУКИ

УДК 630*43(470+510+517.3)

**СОВРЕМЕННАЯ ДИНАМИКА ЛЕСНЫХ ПОЖАРОВ
НА ПРИГРАНИЧНЫХ ТЕРРИТОРИЯХ РОССИИ, КИТАЯ И МОНГОЛИИ****Мишина Н.В.***ФГБУН ФАНО «Тихоокеанский институт географии ДВО РАН», Владивосток,
e-mail: mishina@tig.dvo.ru*

Приграничные территории Дальнего Востока России, Северо-Восточного Китая и Восточной Монголии расположены в трансграничном бассейне р. Амур, что обуславливает их экологическую взаимосвязанность. Леса бассейна имеют огромное экологическое и экономическое значение для каждой из стран. Важнейшим фактором изменения лесных земель на рассматриваемых территориях являются пожары. Количество и площадь лесных пожаров на приграничных территориях России, Китая и Монголии изменяются в широком диапазоне от года к году, но для каждой из стран характерна цикличность максимальной горимости лесных земель (в среднем 10-летняя), обусловленная естественными природно-климатическими условиями. Анализ данных за 2000–2015 гг. показал, что до 2006 г. ситуация с лесными пожарами была одинаково сложной и напряженной на всех рассматриваемых территориях. За последние 10 лет динамика горимости лесов приобрела различную направленность: на российской территории и в Монголии продолжилось увеличение среднегодовой площади пожаров, наблюдавшееся и в предыдущие десятилетия, а на китайской территории горимость лесов очень значительно сократилась. В результате на 2015 г. образовалась огромная диспропорция в площадях выгорающих лесов на сопредельных территориях трех стран. В этих условиях изучение опыта Китая в создании и развитии противопожарной системы безопасности лесов, включая возможность его применения на территориях России и Монголии, приобретает особую актуальность. Предотвращение лесных пожаров и борьба с ними имеют первостепенное значение для обеспечения экологической стабильности и благополучия приграничных территорий трех соседствующих стран, тесно взаимосвязанных в границах водосборного бассейна р. Амур.

Ключевые слова: приграничные территории, трансграничный бассейн, лесные земли, лесные пожары, горимость лесных земель, площадь пожаров, противопожарная система, Дальний Восток России, Северо-Восточный Китай, Монголия

**CURRENT DYNAMICS OF FOREST FIRES AT THE BORDER TERRITORIES
OF RUSSIA, CHINA AND MONGOLIA****Mishina N.V.***Pacific Geographical Institute FEB RAS, Vladivostok, e-mail: mishina@tig.dvo.ru*

The border territories of the Far East of Russia, Northeastern China and Eastern Mongolia are located at the transboundary basin of the Amur River, which determines their environmental interconnections. The forests of the basin have the great ecological and economic importance for each of the countries. Fires are the major factor of forest lands changing at the considered territories. The number and area of forest fires in the border areas of Russia, China and Mongolia vary in a wide range from year to year, but each country is characterized by a cyclic maximum of forest fire areas (once per 10 years on average) due to natural climatic conditions. Analysis of data for 2000–2015 showed that until 2006 the situation with forest fires was equally complicated and tense at all considered territories. Over the past 10 years, the dynamics of forest fire has acquired a different orientation: on the Russian territory and in Mongolia the average annual fire area continued to increase, as it was observed in previous decades, while at the Chinese territory the burning rate of forests has greatly decreased. As a result, in 2015, huge disproportion of burning forest areas was formed in the adjacent territories of the three countries. Under these conditions, the study of China's experience in the creation and development of the forest fire safety system, including the possibility of its applying at the territories of Russia and Mongolia, obtains the particular urgency. Preventing and suppressing of forest fires have the great importance for ensuring the ecological stability and well-being of the border areas of the three neighboring countries that are closely interrelated within the Amur River watershed.

Keywords: border territories, transboundary basin, forest area, forest fires, forest fire statistics, forest fire area, fire safety system, Far East of Russia, Northeastern China, Mongolia

Приграничные (или сопредельные) территории Российской Федерации, Китайской Народной Республики и Республики Монголия хотя и разделены государственными границами, тесно взаимосвязаны экологически, поскольку расположены в целостном трансграничном бассейне реки Амур, являющейся крупнейшей водной артерией Северо-Восточной Азии (рис. 1). По данным

дешифрирования космических снимков в 2000–2001 гг. более половины территории бассейна – 1127,6 тыс. км² или 54,3% – приходилось на покрытые лесом земли [1]. Лесные биомы бассейна р. Амур отличаются высоким биоразнообразием и выполняют важнейшие экологические функции, поэтому исследователи выделяют их в биогеографический узел регионального и пла-

нетарного значения [2]. В то же время леса бассейна являются ресурсной базой лесной промышленности России и Китая и подвержены значительному антропогенному воздействию на протяжении последних 150 лет [3–4].

Традиционно важнейшим фактором преобразования лесных экосистем считаются промышленные рубки древесины. Однако в начале 2000-х гг. в ряде публикаций было отмечено, что на Дальнем Востоке России среднегодовая площадь пожаров превосходит рубки с конца 1980-х гг., оказывая на природную среду в 4–5 раз большее воздействие, чем лесозаготовки [5–6]. Более того, лесные пожары в целом являются одним из самых мощных факторов изменения природной среды и экологического состояния почти всей территории Дальневосточного региона [6]. Для провинций Северо-Восточного Китая, граничащих с Российским Дальним Востоком, лесные пожары также являются серьезной проблемой. Согласно статистическим данным, в 1950–1995 гг. на долю этого региона приходилось в среднем около 50% площади всех лесов Китая, пострадавших от пожаров [7–8].

Цель исследования

Целью работы является сравнительный анализ современной ситуации с лесными пожарами на сопредельных территориях России, Китая и Монголии, значительная часть которых расположена в пределах целостного трансграничного бассейна р. Амур, и выявление основных современных тенденций в динамике лесопожарной обстановки на этих территориях.

Материалы и методы исследования

Изучение горимости лесных земель проводилось с использованием официальной информации о лесных пожарах, опубликованной в статистических ежегодниках и сборниках, а также в базах данных, доступных на интернет-порталах национальных статистических служб России, Китая и Монголии. Данные о пожарах рассматривались в разрезе единиц административно-территориального деления (АТД) ранга краев и областей в России (Приморский, Хабаровский и Забайкальский края, Амурская и Еврейская автономная области), провинций и автономных округов (АО) – в Китае (провинции Хэйлунцзян, Цзилинь, АО Внутренняя Монголия), аймаков – в Монголии (Дорнод, Хэнтей, Тувэ) (рис. 1).



Рис. 1. Бассейн р. Амур. Условные обозначения: 1 – государственная граница, 2 – административные границы, 3 – граница водосборного бассейна р. Амур

Основными показателями, отражающими в статистических публикациях ситуацию с лесными пожарами, являются их количество и площадь. Нами были изучены ряды данных о площади и количестве лесных пожаров за последние 15 лет – с 2000 по 2015 гг., рассчитаны среднегодовые площади пожаров и коэффициент корреляции этих показателей для каждой из рассматриваемых единиц АТД трех соседних стран. Полученные материалы и литературные данные послужили основой для сравнительно-географического анализа динамики лесных пожаров на сопредельных территориях России, Китая и Монголии за последние полтора десятка лет.

Результаты исследования и их обсуждение

Общая площадь административных единиц сопредельных территорий России и Китая имеет близкие значения – 178,6 и 182,4 млн га соответственно, тогда как площадь покрытых лесом земель с российской стороны в 2 раза больше, чем с китайской (табл. 1). Площадь рассматриваемых аймаков Монголии и лесных земель на их территории существенно меньше (27,8 и 1,5 млн га соответственно). Закономерно, что и лесистость соседствующих территорий трех стран значительно различается (табл. 1).

Ранее в работах, посвященных изучению лесных пожаров на Дальнем Востоке России, отмечались как в целом повышенная горимость земель, так и значительные колебания от года к году в количестве и площади пожаров в зависимости от сезонных условий погоды и климатического режима территории [2, 5, 12]. Было показано, что с 1960-х гг. явно прослеживается тенден-

ция нарастания горимости лесов и что катастрофические лесные пожары происходят с определенной периодичностью, в среднем раз в 10 лет, когда выгорает площадь лесов в 3–10 раз большая, чем среднегодовая. Так в южной части Дальнего Востока катастрофическими по площади выгоревших лесов стали 1976, 1988 и 1998 гг. [5].

Анализ статистических данных о лесных пожарах в южной части Дальневосточного региона и Забайкальском крае в 2000–2015 гг. показал, что тенденция нарастания горимости лесных земель продолжается (табл. 2). За 2001–2010 гг. по сравнению с предыдущим десятилетием среднегодовая площадь пожаров уменьшилась только в Хабаровском крае, на остальных территориях она существенно увеличилась, особенно в ЕАО и Амурской области – в 4 и 3 раза соответственно. За последние 5 лет площадь ежегодно выгорающих лесов еще больше увеличилась в ЕАО, составив 1,6% от всех покрытых лесами земель области. Значительно увеличилась по сравнению с 2001–2010 гг. и среднегодовая площадь пожаров в Забайкальском крае (табл. 2).

Что касается катастрофического выгорания лесов в период с 2000 по 2015 гг., то на юге Дальнего Востока оно пришлось на 2008–2009 гг. (рис. 2), подтвердив 10-летнюю периодичность катастрофических лесных пожаров в регионе. Можно предположить, что следующий пик горимости придется на 2017–2019 гг. В 2017 г. по данным за период с 1 января по 7 ноября площадь лесных пожаров в Приморском и Хабаровском краях, Амурской области и ЕАО составила 521,8 тыс. га [15], что выше годовых значений за 2010–2015 гг. (рис. 2).

Таблица 1

Лесные земли единиц АТД, расположенных в бассейне р. Амур, 2015 г. [9–11]

Территория	Площадь покрытых лесом земель, тыс. га	Лесистость территорий, %
Россия		
Приморский край	12724	77,3
Хабаровский край	52102	66,2
Амурская область	23670	65,4
ЕАО	1640	45,7
Забайкальский край	29461	68,2
Китай		
Провинция Хэйлунцзян	19621	43,2
Провинция Цзилинь	7639	40,4
АО Внутренняя Монголия	24879	21
Монголия (аймаки)		
Дорнод	99,0	0,8
Хэнтей	978,2	12,2
Тувэ	544,9	7,3

Таблица 2

Среднегодовая площадь лесных пожаров, тыс. га [6, 13–14]

Территория	1991–2000 гг.	2001–2010 гг.	2011–2015 гг.
Приморский край	17,9	25	20,2
Хабаровский край	235,0	150,6	94,5
Амурская область	63,7	203,2	118,3
ЕАО	2,7	11,5	27,1
Забайкальский край	Нет данных	236,8	424,4



Рис. 2. Площадь лесных пожаров на российской территории, тыс. га [13–14]

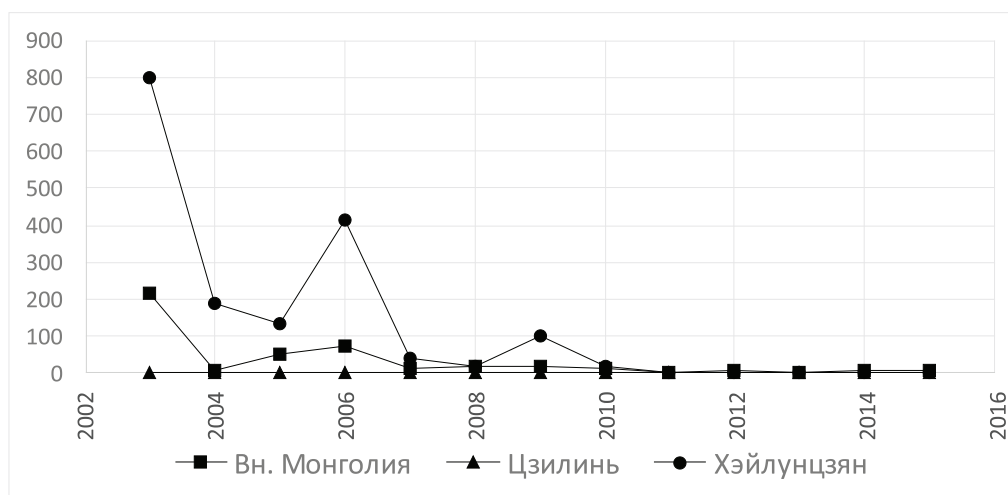


Рис. 3. Площадь лесных пожаров на китайской территории, тыс. га [16]

В Забайкальском крае за рассматриваемый 15-летний период максимальные значения площади лесных пожаров достигали в 2003 и 2015 гг. (рис. 2). В целом горимость лесных земель Забайкальского края значительно выше, чем на юге Дальнего Востока,

так как площади лесных пожаров и их количество в Забайкалье сопоставимы с суммарными значениями этих показателей 4-х административных единиц южной части Дальневосточного региона (рис. 2) при в 3 раза меньшей площади лесов (табл. 1).

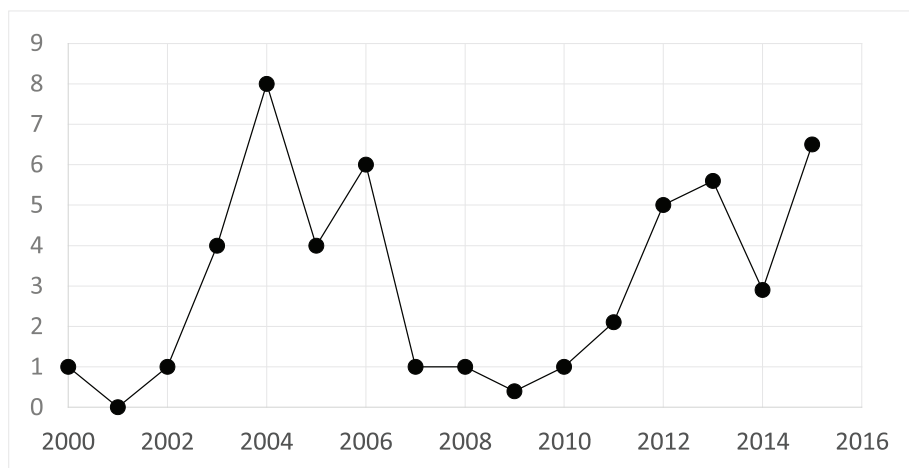


Рис. 4. Площадь лесных и степных пожаров в Монголии, млн га [20]

На китайской территории в период с 1950 по 1995 гг. среднегодовая площадь лесных пожаров в провинции Хэйлунцзян составляла 328 тыс. га (или 37,5% всех лесных пожаров Китая), в Цзилине и Внутренней Монголии 122 тыс. га (14%) и 141 тыс. га (16,1%) соответственно [8]. Однако, согласно статистическим данным, за период 2003–2015 гг. ситуация с горимостью лесов региона кардинальным образом изменилась в лучшую сторону (рис. 3). В 2011–2015 гг. среднегодовая площадь пожаров в провинциях Хэйлунцзян и Цзилинь составила всего 0,8 и 0,2 тыс. га соответственно, а в АО Внутренняя Монголия – 3,4 тыс. га, то есть уменьшилась относительно показателей предыдущих десятилетий на несколько порядков.

В динамике лесных пожаров Северо-Восточных провинций Китая, как и на российской территории, определяется 10-летний цикл катастрофической горимости лесов, связанный с климатическими условиями. Так, пиковые значения для площади лесных пожаров отмечались здесь в 1952, 1962, 1972, 1982 гг. Кроме того, внутри 10-летних выделяются еще и 5-летние циклы повышенной горимости [8]. Вероятно, 2003 год, когда общая площадь лесных пожаров в Северо-Восточном Китае превысила 1 млн га (рис. 3), стал очередным пиком 10-летнего цикла катастрофической горимости, а 2006 г. с площадью пожаров в 487,6 тыс. га – проявление 5-летнего цикла повышенной горимости лесов.

Интересен тот факт, что в 2011–2014 гг. на рассматриваемой китайской территории площадь лесных пожаров была очень

небольшой, хотя в эти годы была высокая вероятность возникновения катастрофических лесных пожаров в соответствии с 10-летним циклом горимости. Мы полагаем, что увеличение горимости лесов не произошло по двум причинам. Первая – это аномальные изменения циркуляции воздушных масс над югом Сибири и Дальним Востоком России, а также Северо-Восточным Китаем летом 2013 г., которые привели к длительным затяжным дождям и катастрофическому наводнению на р. Амур. Вторая причина, возможно менее весомая, но все-таки значимая – это результаты, достигнутые Китаем в совершенствовании и развитии системы предупреждения и тушения лесных пожаров. За последнее десятилетие площадь лесных пожаров значительно сократилась не только в Северо-Восточных провинциях Китая, но и в целом по стране. Если в 2006–2010 гг. среднегодовая площадь лесных пожаров в Китае составляла 240,4 тыс. га, то в 2011–2015 – 47,6 тыс. га [16]. В Российской Федерации, в отличие от Китая, среднегодовая площадь лесных пожаров за последнее десятилетие заметно увеличилась – с 1,7 млн га в 2006–2010 гг. до 2,1 млн га в 2011–2015 гг. [9, 17].

В Монголии также остро стоит проблема лесных пожаров, среднегодовые площади которых интенсивно увеличивались в последние десятилетия. Если в 1981–1989 гг. среднегодовая площадь лесных и степных пожаров в целом по стране составляла 1 млн га, из которых 82,4 тыс. га приходилось на выгоревшие леса, то в период с 1990 по 1999 гг. эти показатели составили уже 4,7 млн га и 731,9 тыс. га со-

ответственно [18]. Среднегодовая площадь лесных и степных пожаров в 2006–2015 гг. в Монголии составила 3,15 млн га с очень значительными колебаниями показателя от года к году (рис. 4). В динамике природных пожаров Монголии, как и на рассмотренных российской и китайской территориях, прослеживается определенная цикличность. Кроме пиков горимости, показанных на рис. 4, катастрофические пожары лесов и степей отмечались в 1986 г. (3,2 млн га) и в 1996–1997 г. (10,2 и 12,4 млн га соответственно, из которых на леса пришлось 2,4 и 2,7 млн га) [18–19].

Основной показатель, используемый в монгольской статистике для характеристики горимости лесов по регионам – количество пожаров. Леса аймаков Тувэ, Хэнтей и Дорнод, на территории которых расположена монгольская часть водосборного бассейна р. Амур (табл. 1), составляют около 13% всех лесов Монголии. Суммарное количество лесных пожаров за год на их территории в 2000–2015 гг. изменялось в широком диапазоне – от 6 до 72, а доля в общем количестве лесных пожаров по стране – от 18 до 43% [20]. Однако соотносить данные о количестве пожаров с их площадью по аймакам не представляется возможным, т.к. сопряженный анализ этих показателей по Монголии показал очень слабую связь между ними (коэффициент корреляции равен 0,1).

Для российской и китайской территорий было установлено, что корреляция между количеством пожаров и их общей площадью значительно отличается в отдельных административных образованиях, но по обе стороны границы тесная связь этих показателей присуща территориям с более высокой плотностью населения, что объясняется антропогенным происхождением большинства пожаров во всех трех странах. Как правило, это мелкие и средние пожары, возникающие вблизи населенных пунктов, дорог, иногда рек, в местах лесозаготовительной деятельности, рекреации, сбора дикоросов и т.п. Однако наибольшие по площади леса выгорают в отдаленных и сравнительно малонаселенных районах, где интенсивность лесопользования невелика, но затруднено обнаружение очагов огня, доставка людей и средств тушения [6].

Заключение

Таким образом, анализ литературных и статистических данных показал, что до начала 2000-х гг. ситуация с лесными пожа-

рами была одинаково сложной и напряженной на рассматриваемых территориях трех соседних стран. Но за последние 10 лет динамика горимости лесов по разные стороны государственной границы приобрела различную направленность – на российской территории и в Монголии продолжилось увеличение среднегодовой площади пожаров, наблюдавшееся и в предыдущие десятилетия, тогда как на китайской территории горимость лесов очень сильно сократилась. В результате на 2015 г. сложилась картина огромной диспропорции в площадях лесных пожаров на сопредельных территориях трех стран (табл. 2).

Таблица 2

Площадь лесных* пожаров в бассейне р. Амур, тыс. га [9–11, 13, 16, 20]

Территория	2005	2015
Россия		
Приморский край	10,7	8,3
Хабаровский край	226,8	7
Амурская область	31,9	162,5
ЕАО	1,4	128
Забайкальский край	26	905,8
Всего	296,8	1211,6
Китай		
Провинция Хэйлунцзян	132,2	0,8
Провинция Цзилинь	0,04	0,5
АО Внутренняя Монголия	47,2	3,8
Всего	179,4	5,1
Монголия	4000	6500

Примечание. *По Монголии приведены данные о площади природных пожаров – лесных и степных.

Высокая пожароопасность лесных территорий бассейна р. Амур во многом обусловлена естественными природными факторами – длительными сезонами с малым выпадением осадков и периодическими сезонными засухами [5, 12], а также возрастным составом древостоя в спелых и перестойных лесах [2]. Не менее важная роль в высокой горимости лесов принадлежит антропогенному воздействию, связанному с хозяйственным использованием лесов, прежде всего с вырубками древесины [6, 8, 19]. Лесопромышленный комплекс является важной отраслью хозяйства во всех рассматриваемых административных образованиях трех соседних стран на протяжении последних 100–150 лет. Лесозаготовительная деятельность во много раз усиливает пожароопасность и горимость лесов как прямую, расширяя доступность удаленных

лесных территорий и являясь источником огня, так и косвенно, способствуя образованию и накоплению растительных горючих материалов на лесосеках и создавая условия для их пересыхания.

Естественные факторы повышенной горимости лесов, как и интенсивная лесозаготовительная деятельность, характерны для всех рассматриваемых сопредельных территорий, но на сегодняшний день лишь Китаю удалось добиться значительных результатов в сокращении площади лесных пожаров. В этих условиях особенно актуальным видится изучение противопожарной системы, созданной в этой стране, ее анализ и сопоставление с системами противодействия лесным пожарам в России и Монголии, в том числе с позиции возможного внедрения и применения китайского опыта. Важность этой задачи определяется огромной значимостью предупреждения крупных лесных пожаров и борьбы с ними для обеспечения экологической стабильности лесных экосистем сопредельных территорий России, Китая и Монголии, расположенных в трансграничном бассейне р. Амур.

Список литературы

1. Современное использование земель в бассейне р. Амур / С.С. Ганзей [и др.] // География и природные ресурсы. – 2007. – № 2. – С. 17–25.
2. Шлотгауэр С.Д. Воздействие пирогенного фактора на состояние растительного покрова в бассейне р. Амур / С.Д. Шлотгауэр, М.В. Крюкова // Вестник ДВО РАН. – 2008. – № 1. – С. 59–68.
3. Шейнгауз А.С. Пространственно-временные изменения интенсивности промышленного освоения ресурсов древесины в лесах Дальнего Востока России с середины XIX века до наших дней // Избранные труды / А.С. Шейнгауз; Рос. акад. наук, Дальневост. отд-ние, Ин-т экон. исследований. – Хабаровск: ДВО РАН, 2008. – С. 352–370.
4. Yamane M. Overview of forest degradation and conservation efforts in the Amur basin in the twentieth century, with a focus on Heilongjiang province, China // Report on Amur-Okhotsk Project, № 4. – Kyoto: Research Institute for Humanity and Nature, 2007. – P. 111–122.
5. Лесной комплекс Дальнего Востока России: аналитический обзор / ред. Н.Е. Антонова, Д.Ф. Ефремов, В.П. Каракин. – 2-е изд., пересмотр. и доп. – Хабаровск: РИОТИП, 2008. – 192 с.
6. Природопользование Дальнего Востока России и Северо-Восточной Азии: потенциал интеграции и устойчивого развития / А.Г. Адмидин, Н.Е. Антонова, А.Б. Бардаль [и др.]; под ред. А.С. Шейнгауза. – Владивосток; Хабаровск: ДВО РАН, 2005. – 528 с.
7. Zhong M. Statistical analysis of current status of China forest fire safety / M. Zhong, W. Fan, T. Liu, P. Li // Fire Safety Journal. – 2003. – Vol. 38, № 3. – P. 257–269.
8. Shu L. Forest Fire Situation and Management in Northeast China / M. Wang, X. Tian, F. Zhao // International Forest Fire News. – 2006. – № 34. – P. 78–84. http://www.fire.uni-freiburg.de/iffn/iffn_34/10-IFFN-34-China-1.pdf (дата обращения: 13.02.2018).
9. Соколова Г.В. Пожарная опасность территории Среднего Приамурья: оценка, прогноз, параметры мониторинга / Г.В. Соколова, Р.М. Коган, В.А. Глаголев – Хабаровск: ДВО РАН, 2009. – 256 с.
10. Регионы России. Социально-экономические показатели. 2016. Стат. сб. – М.: Росстат, 2016. – 1326 с.
11. China Statistical Yearbook 2016. Beijing: China Statistics Press, 2016 [Электронный ресурс]. URL: <http://www.stats.gov.cn/tjsj/ndsj/2016/indexeh.htm> (дата обращения: 23.01.18).
12. Mongolian Statistical Yearbook 2015 / Ed. by Mendsaikhan S., Sodkhuu R., Demberel A., Bajjikhoo Kh. – Ulaan-Baatar: National Registration and Statistics Office, 2016. – 413 p.
13. Регионы России. Социально-экономические показатели. 2008. Стат. сб. – М.: Росстат, 2008. – 999 с.
14. Охрана окружающей среды в России. 2016. Стат. сб. – М.: Росстат, 2016. – 95 с.
15. О лесопожарной обстановке в России по состоянию на 00:00 мск 07.11.2017 / Федеральное агентство лесного хозяйства, ФБУ «Авиалесоохрана» [Электронный ресурс]. – URL: https://aviales.ru/files/documents/2017/fds_svedeniya/svedeniya%20o%20лесопожарной%20обстановке%20на%20территории%20субъектов%20рф%20на%2007.11.2017.pdf (дата обращения: 15.01.18).
16. Forest fires by regions of China, 2004–2016 / National Database of National Bureau of Statistics of China [Электронный ресурс]. – URL: <http://data.stats.gov.cn/english/easyquery.htm?cn=E0103> (дата обращения: 03.02.18).
17. Регионы России. Социально-экономические показатели. 2011. Стат. сб. – М.: Росстат, 2011. – 990 с.
18. Goldammer J.G. Fire Situation in Mongolia // International Forest Fire News. – 2002. – № 26. – P. 75–83. URL: http://www.fire.uni-freiburg.de/iffn/country/mn/mn_11.htm (дата обращения: 25.01.2018).
19. Nyamjav B., Goldammer J.G., Uibrig H. The forest fire situation in Mongolia // International Forest Fire New. – 2007. – № 36. – P. 46–66. URL: http://www.fire.uni-freiburg.de/iffn/iffn_36/15-IFFN-36-Mongolia-1.pdf (дата обращения: 25.01.2018).
20. Forest fires in Mongolia, 2000–2016 / Statistical Database by Nature and Environment sector of Mongolian Statistical Information Service [Электронный ресурс]. – URL: http://www.1212.mn/tables.aspx?TBL_ID=DT_NSO_2400_005V1 (дата обращения: 08.02.18).

References

1. Ganzei S.S., Ermoshin V.V., Mishina N.V., Shiraiva T. The modern land use at the Amur River basin [Sovremennoe ispol'zovanie zemel' v basseine r. Amur]. Geografia i prirodnye resursy - Geography and Natural Resources, 2007, no. 2, pp. 17-25.
2. Shlotgauer S.D., Kriukova M.V. Impact of pyrogenic factor on plant covering status in the Amur Basin [Vozdeistvie pirogenogo faktora na sostoianie rastitel'nogo pokrova v basseine r.Amur]. Vestnik DVO RAN - Vestnik of the Far East Branch of the Russian Academy of Sciences, 2008, no. 1, pp. 59-68.
3. Sheingauz A.S. Prostranstvenno-vremennye izmeneniia intensivnosti promyshlennogo osvoeniia resursov drevesiny v lesakh Dal'nego Vostoka Rossii s serediny XIX veka do nashikh dnei [Spatio-temporal changes in the intensity of industrial development of wood resources in the forests of the Russian Far East from the middle of the 19th century to the present day]. Izbrannye trudy [Selected Works]. Khabarovsk, DVO RAN, 2008, pp. 352-370.
4. Yamane M. Overview of forest degradation and conservation efforts in the Amur basin in the twentieth century, with a focus on Heilongjiang province, China. Report on Amur-Okhotsk Project, № 4 Kyoto, 2007, pp. 111-122.
5. Karakin V.P., Efremov D.F., red. Antonova N.E. Lesnoi kompleks Dal'nego Vostoka Rossii: analiticheskiy obzor [Forest Sector of the Russian Far East: An Analytical Survey]. 2-e izd., peresmotr. i dop.. Khabarovsk, RIOTIP, 2008, 192.

6. pod red. A.S. Sheingauza Prirodopol'zovanie Dal'nego Vostoka Rossii i Severo-Vostochnoi Azii: potentsial integratsii i ustoichivogo razvitiia [Natural Resources use of the Russian Far East and Northeast Asia: potential of integration and sustainable development]. Vladivostok, Khabarovsk, DVO RAN, 2005, 528.
7. Zhong M., Fan. W., Liu T., Li P. Statistical analysis of current status of China forest fire safety. *Fire Safety Journal*, 2003, vol. 3, no. 38, pp. 257-269.
8. Shu L., Wang M., Tian X., Zhao F. Forest Fire Situation and Management in Northeast China. *International Forest Fire News*, 2006, no. 34. Available at: https://www.fire.uni-freiburg.de/iffn/iffn_34/10-IFFN-34-China-1.pdf. (accessed 13.02.2018).
9. Kogan R.M., Glagolev V.A., Sokolova G.V. Pozhar-naia opasnost' territorii Srednego Priamur'ia: otsenka, prognoz, parametry monitoringa [Fire danger of the Middle Amur River area: assessment, forecast, monitoring parameters]. Khabarovsk, DVO RAN, 2009, 256.
10. Regiony Rossii. Sotsial'no-ekonomicheskie pokazateli. 2016 [Regions of Russia. Social-economical indicators. 2016]. Moscow, Rosstat, 2016, 1326.
11. China Statistical Yearbook 2016. Available at: URL: <http://www.stats.gov.cn/tjsj/ndsj/2016/indexeh.htm> (accessed 23.01.2018).
12. Ed. by Mendsaikhan S., Sodkhuu R., Demberel A., Bajiiikhuu Kh. Mongolian Statistical Yearbook 2015. National Registration and Statistics Office, National Registration and Statistics Office, 2016, 413 p.
13. Regiony Rossii. Sotsial'no-ekonomicheskie pokazateli. 2008. [Regions of Russia. Social-economical indicators. 2008]. Moscow, Rosstat, 2008, 999.
14. Okhrana okruzhaiushchei sredy v Rossii. 2016. [Environmental protection in Russia. 2016]. Moscow, Rosstat, 2016, 95.
15. O lesopozharnoi obstanovke v Rossii po sostoianiiu na 00:00 msk 07.11.2017 [On the fire-fighting situation in Russia as of 00:00 Moscow time 07.11.2017]. Available at: https://aviales.ru/files/documents/2017/fds_svedeniya/svedeniya%20o%20lesopozharnoi%20obstanovke%20na%20territorii%20sубъектов%20рф%20на%2007.11.2017.pdf (accessed 15.01.2018).
16. Forest fires by regions of China, 2004-2016. Available at: <http://data.stats.gov.cn/english/easyquery.htm?cn=E0103> (accessed 03.02.2018).
17. Regiony Rossii. Sotsial'no-ekonomicheskie pokazateli. 2011. Stat. sb. [Regions of Russia. Social-economical indicators. 2011]. Moscow, Rosstat, 2011, 990.
18. Goldammer Johann G. Fire Situation in Mongolia. *International Forest Fire News*, 2002, no. 26. Available at: http://www.fire.uni-freiburg.de/iffn/country/mn/mn_11.htm. (accessed 25.01.2018).
19. Nyamjav B., Goldammer J.G., Uibrig H. The forest fire situation in Mongolia. *International Forest Fire News*, 2007, no. 36. Available at: http://www.fire.uni-freiburg.de/iffn/iffn_36/15-IFFN-36-Mongolia-1.pdf. (accessed 25.01.2018).
20. Forest fires in Mongolia, 2000-2016. Available at: http://www.1212.mn/tables.aspx?TBL_ID=DT_NSO_2400_005V1 (accessed 08.02.18).