
УСПЕХИ СОВРЕМЕННОГО ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ

№ 1

2018

ISSN 1681-7494

Импакт-фактор

РИНЦ – 0,746

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 – **ПН № ФС 77-63398.**

Все публикации рецензируются. Доступ к электронной версии журнала бесплатен.

Импакт-фактор РИНЦ = 0,746.

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

Журнал включен в Реферативный журнал и Базы данных ВИНИТИ.

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 – 19.01.2018
Дата выхода номера – 19.02.2018

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. 16,88
Тираж – 1000 экз. Заказ. УСЕ/1-2018
Подписной индекс 70062

© ИД «Академия Естествознания»

СОДЕРЖАНИЕ

Химические науки (02.00.00)

ВЛИЯНИЕ КАТИОНА ОЛОВА В КОМПЛЕКСАХ С АМИНОКИСЛОТАМИ НА ПРОЦЕСС ГЕНЕРАЦИИ СИНГЛЕТНОГО КИСЛОРОДА <i>Пешикова Т.В., Пешиков С.А.</i>	7
---	---

Сельскохозяйственные науки (06.01.00, 06.03.00)

КАЧЕСТВО СЕМЯН ЛИСТВЕННОЙ СИБИРСКОЙ НА КЛОНОВОЙ ЛЕСОСЕМЕННОЙ ПЛАНТАЦИИ <i>Зеленяк А.К., Морозова Е.В., Иоус А.П.</i>	13
ИЗУЧЕНИЕ МИРОВОЙ КОЛЛЕКЦИИ ЛЬНА МАСЛИЧНОГО КАК ИСХОДНОГО МАТЕРИАЛА ДЛЯ СЕЛЕКЦИИ В УСЛОВИЯХ ЛЕСОСТЕПИ СРЕДНЕГО ПОВОЛЖЬЯ <i>Казарина А.В., Казарин В.Ф., Косых Л.А., Атакова Е.А.</i>	18
ВЛИЯНИЕ ПРИРОДНЫХ КРЕМНИЙСОДЕРЖАЩИХ МАТЕРИАЛОВ НА ПРОДУКТИВНОСТЬ ЗЕРНОБОБОВОГО СЕВООБОРОТА В УСЛОВИЯХ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТЫХ ПОЧВ НЕЧЕРНОЗЕМЬЯ <i>Козлов А.В., Афонина Ю.И., Воронцова А.А., Акафьева Д.В., Миронова Ю.И., Тарасов И.А., Дедык В.Е., Кошелев М.С., Соколов И.С., Кондрашин Б.В.</i>	23
СОДЕРЖАНИЕ И ЗАПАС ГУМУСА В ЧЕРНОЗЕМЕ ОБЫКНОВЕННОМ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ РАЗЛИЧНЫХ СИСТЕМ ОСНОВНОЙ ОБРАБОТКИ <i>Медведева А.М., Бирюкова О.А., Ильченко Я.И., Кучеренко А.В., Кучменко Е.В.</i>	29
ОСОБЕННОСТИ РОСТА КУЛЬТУРЫ ОГУРЦА ГИБРИДА КИБРИЯ F1 В ЮВЕНИЛЬНЫЙ ПЕРИОД РАЗВИТИЯ <i>Олива Т.В., Лицуков С.Д., Панин С.И., Колесниченко Е.Ю., Кузьмина Е.А.</i>	35
ОЦЕНКА АДАПТИВНЫХ И ПРОДУКТИВНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПЕРСПЕКТИВНЫХ ЛИНИЙ ОЗИМОЙ МЯГКОЙ ПШЕНИЦЫ <i>Павлов М.И., Оразева И.В., Муравьев А.А.</i>	43
СОДЕРЖАНИЕ БЕЛКОВ И УГЛЕВОДОВ В ЗЕРНЕ ЯЧМЕНЯ И ОВСА СИБИРСКОЙ СЕЛЕКЦИИ <i>Полонский В.И., Сумина А.В., Шалдаева Т.М.</i>	49
СПОСОБЫ РАЗМНОЖЕНИЯ ПРЕДСТАВИТЕЛЕЙ РОДА BEGONIA L. В ПРОЛОНГИРОВАННОЙ КУЛЬТУРЕ <i>Фершалова Т.Д., Набиева А.Ю.</i>	56
ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ПРОГРАММНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА НА БАЗЕ ГИС FIELD-MAP ПРИ РАЗРАБОТКЕ ТАБЛИЦ ОБЪЕМОВ СТЕБЕЛ В ГОРОДСКИХ УСЛОВИЯХ <i>Шевелина И.В., Суслов А.В., Нуриев Д.Н., Нагимов З.Я., Марковцева А.Н., Дунаев И.С.</i>	62

Науки о Земле (25.00.00)

АНАЛИЗ ЗАГРЯЗНЕНИЯ АКВАТОРИИ ЗАЛИВА ПЕТРА ВЕЛИКОГО (ЯПОНСКОГО МОРЯ) МИКРОПЛАСТИКОМ <i>Блиновская Я.Ю., Якименко А.Л.</i>	68
ТЕРАВАТТНОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ В ЗАДАЧАХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ <i>Бурнашов А.В., Ошлаков В.К., Иглакова А.Н., Бабушкин П.А.</i>	74
ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ КАРБОНАТНЫХ РАВНОВЕСИЙ В ВОДАХ ЗОНЫ КАТАГЕНЕЗА ПРЕДКАВКАЗЬЯ <i>Волков В.Н.</i>	80
СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ВОДОТОКОВ В УСТЬЕВЫХ ОБЛАСТЯХ ВОСТОЧНОГО ПОБЕРЕЖЬЯ ОЗЕРА БАЙКАЛ <i>Воробьева И.Б., Белозерцева И.А., Власова Н.В., Янчук М.С.</i>	86

АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ТРАССЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ НА ПРИМЕРЕ ПЛАСТА ЮВ ₁ ¹ ЧИСТИННОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ <i>Дягилев В.Ф., Кононенко А.А., Леонтьев С.А.</i>	93
ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МЕТАНОЛА В МАГИСТРАЛЬНОЙ СИСТЕМЕ ТРАНСПОРТА ГАЗА НА ЭТАПЕ ПОДГОТОВКИ <i>Колчин А.В., Коробков Г.Е., Янчушка А.П., Ямалетдинова К.Ш.</i>	102
ИСКУССТВЕННО ПОЛУЧЕННЫЕ ГУМИНОВЫЕ ВЕЩЕСТВА ДЛЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ПОЧВ <i>Москаленко Т.В., Михеев В.А., Ворсина Е.В.</i>	109
ЭКОЛОГО-ГИДРОФИЗИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА ВЕРТИКАЛЬНОГО ТУРБУЛЕНТНОГО ОБМЕНА НА СОДЕРЖАНИЕ РАСТВОРЕННОГО КИСЛОРОДА В ПРИДОННОМ СЛОЕ МЕЛКОВОДНОГО ВОДОЕМА <i>Никитина А.В., Сухинова Т.Г., Проценко С.В., Семенякина А.А., Бедная Т.А.</i>	115
ВЛИЯНИЕ ВЛАЖНОСТИ ТОРФА НА ВЫХОД И ГРУППОВОЙ СОСТАВ БИТУМОВ <i>Орлов А.С., Зубов И.Н., Ярыгина О.Н., Селянина С.Б., Татаринцева В.Г., Труфанова М.В.</i>	120
ОХОТНИЧЬИ РЕСУРСЫ РЕСПУБЛИКИ БУРЯТИЯ И ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ <i>Осодоев П.В.</i>	125
К МЕТОДИКЕ ОЦЕНКИ РАСХОДОВ ВОДЫ В ЧУЙСКО-КУРАЙСКОМ ЛЕДОВО-ПОДПРУДНОМ ОЗЕРЕ В СТАДИИ ДЕГРАДАЦИИ <i>Поздняков А.В., Хон А.В.</i>	130

CONTENTS

Chemical sciences (02.00.00)

INFLUENCE OF TIN CATION IN COMPLEXES WITH AMINO ACIDS ON THE PROCESS OF GENERATION OF SINGLE OXYGEN <i>Peshkova T.V., Peshkov S.A.</i>	7
--	---

Agricultural sciences (06.01.00, 06.03.00)

SEED QUALITY OF SIBERIAN LARCH ON CLONAL FOREST-SEED PLANTATION <i>Zelenyak A.K., Morozova E.V., Iozus A.P.</i>	13
THE STUDY OF THE WORLD COLLECTION OF OIL FLAX AS AN INITIAL MATERIAL FOR BREEDING UNDER THE FOREST-STEPPE OF THE MIDDLE VOLGA CONDITIONS <i>Kazarina A.V., Kazarin V.F., Kosykh L.A., Atakova E.A.</i>	18
NATURAL SILICEOUS MATERIAL IMPACT ON GRAIN-BEAN CROP ROTATION EFFICIENCY IN CESPITOSE-PODSOLIC SOILS CONDITIONS IN NON-BLACK EARTH REGION <i>Kozlov A.V., Afonina Yu.I., Vorontsova A.A., Akafeva D.V., Mironova Yu.I., Tarasov I.A., Dedyk V.E., Koshelev M.S., Sokolov I.S., Kondrashin B.V.</i>	23
HUMUS CONTENT AND STOCK IN HAPLIC CHERNOZEM AT USING DIFFERENT KINDS OF TILLAGE SYSTEMS <i>Medvedeva A.M., Biryukova O.A., Ilchenko Ya.I., Kucherenko A.V., Kuchmenko E.V.</i>	29
GROWTH CHARACTERISTICS OF CUCUMBER HYBRID KIBRIYA F1 AT JUVENILE PERIOD <i>Oliva T.V., Litsukov S.D., Panin S.I., Kolesnichenko E.Yu., Kuzmina E.A.</i>	35
EVALUATION OF ADAPTIVE AND PRODUCTIVE CHARACTERISTICS OF PERSPECTIVE LINES OF WINTER SOFT WHEAT <i>Pavlov M.I., Orazova I.V., Muravev A.A.</i>	43
PROTEINS AND CARBOHYDRATES CONTENT IN BARLEY AND OATS SEEDS AT SIBERIAN BREEDING <i>Polonskiy V.I., Sumina A.V., Shaldaeva T.M.</i>	49
WAYS OF PROPAGATION OF GENUS BEGONIA L. REPRESENTATIVES IN PROLONGED CULTURE <i>Fershalova T.D., Nabieva A.Yu.</i>	56
ESTIMATION OF USING FIELD-MAP TECHNOLOGY IN DEVELOPMENT OF THE STEM VOLUME TABLES IN URBAN ENVIRONMENT <i>Shevelina I.V., Suslov A.V., Nuriev D.N., Nagimov Z.Ya., Markovtseva A.N., Dunaev I.S.</i>	62

Earth sciences (25.00.00)

THE WATER AREA POLLUTION ANALYSIS OF PETER THE GREAT BAY (SEA OF JAPAN) BY MICROPLASTIC <i>Blinovskaya Ya.Yu., Yakimenko A.L.</i>	68
TERAWATT RADIATION IN THE CASE OF REMOTE SENSING <i>Burnashov A.V., Oshlakov V.K., Iglakova A.N., Babushkin P.A.</i>	74
THERMODYNAMIC ANALYSIS OF THE CARBONATE EQUILIBRIUM CONDITION IN THE WATERS OF THE CATAGENESIS ZONE OF THE PRE-CAUCASUS <i>Volkov V.N.</i>	80
CURRENT STATE OF WATERCOURSES IN THE ESTUARINE AREAS OF THE EASTERN COAST OF LAKE BAIKAL <i>Vorobeva I.B., Belozertseva I.A., Vlasova N.V., Yanchuk M.S.</i>	86
ANALYSIS OF THE RESULTS OF TRACERIAL STUDIES ON THE EXAMPLE OF THE UV ₁ OF CHISTINE DEPOSIT <i>Dyagilev V.F., Kononenko A.A., Leontev S.A.</i>	93

EFFECTIVIZATION OF METHANOL INHIBITION IN MAIN GAS PIPELINE SYSTEM AT TREATMENT STAGE	
<i>Kolchin A.V., Korobkov G.E., Yanchushka A.P., Yamaletdinova K.Sh.</i>	102
ARTIFICIALLY OBTAINED HUMIN SUBSTANCES FOR RESTORATION OF SOILS	
<i>Moskalenko T.V., Mikheev V.A., Vorsina E.V.</i>	109
ECOLOGICAL AND HYDROPHYSICAL RESEARCH OF IMPACT THE VERTICAL TURBULENT EXCHANGE COEFFICIENT ON THE CONCENTRATION OF DISSOLVED OXYGEN IN THE BOTTOM LAYER OF SHALLOW WATER	
<i>Nikitina A.V., Sukhinova T.G., Protsenko S.V., Semenyakina A.A., Bednaya T.A.</i>	115
THE INFLUENCE OF THE MOISTURE CONTENT OF PEAT ON THE YIELD AND GROUP COMPOSITION OF BITUMENS	
<i>Orlov A.S., Zubov I.N., Yarygina O.N., Selyanina S.B., Tatarintseva V.G., Trufanova M.V.</i>	120
HUNTING RESOURCES OF THE REPUBLIC OF BURYATIA AND THEIR USE	
<i>Osodoev P.V.</i>	125
TO THE METHODOLOGY OF ESTIMATION OF WATER EXPENDITURES IN THE CHUISKO-KURAI ICE-CONSTRUCTIVE LAKE IN THE STAGE OF DEGRADATION	
<i>Pozdnyakov A.V., Khon A.V.</i>	130

УДК 544.15:544.83.43

ВЛИЯНИЕ КАТИОНА ОЛОВА В КОМПЛЕКСАХ С АМИНОКИСЛОТАМИ НА ПРОЦЕСС ГЕНЕРАЦИИ СИНГЛЕТНОГО КИСЛОРОДА

Пешкова Т.В., Пешков С.А.

ФГБОУ ВПО «Оренбургский государственный университет», Оренбург, e-mail: Darwin156@mail.ru

В работе проведена геометрическая оптимизация методом ROHF в базисе DZP комплексов катиона олова с аминокислотами $^1[\text{Cys-Sn}^{2+}\text{-Cys}]$, $^1[\text{Trp-Sn}^{2+}\text{-Trp}]$, $^1[\text{Tyr-Sn}^{2+}\text{-Tyr}]$. Наиболее энергетически выгодным является расположение металла между карбоксильной и аминогруппами в аминокислотах. Оптимизацию комплексов в присутствии молекулы кислорода проводили методом ROHF в базисе 3-21G в основном триплетном и возбужденном синглетном состояниях. Методом MRCI в базисе 3-21G с учетом двукратных возбуждений, на векторах, полученных в рамках метода ROHF/B3Lyp/3-21G, рассчитаны и построены сечения ППЭ для основных и нескольких возбужденных состояний комплексов в координатах Sn-O₂. В активное пространство (АП) включены 30 электронов, расположенных по орбиталям $3\sigma_g^2\pi_u^2\pi_g^2\pi_g^1\pi_g^13\sigma_u^0$ молекулы O₂ и $4d_{xy}, 4d_{yz}, 4d_{xz}, 3d_{x^2-y^2}, 3d_{z^2}, 5s, 5p_x, 5p_y, 5p_z$ катиона Sn²⁺. Проанализировано влияние комплексов аминокислот с катионом Sn²⁺ на процессы образования синглетного кислорода. Основным термом во всех комплексах является диссоциативный терм триплетного состояния кислорода $^3[\text{Sn}(\text{S}_0)-^3\Sigma_g^-(\text{O}_2)]$. Выявлены устойчивые состояния переноса заряда (СПЗ), образующиеся за счет переноса электрона с $5S^2$ катиона Sn²⁺ на π_g^1 в триплете или π_g^0 в синглете. Наиболее энергетически выгодным является образование устойчивых состояний переноса заряда (СПЗ) в комплексе с цистеином. Генерация синглетного кислорода возможна при переходе от термина СПЗ к терминам $a^1\Delta_g^+$ и $a^1\Delta_g^-$. Вторым возможным каналом генерации синглетного кислорода является переход с термина $^3\Sigma_g^-$ к состояниям $a^1\Delta_g^+$ и $a^1\Delta_g^-$.

Ключевые слова: комплексы аминокислот, синглетный кислород, квантово-химическое моделирование

INFLUENCE OF TIN CATION IN COMPLEXES WITH AMINO ACIDS ON THE PROCESS OF GENERATION OF SINGLE OXYGEN

Peshkova T.V., Peshkov S.A.

Orenburg State University, Orenburg, e-mail: Darwin156@mail.ru

Geometric optimization by the ROHF method in the basis of DZP complexes of tin cation with amino acids $^1[\text{Cys-Sn}^{2+}\text{-Cys}]$, $^1[\text{Trp-Sn}^{2+}\text{-Trp}]$, $^1[\text{Tyr-Sn}^{2+}\text{-Tyr}]$ was carried out. The most energetically favorable is the location of the metal between the carboxyl and amino groups in the amino acids. Optimization of complexes in the presence of an oxygen molecule was carried out by the ROHF method in the 3-21G basis in the ground triplet and excited singlet states. Using the MRCI method in the 3-21G basis with allowance for double excitations, the PES cross sections for the main and several excited states of the complexes in the Sn-O₂ coordinates were calculated and plotted on the vectors obtained in the ROHF / B3Lyp / 3-21G method. The active space (AP) includes 30 electrons located along the orbital $3\sigma_g^2\pi_u^2\pi_g^2\pi_g^1\pi_g^13\sigma_u^0$ of the O₂ molecule and $4d_{xy}, 4d_{yz}, 4d_{xz}, 3d_{x^2-y^2}, 3d_{z^2}, 5s, 5p_x, 5p_y, 5p_z$ of the Sn²⁺ cation. The effect of amino acid complexes with the Sn²⁺ cation on the formation of singlet oxygen was analyzed. The main term in all complexes is the dissociative term of the triplet state of oxygen $^3[\text{Sn}(\text{S}_0)-^3\Sigma_g^-(\text{O}_2)]$. Stable charge transfer states (SDS) formed due to electron transfer from $5S^2$ Sn²⁺ cation to π_g^1 in a triplet or π_g^0 in a singlet are revealed. The most energetically favorable is the formation of stable states of charge transfer (SDP) in complex with cysteine. Generation of singlet oxygen is possible upon transition from the SDZ term to the terms $a^1\Delta_g^+$ and $a^1\Delta_g^-$. The second possible channel for generating singlet oxygen is the transition from the $^3\Sigma_g^-$ term to the states $a^1\Delta_g^+$ and $a^1\Delta_g^-$.

Keywords: complexes of amino acids, singlet oxygen, quantum-chemical modeling

На сегодняшний день соединения аминокислот с металлами находят широкое применение в ферментативном катализе, в синтезе новых лекарственных препаратов и биологически активных веществ, а также в разработке новых методов получения экологически чистых катализаторов [1–2].

Широкий спектр работ связан с применением такого рода комплексов в качестве флуоресцентных зондов и меток при исследовании активности ферментов, а также биологических мембран. Применение металлокомплексов аминокислот в области изучения физико-химических процессов, протекающих в биологических системах,

связано с тем, что они выступают в качестве моделей реакций белков с металлами [3].

Пероксо- и оксокомплексы металлов с различными лигандами привлекают внимание в качестве простых для моделирования и исследования природных кислородных носителей в биологических процессах [4]. Например, металлоферменты присоединяют оксид при протекании различных биологических процессов [5–6]. Экспериментальные исследования показывают механизмы активации кислорода в таких процессах. Однако точное описание структуры таких комплексов и продуктов реакций экспериментально оценить очень сложно. В связи с этим про-

цессы активации кислорода в биологических процессах изучаются на примере простых модельных соединений – комплексов аминокислот с металлами [7–8].

Активация возбужденных состояний молекулярного кислорода под влиянием различных лигандов, выступающих в роли фотосенсибилизаторов, изучена достаточно подробно [9–10]. Известно, что генерация синглетного кислорода за счет переноса энергии от возбужденной молекулы фотосенсибилизатора и излучательного синглет-триплетного перехода молекулы кислорода с излучением кванта света. В данной работе исследуются процессы генерации синглетного кислорода под влиянием комплексов иона Sn^{2+} с такими аминокислотами, как цистеин, триптофан, тирозин. Основное состояние кислорода описывается триплетным термом $X^3\Sigma_g^-$. Катион олова Sn^{2+} с конфигурацией внешнего электронного уровня $4d^{10}5s^2$ находится в основном синглетном состоянии 1S_0 так же, как и применяемые в работе аминокислоты. Предполагается, что комплекс олова с аминокислотами, как молекула фотосенсибилизатора, при фотовозбуждении должен переходить из основного синглетного состояния в возбужденное триплетное. Далее энергия возбужденной молекулы фотосенсибилизатора за счет быстрого перехода ее в основное состояние передается молекуле кислорода, в результате чего происходит генерация синглетного кислорода за счет T-S перехода в молекуле O_2 . Триптофан обладает из всех 20 протеиногенных аминокислот наиболее сильной флуоресценцией, поглощая электромагнитное излучение с длиной волны 280 нм и сольватохромно излучая в диапазоне 300–350 нм [11]. Тирозин обладает высокой антиоксидантной активностью, что может проявляться в тушении радикалов, образующихся в реакциях синглетного кислорода с биологическими фрагментами. Цистеин является серосодер-

жащей аминокислотой (в составе тиольной группы), что обуславливает высокую устойчивость данной аминокислоты в комплексах с металлами (константа устойчивости $\lg \beta_2$ с никелем $\sim 20,2$, цинком $\sim 18,2$), большую, чем у других аминокислот [12].

Материалы и методы исследования

Геометрическая оптимизация комплексов $^1[\text{Cys}-\text{Sn}^{2+}-\text{Cys}]$, $^1[\text{Trp}-\text{Sn}^{2+}-\text{Trp}]$, $^1[\text{Tyr}-\text{Sn}^{2+}-\text{Tyr}]$ рассчитана методом ROHF/B3Lyp в базисе DZP, последующая оптимизация комплексов при присоединении молекулы кислорода проведена в базисе 3-21G [13]. Моделирование энергетических термов основных и нескольких возбужденных состояний оксигенированных комплексов проводили методом MRCI с учетом двукратных возбуждений, на векторах, полученных в рамках метода ROHF/B3Lyp/3-21G. В активное пространство (АП) включены 30 электронов, расположенных по орбиталам $3\sigma^2 \pi_u^2 \pi_g^2 \pi_g^1 \pi_g^1 3\sigma_u^0$ молекулы O_2 и $4d_{xy}, 4d_{xz}, 4d_{yz}, 3d_{x^2-y^2}, 3d_{z^2}, 5s, 5p_x, 5p_y, 5p_z$ катиона Sn^{2+} . За координату реакции принято расстояние $R(\text{Sn}-\text{O})$ между металлом и ближайшим к нему атомом кислорода в молекуле O_2 . Моменты разрешенных S-S, T-T переходов и запрещенных S-T переходов рассчитаны на основе оператора спинорбитального взаимодействия в одночастичном приближении оператора COV. Все расчеты выполнены в пакете программ FireFly [14].

Результаты исследования и их обсуждение

Конформационный анализ комплексов катиона олова с молекулами триптофана, цистеина и тирозина показал, что во всех случаях наиболее выгодной является конформация, когда катион расположен между амино- и карбоксильной группами (рис. 1). Основное состояние комплексов – синглетное. Симметрия – C_{2v} .

Таблица 1

Геометрические характеристики металлокомплексов аминокислот с молекулой кислорода, полученные в ходе оптимизации методом ROHF в базисе 3-21 G

Комплекс	$R(\text{Sn}-\text{N}(\text{NH}_2))$	$R(\text{Sn}-\text{O}(\text{COO}))$	$R(\text{Sn}-\text{O}(\text{O}_2))$	Группа симметрии
$^1[\text{Cys}-\text{Sn}^{2+}-\text{Cys}+\text{O}_2]$	2,036	2,378	3,960	C_2
$^3[\text{Cys}-\text{Sn}^{2+}-\text{Cys}+\text{O}_2]$	2,240	2,047	2,040	C_2
$^1[\text{Trp}-\text{Sn}^{2+}-\text{Trp}+\text{O}_2]$	2,369	2,037	3,623	Cs
$^3[\text{Trp}-\text{Sn}^{2+}-\text{Trp}+\text{O}_2]$	2,035	2,375	3,760	Cs
$^1[\text{Tyr}-\text{Sn}^{2+}-\text{Tyr}+\text{O}_2]$	2,185	1,988	1,974	C_2
$^3[\text{Tyr}-\text{Sn}^{2+}-\text{Tyr}+\text{O}_2]$	2,246	2,040	1,419	C_2

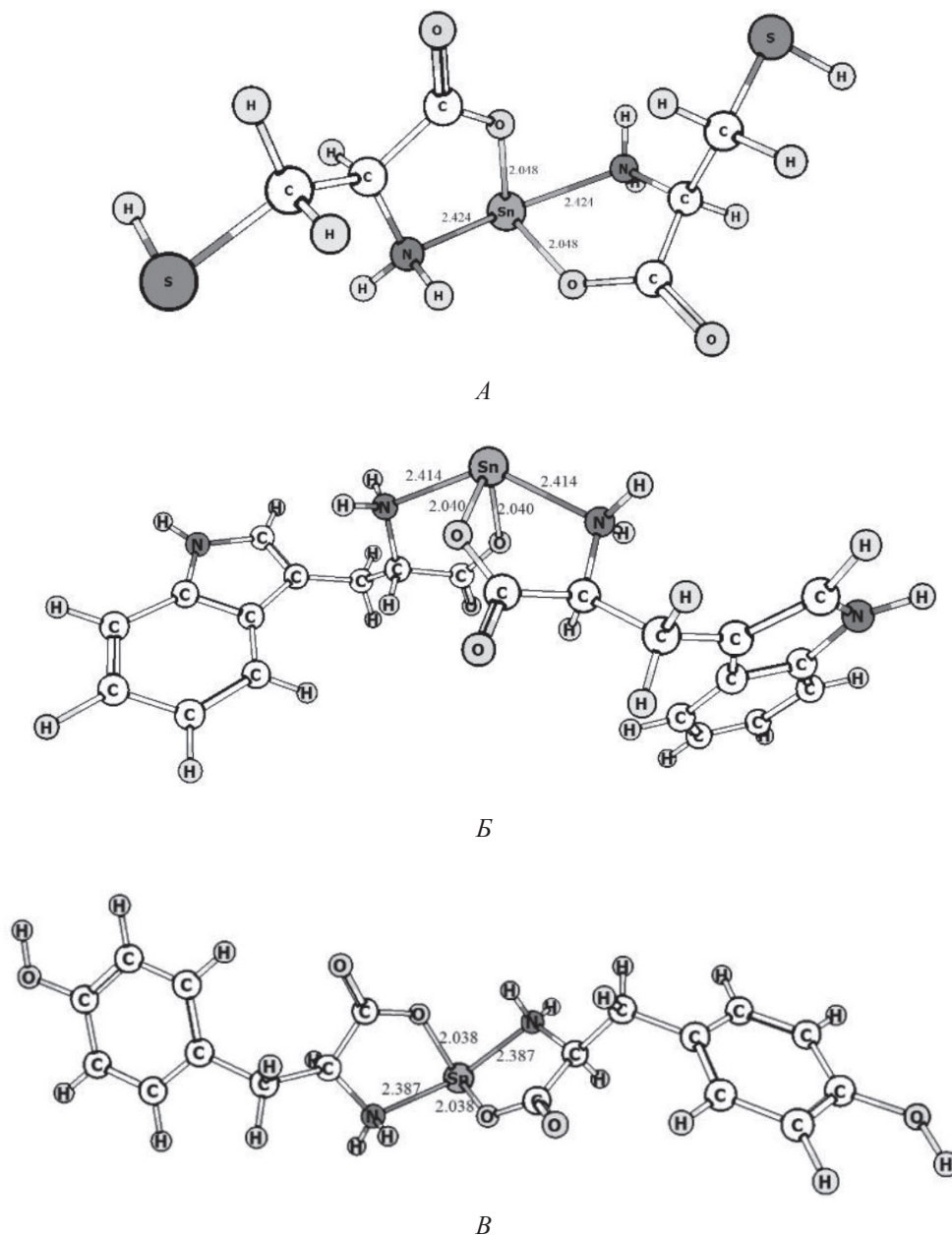


Рис. 1. Геометрическое строение комплексов, полученное в ходе геометрической оптимизации методом ROHF/DZP: А – $^1[\text{Cys}-\text{Sn}^{2+}-\text{Cys}]$, Б – $^1[\text{Trp}-\text{Sn}^{2+}-\text{Trp}]$, В – $^1[\text{Tyr}-\text{Sn}^{2+}-\text{Tyr}]$

Молекулу кислорода ориентировали к катиону металла в комплексе, проводя при этом геометрическую оптимизацию оксигенированных комплексов как в основном триплетном, так и в возбужденном синглетном состояниях. Равновесные расстояния в комплексах и группа симметрии приведены в табл. 1.

В случае с триптофаном симметрия C_{2v} в комплексе $^3[\text{Trp}-\text{Sn}^{2+}-\text{Trp}]$ сохраняется, однако молекула кислорода удаляется

на расстояние $3,8\text{\AA}$, ориентация молекулы кислорода к комплексу напоминает структуру пероксокомплекса. В комплексах с цистеином в синглетном состоянии, а также триптофаном как в синглетном, так и в триплетном состояниях молекула кислорода наиболее удалена от комплекса, длина связи составляет порядка 3-4 Å. Объяснение такому диссоциативному взаимодействию может дать анализ сечений ППЭ основных и возбужденных состояний комплексов.

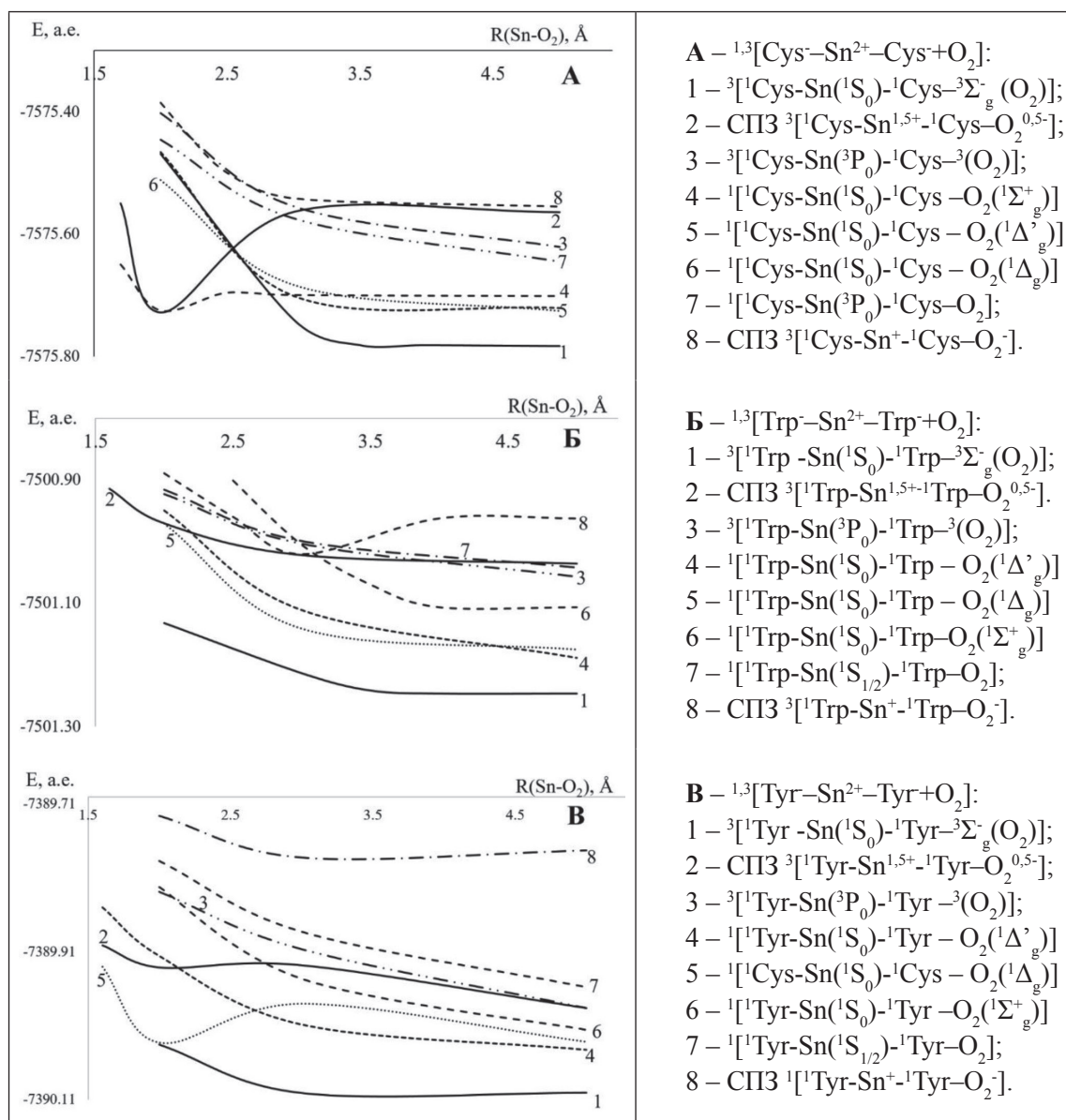


Рис. 2. Сечения ППЭ комплексов $^{1,3}[\text{Sn}^{2+}-2\text{AK}^++\text{O}_2]$, рассчитанные методом CI в базисе 3-21G

Анализ сечений ППЭ (рис. 2) показывает, что основным термом во всех комплексах является диссоциативный терм, описывающий основное триплетное состояние кислорода $^3[\text{Sn}({}^1\text{S}_0)-{}^3\Sigma_g^-(\text{O}_2)]$ (кривая 1). В комплексе $^{1,3}[\text{Cys}-\text{Sn}^{2+}-\text{Cys}^++\text{O}_2]$ к нему примыкают синглетные термы $a^1\Delta_g^+$ и $a^1\Delta_g^+$ кислорода – $^1[\text{Sn}({}^1\text{S}_0)-\text{O}_2({}^1\Delta_g^+)]$ и $^1[\text{Sn}({}^1\text{S}_0)-\text{O}_2({}^1\Delta_g)]$ (кривые 5, 6), которые остаются диссоциативными на всем интервале $R(\text{Sn}-\text{O}_2)$.

Терм синглетного кислорода $b^1\Sigma_g^+ - ^1[\text{Sn}({}^1\text{S}_0)-\text{O}_2({}^1\Sigma_g^+)]$ (кривая 4) обладает небольшим минимумом в точке 2 Å с энергией диссоциации порядка 0,65 эВ. Примыкающими к нему являются термы, описываю-

щие состояние переноса заряда (СПЗ) (кривая 2, 8), при котором происходит перенос электрона с 5S^2 катиона Sn^{2+} на π_g^1 в триплете или π_g^0 в синглете молекулы O_2 . Энергия активации СПЗ составляет 0,99 эВ (в точке пересечения основного триплетного терма с термом СПЗ в точке 2,4 Å). Таким образом, образование комплекса $^3[\text{Cys}-\text{Sn}^{2+}-\text{Cys}^++\text{O}_2]$ в основном триплетном состоянии возможно в ходе возникновения СПЗ (Sn^+-O_2^-). Далее из СПЗ возможно образование синглетного кислорода при переходе на терм $b^1\Sigma_g^+$. Однако наряду с образованием СПЗ равновероятным процессом является генерация состояний $a^1\Delta_g^+$ и $a^1\Delta_g$.

(пересечение основного триплетного термина 1 с кривыми 5, 6). Энергия активации данных состояний также равна порядка 0,99 эВ.

Совсем иная картина наблюдается в комплексе с триптофаном. В комплексе $^{1,3}[\text{Trp}-\text{Sn}^{2+}-\text{Trp}+\text{O}_2]$ (рис. 3, Б) все синглетные термы $^1[\text{Sn}(^1\text{S}_0)-2^1\text{Trp}-\text{O}_2(^1\Delta^*)]$, $^1[\text{Sn}(^1\text{S}_0)-2^1\text{Trp}-\text{O}_2(^1\Delta_g)]$, $^1[{}^1\text{Trp}-\text{Sn}(^1\text{S}_0)-{}^1\text{Trp}-\text{O}_2(^1\Sigma^+)]$ (кривые 4, 5, 6) так же, как и основной триплетный терм $^3[{}^1\text{Trp}-\text{Sn}(^1\text{S}_0)-{}^1\text{Trp}-{}^3\Sigma_g^-(\text{O}_2)]$, диссоциативны на всем интервале $R(\text{Sn}-\text{O}_2)$, что объясняет удаление молекулы кислорода от комплекса $[\text{Trp}-\text{Sn}-\text{Trp}]$ в ходе геометрической оптимизации (табл. 1). В комплексе $^{1,3}[\text{Trp}-\text{Sn}^{2+}-\text{Trp}+\text{O}_2]$ (рис. 1, Б) все синглетные термы $^1[\text{Sn}(^1\text{S}_0)-2^1\text{Trp}-\text{O}_2(^1\Delta^*)]$, $^1[\text{Sn}(^1\text{S}_0)-2^1\text{Trp}-\text{O}_2(^1\Delta_g)]$, $^1[{}^1\text{Trp}-\text{Sn}(^1\text{S}_0)-{}^1\text{Trp}-\text{O}_2(^1\Sigma^+)]$ (кривые 4, 5, 6) так же, как и основной триплетный терм $^3[{}^1\text{Trp}-\text{Sn}(^1\text{S}_0)-{}^1\text{Trp}-{}^3\Sigma_g^-(\text{O}_2)]$, диссоциативны на всем интервале $R(\text{Sn}-\text{O}_2)$, что объясняет удаление молекулы кислорода от комплекса $[\text{Trp}-\text{Sn}-\text{Trp}]$ в ходе геометрической оптимизации (табл. 1). Все термы так же, как и основной триплетный терм кислорода $^3\Sigma_g^-$, диссоциативны на всем интервале $R(\text{Sn}-\text{O}_2)$, что объясняет удаление молекулы кислорода от комплекса по результатам геометрической оптимизации (табл. 1). Однако небольшим энергетическим минимумом обладают термы, описывающие состояние переноса заряда в комплексе в синглетном и триплетном состояниях (кривые 2, 8), но необходимо затратить энергию для возникновения СПЗ порядка 3–4 эВ. В результате образования СПЗ возможна генерация синглетного кислорода в состоянии $b^1\Sigma_g^+$ (при переходе с кривой 7 или 8 на кривую 6), однако такой механизм энергетически не выгоден.

В комплексе $^{1,3}[\text{Tyr}-\text{Sn}^{2+}-\text{Tyr}+\text{O}_2]$ (рис. 3, В) наблюдается минимум для син-

глетного состояния $^1[{}^1\text{Tyr}-\text{Sn}(^1\text{S}_0)-{}^1\text{Tyr}-\text{O}_2(^1\Sigma_g^+)]$ (кривая 5). В точке пересечения с данным термом основного триплетного термина $^3[{}^1\text{Tyr}-\text{Sn}(^1\text{S}_0)-{}^1\text{Tyr}-{}^3\Sigma_g^-(\text{O}_2)]$ (кривая 1) возможно образование синглетного кислорода. Это наиболее энергетически выгодный путь генерации синглетного кислорода в данном комплексе с энергией активации 1,8 эВ. Однако существует еще один возможный механизм генерации кислорода в синглетном состоянии за счет образования состояния переноса заряда в триплете СПЗ $^3[{}^1\text{Tyr}-\text{Sn}^{2+}-{}^1\text{Tyr}-\text{O}_2]$ (кривая 2). Энергия активации такого СПЗ гораздо выше и составляет порядка 3,8 эВ. Далее терм СПЗ, пересекаясь с термами $a^1\Delta_g$ и $b^1\Sigma_g^+$ (кривые 4, 6), может также инициировать синглетный кислород. Оценка моментов переходов позволяет сделать вывод об индуцировании запрещенных по спину переходов между триплетным СПЗ в комплексах и синглетными термами молекулы O_2 (табл. 3). Данные сведения подтверждают исследуемый в данных комплексах механизм генерации синглетного кислорода.

Заключение

Резюмируя, можно отметить, что во всех исследуемых комплексах выявлены устойчивые состояния переноса заряда, наблюдаемые за счет переноса электрона с 5S^2 катиона Sn^{2+} на π_g^1 в триплете или π_g^0 в синглете. Генерация синглетного кислорода возможна в ходе образования таких СПЗ, однако наиболее энергетически выгодным такой канал генерации является в комплексе с цистеином. В случае с триптофаном и тирозином такие переходы требуют больших затрат энергии. В комплексе с тирозином наиболее приемлемым можно считать образование синглетного кислорода в точке пересечения триплетного термина $^3\Sigma_g^-$ с синглетным термом $a^1\Delta_g$.

Таблица 2

Величины моментов переходов для переходов в комплексах с катионом Sn^{2+}

Комплекс	Переход	M, D
$^{1,3}[\text{Cys}-\text{Sn}^{2+}-\text{Cys}+\text{O}_2]$	(СПЗ $^3[\text{Sn}^+\text{O}_2]-^1a'$)	$2,6 \cdot 10^{-1}$
	(СПЗ $^3[\text{Sn}^+\text{O}_2]-^1a$)	$1,0 \cdot 10^{-3}$
	(СПЗ $^3[\text{Sn}^+\text{O}_2]-^1b$)	$3,0 \cdot 10^{-1}$
	(СПЗ $^3[\text{Sn}^+\text{O}_2]-X$)	$9,5 \cdot 10^{-5}$
$^{1,3}[\text{Trp}-\text{Sn}^{2+}-\text{Trp}+\text{O}_2]$	(СПЗ $^3[\text{Sn}^+\text{O}_2]-^1b$)	$1,2 \cdot 10^{-4}$
	(СПЗ $^3[\text{Sn}^+\text{O}_2]-X$)	$2,6 \cdot 10^{-6}$
$^{1,3}[\text{Tyr}-\text{Sn}^{2+}-\text{Tyr}+\text{O}_2]$	(СПЗ $^3[\text{Sn}^+\text{O}_2]-^1a'$)	$0,8 \cdot 10^{-1}$
	(СПЗ $^3[\text{Sn}^+\text{O}_2]-^1a$)	$1,0 \cdot 10^{-3}$
	(СПЗ $^3[\text{Sn}^+\text{O}_2]-^1b$)	$1,0 \cdot 10^{-1}$
	(СПЗ $^3[\text{Sn}^+\text{O}_2]-X$)	$6,2 \cdot 10^{-6}$

Статья выполнена при поддержке гранта Оренбургской области в сфере научной и научно-технической деятельности № 22 от 2017 г.

Список литературы

1. Remko M. et al. Effect of metal Ions (Ni²⁺, Cu²⁺ and Zn²⁺) and water coordination on the structure of L-phenylalanine, L-tyrosine, L-tryptophan and their zwitterionic forms // *Journal of Molecular Modeling*. – 2011. – № 17(12). – P. 3117–3128.
2. Ding Y. et al. A Metal-Amino Acid Complex-Derived Bifunctional Oxygen Electrocatalyst for Rechargeable Zinc–Air Batteries // *Small*. – 2016. – T. 12. – № 39. – P. 5414–5421.
3. Фридман Я.Д. Об устойчивости соединений солей металлов с аминокислотами / Я.Д. Фридман, Н.М. Кебек, Дж.У. Усубалиев // *Журнал неорганической химии*. – 1990. – Т. 35, № 1. – С. 2868–2867.
4. Das D., Lee Y.-M., Ohkubo K., Nam W., Karlin K.D., Fukuzumi S. Temperature-independent catalytic two-electron reduction of dioxygen by ferrocenes with a copper(II) tris[2-(2-pyridyl)ethyl]amine catalyst in the presence of perchloric acid // *Journal of the American Chemical Society*. – 2013. – vol. 135. – № 7. – P. 2825–2834.
5. Kunishita A., Ertem M.Z., Okubo Y. et al. Active site models for the CuA site of peptidylglycine α -hydroxylating monooxygenase and dopamine β -monooxygenase // *Inorganic Chemistry*. – 2012. – vol. 51. – № 17. – P. 9465–9480.
6. Martinho M., Blain G., Banse F. Activation of dioxygen by a mononuclear non-heme iron complex: characterization of a FeIII(OOH) intermediate // *Dalton Transactions*. – 2010. – vol. 39. – № 6. – P. 1630–1634.
7. Zhang X., Yue F., Li H., Huang Y., Zhang Y., Wen H., Wang J. Reversible Oxygenation of α -Amino Acid–Cobalt (II) Complexes // *Bioinorganic chemistry and applications*. – 2016.
8. Cho J., Sarangi R., Kang H.Y. et al. Synthesis, structural, and spectroscopic characterization and reactivities of mononuclear cobalt(III)-peroxo complexes // *Journal of the American Chemical Society*. – 2010. – vol. 132. – № 47. – P. 16977–16986.
9. Landry M.P. Characterization of photoactivated singlet oxygen damage in single-molecule optical trap experiments // *Biophysical journal*. – 2009. – Vol. 97. – № 8. – P. 2128–2136.
10. Krasnovsky A.A., Kozlov A.S., Roumbal Y.V. Photochemical investigation of the IR absorption bands of molecular oxygen in organic and aqueous environment // *Photochemical & Photobiological Sciences*. – 2012. – Vol. 11. – № 6. – P. 988.
11. Joseph R. Lakowicz Principles of Fluorescence Spectroscopy. – Springer Science + Business Media, 2006.
12. Yang G., et al. Interactions of Zn (II) with single and multiple amino acids. Insights from density functional and ab initio calculations // *Journal of Mass Spectrometry*. – 2012. – № 47(10). – P. 1372–1383.
13. Clark T. et al. Efficient diffuse function-augmented basis sets for anion calculations. III. The 3-21+ G basis set for first-row elements, Li–F // *Journal of Computational Chemistry*. – 1983. – T. 4. – № 3. – P. 294–301.

14. Granovsky A.A. Firefly version 8.1. URL: <http://classic.chem.msu.su/gran/firefly/index.html> – 2014.

References

1. Remko M. et al. Effect of metal Ions (Ni²⁺, Cu²⁺ and Zn²⁺) and water coordination on the structure of L-phenylalanine, L-tyrosine, L-tryptophan and their zwitterionic forms // *Journal of Molecular Modeling*. 2011. no. 17(12). pp. 3117–3128.
2. Ding Y. et al. A Metal-Amino Acid Complex-Derived Bifunctional Oxygen Electrocatalyst for Rechargeable Zinc–Air Batteries // *Small*. 2016. T. 12. no. 39. pp. 5414–5421.
3. Fridman Ja.D. Ob ustojchivosti soedinenij solej metallov s aminokislotami / Ja.D. Fridman, N.M. Kebec, Dzh.U. Usubaliev // *Zhurnal neorganicheskoy himii*. 1990. T. 35, no. 1. pp. 2868–2867.
4. Das D., Lee Y.-M., Ohkubo K., Nam W., Karlin K.D., Fukuzumi S. Temperature-independent catalytic two-electron reduction of dioxygen by ferrocenes with a copper(II) tris[2-(2-pyridyl)ethyl]amine catalyst in the presence of perchloric acid // *Journal of the American Chemical Society*. 2013. vol. 135. no. 7. pp. 2825–2834.
5. Kunishita A., Ertem M.Z., Okubo Y. et al. Active site models for the CuA site of peptidylglycine α -hydroxylating monooxygenase and dopamine β -monooxygenase // *Inorganic Chemistry*. 2012. vol. 51. no. 17. pp. 9465–9480.
6. Martinho M., Blain G., Banse F. Activation of dioxygen by a mononuclear non-heme iron complex: characterization of a FeIII(OOH) intermediate // *Dalton Transactions*. 2010. vol. 39. no. 6. pp. 1630–1634.
7. Zhang X., Yue F., Li H., Huang Y., Zhang Y., Wen H., Wang J. Reversible Oxygenation of α -Amino Acid–Cobalt (II) Complexes // *Bioinorganic chemistry and applications*. 2016.
8. Cho J., Sarangi R., Kang H.Y. et al. Synthesis, structural, and spectroscopic characterization and reactivities of mononuclear cobalt(III)-peroxo complexes // *Journal of the American Chemical Society*. 2010. vol. 132. no. 47. pp. 16977–16986.
9. Landry M.P. Characterization of photoactivated singlet oxygen damage in single-molecule optical trap experiments // *Biophysical journal*. 2009. Vol. 97. no. 8. pp. 2128–2136.
10. Krasnovsky A.A., Kozlov A.S., Roumbal Y.V. Photochemical investigation of the IR absorption bands of molecular oxygen in organic and aqueous environment // *Photochemical & Photobiological Sciences*. 2012. Vol. 11. no. 6. pp. 988.
11. Joseph R. Lakowicz Principles of Fluorescence Spectroscopy. Springer Science + Business Media, 2006.
12. Yang G., et al. Interactions of Zn (II) with single and multiple amino acids. Insights from density functional and ab initio calculations // *Journal of Mass Spectrometry*. 2012. no. 47(10). pp. 1372–1383.
13. Clark T. et al. Efficient diffuse function-augmented basis sets for anion calculations. III. The 3-21+ G basis set for first-row elements, Li–F // *Journal of Computational Chemistry*. 1983. T. 4. no. 3. pp. 294–301.
14. Granovsky A.A. Firefly version 8.1. URL: <http://classic.chem.msu.su/gran/firefly/index.html> 2014.

УДК 630*17:582.475.2:630*164.8

**КАЧЕСТВО СЕМЯН ЛИСТВЕННИЦЫ СИБИРСКОЙ
НА КЛОНОВОЙ ЛЕСОСЕМЕННОЙ ПЛАНТАЦИИ****²Зеленяк А.К., ¹Морозова Е.В., ¹Иозус А.П.**¹*Камышинский технологический институт (филиал) государственного образовательного учреждения «Волгоградский государственный технический университет»,**Камышин, e-mail: end@kti.ru;*²*Нижневолжская станция по селекции древесных пород – филиал**ФГБНУ «Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук», Камышин, e-mail: pitomnik-vnialmi@mail.ru*

В статье приведены результаты многолетних исследований качества семян интродуцированной в степную зону РФ лиственницы сибирской на выделенных маточных деревьях в существующих лучших популяциях и в клоновой лесосеменной плантации, созданной на основе этих маточников. Анализируются размеры шишек, их длина и ширина, время созревания семян, их размеры и масса, полнотелость и лабораторная всхожесть, выявлены отдельные корреляционные связи между морфометрическими признаками и качеством семян. На созданной лесосеменной плантации с применением необходимых мероприятий возможно получение семян лиственницы первого класса качества с урожайностью до 120 кг с 1 га. Проведенные опыты показали значительное превышение завязываемых нормальных семян при ксеногамном опылении, чем при гейтогамном. Для лиственницы важно как перекрестное опыление, так и самоопыление. В случае перекрестного опыления расширяется генотипический состав семян, что позволяет потомству занимать новые экологические ниши и эволюционировать. В случае самоопыления потомство остается в тех же лесорастительных условиях, но в первом инбредном поколении происходит сужение генетического состава по сравнению с кроссбредным. Ввиду того, что в Нижнем Поволжье лиственница не является аборигенной породой, при создании лесосеменной плантации необходимо ориентироваться на получение семян с кроссбредной наследуемостью, обладающей более высокими адаптивными свойствами, и в то же время на плантации в обязательном порядке будет присутствовать самоопыление. Рекомендуем в качестве способов повышения полнотелости семян применять отсеивание пустых семян или отмывку водой.

Ключевые слова: лиственница сибирская, маточные деревья, лесосеменная плантация, семеношение, семена**SEED QUALITY OF SIBERIAN LARCH ON CLONAL FOREST-SEED PLANTATION****²Zelenyak A.K., ¹Morozova E.V., ¹Iozus A.P.**¹*Kamyshin Technological Institut (branch) of Volgograd State Technical University,*
*Kamyshin, e-mail: end@kti.ru;*²*Lower Volga station on tree species breeding – branch of Federal scientific center of agroecology and agroforest melioration, Kamyshin, e-mail: pitomnik-vnialmi@mail.ru*

The article presents the results of long-term studies of seed quality of Siberian larch introduced into the steppe zone of the Russian Federation on allotted uterine trees in existing best populations and in the clonal forest seed plantation that created on the basis of these mother plantation. The sizes of strobiles, their length and width, seed ripening time, their size and mass, full-graininess and laboratory seed germinating are analyzed, and individual correlation relationships between morphometric characteristics and the quality of seeds are revealed. It is possible to obtain larch seeds of the first class of quality having a yield up to 120 kg per hectare at the created forest seed plantation with the application of the necessary measures. The carried-out experiments showed a significant excess of tied normal seeds in xenogamy pollination than in the case of geitonogamy one. It is important for larch both cross pollination and self-pollination. In case of cross pollination, the genotypic composition of seeds is expanded, which allows the offspring to occupy new ecological niches and to evolve. In case of self-pollination, the offspring remains in the same forest growing conditions, but in the first inbred generation the genetic composition is narrowed in comparison with the crossbred one. In view of the fact that in the Lower Volga region larch is not of aboriginal breed, when creating a seed-bearing plantation, it is necessary to focus on obtaining seeds with crossbred inheritance, which has higher adaptive properties, and at the same time self-pollination will necessarily be presented on the plantation. We recommend to use the elimination of empty seeds or washing them out with water as methods to increase the full grain of seeds.

Keywords: Siberian larch, uterine trees, forest seed plantation, seeding, seeds

Лиственница сибирская (*Larix sibirica* Ledeb) имеет широкий ареал распространения, хорошо изучена и систематизирована [1, 2]. Лиственница является перспективной породой для выращивания на достаточно плодородных почвенных разностях сухой степи Нижнего Поволжья.

Здесь лиственница сибирская показывает хороший рост, устойчивость к неблагоприятным климатическим факторам, обладает резко выраженными почвозащитными и водоохранными свойствами, высокой хозяйственной ценностью, декоративностью. По совокупности всех приоритетных свойств

в защитном лесоразведении она не имеет конкурентов [3].

Однако, несмотря на важные достоинства, использование лиственницы в лесоразведении и озеленении в сухостепной зоне крайне ограничено, чему препятствует отсутствие местных семян и сложность выращивания сеянцев в питомниках. Проблема получения местного селекционно-улучшенного посевного материала может быть решена лишь организацией собственных семенных баз на основе адаптированных в степных условиях популяций и маточных деревьев [4].

Цель и задачи исследования

Целью научной работы являлся сравнительный анализ урожайности и качества семян, выделенных в лучших лесных культурах степного Заволжья маточных деревьев интродуцированной лиственницы сибирской, в том числе на клоновой лесосеменной плантации, заложенной в 1985 г., и выявление возможностей получения массового производственного сбора качественного селекционно-улучшенного посевного материала.

Материалы и методы исследования

В течение 45 лет сотрудниками отдела биологии Всероссийского научно-исследовательского института агролесомелиорации произведено исследование роста и состояния лиственницы в сохранившихся насаждениях в Оренбургской, Самарской, Волгоградской областях; в лучших популяциях и семьях отобраны маточные деревья; выделенный генофонд прошел проверку на семеношение и качество семян, по наследуемости роста семенного потомства, его засухо- и солеустойчивости; предложены эффективные методы семенного и вегетативного размножения, разработана технология создания клоновых плантаций для производства селекционно-улучшенных семян. В наиболее успешных лесных культурах и старинных парках были отобраны 18 лучших по комплексу фенотипических признаков деревьев в возрасте от 29 до 400 лет. В результате исследований по совокупности важных для защитного лесоразведения показателей выделено 12 лучших маточных деревьев для закладки семенных плантаций. С каждого отобранного маточного дерева отдельно собирали семена и выращивали из них однолетние сеянцы, которые затем высаживали в полиэтиленовые контейнеры. К сеянцам маточного дерева «вприклад

серцевинной на камбий» прививали черенки с тех же маточных деревьев. Эти однолетние прививки в 1976 г. высажены в Шахматовском агролесомелиоративном питомнике Оренбургской области на площади 2 га, а в 1985 г. – в Новоаннинском лесничестве Волгоградской области на площади 12 га. Таким образом, заложены клоновые лесосеменные плантации лиственницы сибирской посадкой привитых саженцев (клонов) от 12 маточных деревьев. Применена рендомизированная схема смешения клонов с размещением растений: 5 м – расстояние между клонами в ряду, 10 м – ширина междурядий. Оценка семеношения выделенных деревьев и клонов на лесосеменной плантации (ЛСП) проводилась глазомерно-статистическим методом по шкале В.Г. Каппера, количество шишек – по спиленному модельному дереву, размеры шишек – их сбором с каждого клона и обмером.

Показатели качества семян оценивались по ГОСТ 14161-93 «Семена хвойных деревьев и кустарников. Посевные качества» – в лаборатории станции.

Результаты исследования и их обсуждение

Практический небогатый опыт существующих насаждений показывает, что интродуцированная лиственница сибирская в возрасте 104 лет достигает высоты 34,8 м и диаметра ствола 40,8 см (с. Полибино, Оренбургская область). В Шахматовском питомнике (Оренбургская область) культуры лиственницы в возрасте 57 лет имели высоту 19,3 м, диаметр 27,5 см, на черноземе обыкновенном Безенчукского лесхоза (Самарская область) лиственница к возрасту 87 лет имела высоту 18,7 м, диаметр 25,2 см, т.е. насаждения выделяют успешным ростом и относятся к 1–2 классам бонитета. Известно, что деревья одной и той же породы и возраста в одних и тех же лесорастительных условиях могут отличаться друг от друга быстротой роста, формой ствола, семеношением, устойчивостью к неблагоприятным воздействиям внешней среды. Доказано, что эти различия проявляются в потомстве. Поэтому создание местных лесосеменных баз на основе предварительного селекционного отбора, сбор и использование семян с лучшими наследственными свойствами позволят поднять производительность и качество создаваемых на этой основе будущих защитных насаждений.

Исследование вопроса качества семян лиственницы имеет принципиальное значение. С семенами выделенных деревьев урожая 1980 г. (балл семеношения 4) проведены лабораторные исследования их всхожести. В качестве примера в табл. 1 приведены данные по выделенным деревьям № 10–15. Результаты показывают, что прорастают все полнозернистые (здоровые) семена – 54,7%, загнившие составляют 5,7%, пустые лишенные зародыша и эндосперма – 39,7%.

Таблица 1
Лабораторная всхожесть семян
маточных деревьев

№ деревьев и всхожесть семян, %	10	11	12	13	14	15
Пустые	40	52	54	39	37	16
Загнившие	8	4	3	10	5	4
Проросшие	52	44	43	51	58	80

В годы с низким семеношением при баллах 1–2 показатели всхожести снижаются: проросшие – 12–23%, пустые – соответственно увеличиваются, загнившие – сохраняют прежний уровень. Установлена четкая зависимость образования пустых семян от расположения дерева: одиночное, в насаждении, в линейных посадках, что обуславливается качеством перекрестного опыления. В Нижнем Поволжье лиственница является интродуцентом, поэтому при создании лесосеменных плантаций (ЛСП) мы ориентировались на получение семян с кроссбредной наследуемостью, обладающей более высокими адаптивными свойствами, и в то же время на плантации в обязательном порядке будет присутствовать самоопыление.

Средняя лабораторная всхожесть семян у всех 18 выделенных деревьев за период с 1971 по 1980 гг. составила 28%, контрольные семена из насаждений, где выделены маточники, показали среднюю всхожесть 17%.

В то же время по отдельным годам наблюдений всхожесть семян у каждого из выделенных деревьев сильно варьирует от 4–7% до 80%. При этом у отдельных деревьев наблюдался ежегодно высокий процент полнозернистых семян. Например, дерево № 15 имело следующие показатели всхожести по годам: 1971 – 79%, 1972 – 58%; 1975 – 79%, в то время как контрольный образец семян имел соответственно следующие показатели всхожести: 45, 26, и 16,%. Четкого ежегодного постоянства качества

семян у отдельных маточных деревьев не выявлено. Масса 1000 шт. семян лиственницы – наиболее изменчивый признак. По данным Е.П. Заборовского, масса семян колеблется в пределах от 3,1 до 12,2 г, а средние наиболее частые величины этого показателя 7–9 г [5]. Изменчивость массы семян, по нашим определениям, еще более велика – от 2,5 до 16,0 г. Средняя масса 1000 шт. семян всех деревьев за годы наблюдений составляет 8,5 г, у большинства – выше контроля. Наблюдается тенденция повышения массы при среднем и хорошем урожае. В 1972 г. средняя масса 1000 шт. семян всех выделенных деревьев составила при плодоношении 1,2 балла – 6,4 г, в 1978 г. при 2,5 балла – 11,0 г, в 1980 г. при 1,8 балла – 10,1. Наибольшим постоянством массы семян отличаются деревья № 2, 6, 7, 8, 9, 16, у которых различия по годам составляют 2,4–4,7 г. Выделяются семена деревьев № 4, 5, 8, 14, при среднем варьировании имеющие большую массу. Масса 1000 шт. семян одиночно растущего дерева № 18 равна 4,4 г, что в 1,5–2,0 раза ниже образцов семян насаждений лиственницы Нижнего Поволжья. На лесосеменной плантации клоны лиственницы единично начали плодоносить в возрасте 13 лет, с повышением возраста плодоношение увеличивается, и в 17 лет возможна массовая заготовка семян, в пору обильного плодоношения ЛСП вступила в 24-летнем возрасте.

В условиях Волгоградской области созревание шишек по нашим многолетним наблюдениям происходит в период с 24 июля по 3 августа, на стационарном объекте Нижневолжской станции по селекции древесных пород (г. Камышин) на 3–5 дней раньше, чем на ЛСП Новоаннинского лесничества. Начало и продолжительность периода высыпания семян определяется состоянием погоды. В нижней части шишки, где семенные чешуйки плотные, некондиционные семена могут сохраняться еще длительное время. Семена оказываются полностью сформированными уже к началу августа. Чтобы получить семена высокого качества, необходим сбор шишек в период от их созревания до начала вылета семян. Исследования морфометрических показателей шишек и семян проводились на материалах ЛСП Новоаннинского лесничества (табл. 2).

Наблюдения показывают, что длина шишек – признак наиболее изменчивый, прежде всего он сильно колеблется в пределах одного дерева. На размеры шишек оказывает

влияние эндогенный фактор, обуславливающий их дифференциацию в пределах кроны дерева. В верхней, хорошо освещённой части формируются более крупные шишки, но их мало, основная часть крупных шишек с качественными семенами сосредоточена в средней части кроны, меньшая часть – в нижней при достаточной освещенности. Кроме того, на изменчивость длины и ширины шишек в пределах одного дерева оказывают влияние такие факторы, как неравномерность поступления питательных веществ в различные участки кроны, неравномерность распределения по кроне солнечного тепла, влажности и т.д. Шишки, расположенные на южной стороне кроны, как правило, крупнее, чем на теневой стороне.

Длина и ширина шишек также существенно варьируются по годам, что объясняется разными метеорологическими условиями каждого отдельного вегетационного периода, величиной урожая предшествующего года и др. На размеры шишек также влияет индивидуальная изменчивость каждого отдельного растения. Н.В. Дылис [4] указывал, что даже у рядом расположенных деревьев размеры шишек в большинстве случаев неодинаковы, объясняя эти расхождения индивидуальными внутренними свойствами каждой особи и различиями жизненных условий, которые всегда име-

ют место даже у двух соседних деревьев. В древостое всегда встречаются крупношишечные и мелкошишечные формы. Между длиной шишек и их шириной просматривается нечетко выраженная прямая зависимость: с увеличением длины шишек увеличивается их диаметр. Ранговая оценка длины и ширины шишек выделенных деревьев по годам показывает, что стабильно сохранили ранговое положение по длине шишек клоны № 4 и 7 (ранг 1–3), нет постоянства – клоны № 2, 5, 6 (ранг 3–6). Шишки дерева № 2 выделяются по ширине (средний ранг 2,8). Клоны № 4, 7, 12, 15 практически всегда имели самые крупные шишки, № 1, 3, 5, 13, 17 – самые мелкие. Масса шишек тесно связана с массой семян, образуемых в шишке, коэффициент корреляции равен 0,8. Коэффициент корреляции длины шишек с массой семян в них составляет 0,7–0,8, что свидетельствует о целесообразности сбора более крупных шишек. При изучении связи семенной продуктивности с морфологическими особенностями деревьев у лиственницы сибирской влияния морфологических признаков деревьев на размер и массу шишек, а также на количество семян в них не выявлено [5], однако отмечено, что комплексным показателем наиболее урожайных деревьев у лиственницы сибирской является диаметр кроны деревьев.

Таблица 2

Морфометрические показатели шишек и семян клонов лиственницы

Показатели	К-1	К-2	К-3	К-4	К-5	К-6	К-7	К-8	К-12	К-13	К-15	К-17
Кол-во шишек, шт. на 1 дереве	1134	540	540	648	1620	1188	918	1458	1296	702	1728	1620
Длина шишки, см	3,3	3,2	3,3	3,7	3,4	3,4	3,7	3,4	3,5	3,3	4,5	3,4
Ширина шишки, см	1,6	2,2	1,7	1,6	1,7	1,8	1,9	1,7	2,0	1,3	1,6	1,4
Масса, шишки, г	2,19	1,79	1,71	2,22	2,09	2,35	2,50	1,79	2,29	1,49	2,39	2,08
Длина семени, мм	4,8	5,0	4,5	4,4	4,9	5,0	4,6	4,8	4,9	4,7	5,0	5,0
Ширина семени, мм	2,8	3,5	2,8	2,5	3,0	3,5	2,5	3,0	3,0	3,0	3,0	2,6
Полнозернистость, 2010 г.	67	60	69	48	70	65	56	76	65	59	70	68
Масса 1000 шт семян, 2010 г.	9,6	9,6	10,2	9,2	10,0	9,4	9,6	10,8	9,2	8,8	10,1	12,2

Таблица 3

Показатели массы 1000 шт. полнозернистых и пустых семян

Порода	Полнозернистые, г	Пустые, г	Коэффициент превышения	Полнозернистость, %
Лиственница	9,5	7,6	1,1	58
Сосна крым.	35,0	3,7	2,4	54
Ель колючая	3,3	1,3	2,5	60
Псевдотсуга	12,5	6,0	2,1	44

Количество шишек на клонах 30-летнего возраста при балле плодоношения 4 и 5 очень различно – от 540 до 1620 шт. и более. Масса семян в одной шишке в среднем по всем клонам с баллом плодоношения 5 в 2008 г. составила 314 мг, в 2010 г. – 390 мг, в 2015 г. – 278 мг. Максимальная масса семян в одной шишке – 450, минимальная – 220 мг. Средний показатель массы семян в одной шишке всех двенадцати клонов за 2006-2015 годы изменяется в пределах 0,22–0,45 г, с количеством семян – 37 шт. В шишках, длина которых меньше 25 мм, в большей части формируются недоразвитые и пустые семена, заготавливать такие шишки нецелесообразно. При повышенных баллах плодоношения и более высокой массе семян в одной шишке масса семян с одного дерева клонов в наиболее урожайном 2010 г. получена в пределах 459–882 г. На отдельных особях клонов высокого балла плодоношения масса семян достигает до 1240 г на одном дереве. Оценка массы семян двенадцати клонов позволяет выделить лучшие по этому показателю – № 3, 5, 8, 15, 17, у которых масса в пределах 10,0–12,2 г и эти различия устойчиво сохраняются. Семена лиственницы сибирской с всхожестью выше 40% относятся ко второму классу качества, выше 60% – к первому. В наиболее урожайный год у 67% всех клонов плантации получены семена первого класса качества, 33% клонов имели семена второго класса, совсем отсутствовали семена третьего класса качества и неклассные. С уменьшением обилия плодоношения уменьшается полнотернистость и всхожесть семян. Так при урожае ниже 5 кг на 1 га площади плантации всхожесть снижается до 10–15%, при урожае 20–25 кг и выше – повышается до 50–70%.

В отличие от семян других хвойных пород коэффициент превышения массы полнотернистых семян над пустыми у лиственницы очень низкий и составляет 1,1, в то время как у сосны крымской – 2,4, у ели колючей – 2,5, у псевдотсуги – 2,1 (табл. 3).

Основными способами повышения качества семян являются отсевание пустых семян или отмывка их водой, которые дают возможность повысить показатели на 10–14%. Пустые семена лиственницы, в отличие от семян других хвойных пород, по массе отличаются от полнотернистых только на 15–20%, что затрудняет их отделение путем отсеивания. Применение комбинированного способа повышения полнотернистости семян отсеиванием с последующей отмывкой водой позволяет повышать количество доброкачественных семян до 91–95% и доводить семена лиственницы до 1 класса качества [5, 6].

Выводы

Вегетативное потомство отобранных плюсовых деревьев в условиях лесосеменных плантаций при соответствующем размещении и периодических уходах за почвой плодоносит чаще, обильнее, чем в лесных культурах и естественных популяциях.

В связи с периодичностью семеношения, а также с тем фактом, что семена лиственницы в течение 2–3 лет сохраняют всхожесть, в наиболее урожайные годы необходимо создавать резервный запас семян для выдерживания ежегодного процесса выращивания посадочного материала.

В условиях Нижнего Поволжья на клонной лесосеменной плантации возможность массовой производственной заготовки семян наступает к 24-летнему возрасту, с увеличением возраста плантации повышается урожайность. В небольшом количестве семеношение наблюдается ежегодно, обильное же – с интервалом в 2–3 года, семена высшего качества получают в годы обильного урожая.

Список литературы

1. Орлова Л.В. Конспект дикорастущих и некоторых интродуцированных видов рода *Larix* Mill. (Pinaceae) флоры Восточной Европы // Новости систематики высших растений. – 2011. – Т. 43. – С. 5–18.
2. Карасева Т.А. Изучение вопроса введения лиственницы сибирской в искусственные насаждения лесов Алтайского края // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2016. – № 9 (143). С. 75–79.
3. Филатов В.Н., Кабанов С.В., Заигралова Г.Н. Рост и состояние видов лиственницы в географических культурах Базарно-Карабулакского лесничества Саратовской области. // Аграрный научный журнал. – 2016. – № 5. – С. 35–40.
4. Дылис Н.В. Лиственница. – М.: Лесная промышленность, 1981. – 96 с.
5. Сапронова Д.В., Зеленьяк А.К., Иозус А.П. Плодоношение лиственницы в Нижнем Поволжье // Современные проблемы науки и образования. – 2013. – № 4; URL: <https://www.science-education.ru/ru/article/view?id=9995> (дата обращения: 18.12.2017).
6. Макаров В.М., Зеленьяк А.К., Иозус А.П. Технология выращивания лиственницы сибирской // Современные проблемы науки и образования. – 2012. – № 6; URL: <https://www.science-education.ru/ru/article/view?id=7536> (дата обращения: 18.12.2017).

References

1. Orlova L.V. Konspekt dikorastushhih i nekotoryh introducirovannyh vidov roda *Larix* Mill. (Pinaceae) flory Vostochnoj Evropy // Novosti sistematiki vysshih rastenij. 2011. T. 43. pp. 5–18.
2. Karaseva T.A. Izuchenie voprosa vvedeniya listvennicy sibirskoj v iskusstvennye nasazhdeniya lesov Altajskogo kraja // Vestnik Altajskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2016. no. 9 (143). pp. 75–79.
3. Filatov V.N., Kabanov S.V., Zaigralova G.N. Rost i sostojanie vidov listvennicy v geograficheskikh kulturah Bazarno-Karabulakskogo lesnichestva Saratovskoj oblasti. // Agrarnyj nauchnyj zhurnal. 2016. no. 5. pp. 35–40.
4. Dylis N.V. Listvennica. M.: Lesnaja promyshlennost, 1981. 96 p.
5. Sapronova D.V., Zelenjak A.K., Iozus A.P. Plodonoshenie listvennicy v Nizhnem Povolzhe // Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya. 2013. no. 4; URL: <https://www.science-education.ru/ru/article/view?id=9995> (data obrashheniya: 18.12.2017).
6. Makarov V.M., Zelenjak A.K., Iozus A.P. Tehnologiya vyrashhivaniya listvennicy sibirskoj // Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya. 2012. no. 6; URL: <https://www.science-education.ru/ru/article/view?id=7536> (data obrashheniya: 18.12.2017).

УДК 633.854.54:631.52(470.40/.43)

ИЗУЧЕНИЕ МИРОВОЙ КОЛЛЕКЦИИ ЛЬНА МАСЛИЧНОГО КАК ИСХОДНОГО МАТЕРИАЛА ДЛЯ СЕЛЕКЦИИ В УСЛОВИЯХ ЛЕСОСТЕПИ СРЕДНЕГО ПОВОЛЖЬЯ

Казарина А.В., Казарин В.Ф., Косых Л.А., Атакова Е.А.

ФГБНУ «Поволжский научно-исследовательский институт селекции и семеноводства
им. П.Н. Константинова», п. Усть-Кинельский, e-mail: kazarinvf@mail.ru, kazarinaav@bk.ru

В условиях Среднего Поволжья лён масличный по скороспелости превосходит традиционные для нашего региона масличные культуры (подсолнечник, соя), благодаря высокой потенциальной урожайности (2,2–2,6 т/га) и масличности (42–49%) экономическая эффективность его возделывания не вызывает сомнений. Площади занятые льном масличным в этом регионе увеличиваются, и по прогнозам эта тенденция сохранится и в перспективе. В связи с чем возникает необходимость создания новых конкурентоспособных сортов льна масличного устойчивых к абиотическим и биотическим факторам внешней среды при высоком уровне продуктивности и качества льносырья. Цель исследований – оценка нового генофонда льна масличного в условиях лесостепи Среднего Поволжья по морфологическим, биологическим, хозяйственно ценным признакам и выявление образцов перспективных в качестве исходного материала для практической селекции. Исследования проводились на базе ФГБНУ «Поволжский НИИСС» в 2014–2016 гг. Объектом изучения являлись 57 сортов и образцов льна различного эколого-географического происхождения, полученных из мировой коллекции ВИР. На основании комплексного изучения исходного материала были выделены группы сортообразцов в коллекционном питомнике с хозяйственно ценными признаками. Раннеспелая группа из 16 сортообразцов (вегетационный период 63–73 суток), позднеспелая группа (вегетационный период 81–85 суток) – 2 образца. Группы с высокой семенной продуктивностью – 9 сортообразцов, с массой 1000 семян более 8,0 г – 3 образца, высоким числом продуктивных коробочек на растении – 4 образца, количеством семян на коробочку (7,7–8,7 шт.) – 22 образца. Группа низкорослых растений в количестве 16 образцов, высокорослых образцов (выше стандарта на 5–26 см) – 7. Выделенные группы коллекционных сортообразцов обладают ценными признаками и свойствами и рекомендуются для использования в селекционных программах при создании раннеспелых и среднеспелых сортов льна масличного наиболее приспособленных к природно-климатическим условиям зоны Среднего Поволжья, отличающихся высокой урожайностью.

Ключевые слова: лён масличный, коллекция, селекция, семенная продуктивность, исходный материал

THE STUDY OF THE WORLD COLLECTION OF OIL FLAX AS AN INITIAL MATERIAL FOR BREEDING UNDER THE FOREST-STEPPE OF THE MIDDLE VOLGA CONDITIONS

Kazarina A.V., Kazarin V.F., Kosykh L.A., Atakova E.A.

*Federal State Scientific Institution «Volga Research Institute of breeding and seed growing
named after P.N. Konstantinov», Ust-Kinelskiy, e-mail: kazarinvf@mail.ru, kazarinaav@bk.ru*

In the Middle Volga region, the oil flax surpasses oilseed crops, traditional for our region (sunflower, soybean), in early ripeness, due to the high potential yield (2.2–2.6 t / ha) and oil content (42–49%) the economic efficiency of its cultivation doesn't raise doubts. The areas occupied by the oil flax in the region are increasing and this tendency is predicted to continue in the future. In this connection, there is a need to create new competitive varieties of flax oil resistant to the abiotic and biotic factors of the external environment with a high level of productivity and quality of flax. The purpose of the research is to evaluate the new gene pool of flax oil under the forest-steppe of the Middle Volga region conditions based on morphological, biological, economic-valuable features and identification of promising samples as initial material for practical breeding. Researches were conducted on the basis of FGBNU «Volga NIIS» in 2014–2016. Object of studying were 57 varieties and samples of flax of various ecological and geographical origin, obtained from the world collection of N.I. Vavilov Institute of Plant Genetic Resources (VIR). Based on comprehensive study of the initial material, groups of varieties having economically valuable characteristics were identified in the collection nursery. Early ripening group of 16 varieties (vegetation period is 63–73 days), late-ripening group (vegetation period is 81–85 days) – 2 samples. Groups with high seed productivity – 9 samples, 1000 seed weight more than 8.0 g – 3 samples, high number of productive boxes on the plant – 4 samples, number of seeds per box (7.7–8.7 pieces) – 22 samples. A group of undersized plants – 16 samples, tall samples (above standard by 5–26 cm) – 7 pieces. The allocated groups of collection varieties have valuable characteristics and are recommended for use in breeding programs when creating early and mid-ripening varieties of oil flax the most adapted to climatic conditions of the Middle Volga region, characterized by high yields.

Keywords: oil flax, collection, breeding, seed productivity, initial material

Лён обыкновенный (*Linum usitatissimum* L.) – рой в последние годы значительно вырос благодаря возможности его широкого использования в различных областях промышленности. Современные технологии переработки надземной части расте-

ний льна позволяют получать продукты для сбалансированного питания, растительное масло с ценными биологическими и техническими свойствами, естественные волокна с превосходными гигиеническими достоинствами, а также перерабатывать все отходы,

образующиеся при получении масла и волокна [1, 2].

В условиях производства лён масличный по скороспелости превосходит традиционные для нашего региона масличные культуры (подсолнечник, соя), а благодаря высокой потенциальной урожайности (2,2–2,6 т/га) и масличности (42–49%) экономическая эффективность его возделывания не вызывает сомнений. В связи с этим площади занятые под льном масличным в Среднем Поволжье увеличиваются, и по прогнозам эта тенденция сохранится и в перспективе [3]. В настоящее время в структуре посевных площадей льна в нашем регионе преобладают сорта инорайонной селекции, которые в условиях Среднего Поволжья не могут в полной мере реализовать свой потенциал. В связи с чем возникает необходимость создания новых конкурентоспособных сортов льна масличного, устойчивых к абиотическим и биотическим факторам внешней среды при высоком уровне продуктивности и качества льносырья.

Основная задача селекции – отбор и улучшение типов растений, более приспособленных к условиям того или иного региона, поскольку для каждой агроэкологической зоны сложилось свое представление об экотипе и агроэкотипе растения, характеризующемся рядом биологических и морфологических признаков. Следовательно, при создании новых сортов необходимо учитывать как погодные условия той зоны, для которой создаются сорта, так и направления использования данного сорта, а исходя из этого, производить поиск источников хозяйственно ценных признаков для привлечения их в скрещивания [4–6].

На всех этапах селекционного процесса большое значение имеет создание и изучение нового разнообразного исходного материала. Основным источником генетического разнообразия является мировая коллекция льна ВИР, которая насчитывает более 6000 образцов в основной коллекции и около 500 линий – в генетической [7, 8].

Работа с коллекционными образцами льна масличного в ФГБНУ «Поволжский НИИСС» проводится с учетом конкретных природно-климатических условий и направлена на изучение морфофизиологических закономерностей роста, развития и формирования элементов продуктивности для их дальнейшего использования в практической селекции в условиях лесостепи Среднего Поволжья.

Цель исследований – оценить новый генофонд льна масличного в условиях лесостепи Среднего Поволжья по морфологическим, биологическим, хозяйственно ценным признакам и выявить образцы перспективные в качестве исходного материала для практической селекции.

Материалы и методы исследования

Исследования проводились на базе лаборатории интродукции, селекции кормовых и масличных культур» ФГБНУ «Поволжский НИИСС в течение 2014–2016 гг. Объектом изучения являлись 57 сортов и образцов различного эколого-географического происхождения, полученных из мировой коллекции ВИР.

Почва опытного участка представлена черноземом типичным малогумусным среднесильным легкоглинистым. Содержание гумуса в среднем 5–6%. Агрохимические показатели пахотного слоя почвы были следующими: согласно группировке почв МУ ЦИНАО (1994 г.): содержание подвижного фосфора среднее (44,7–49,0 мг/кг), обменного калия – очень высокое (400,0–353,0 мг/кг), легкогидролизуемого азота – от среднего до повышенного (45,5–53,8 мг/кг), содержание нитратного азота низкое (4,8–6,0 мг/кг), pH солевой вытяжки – 5,2–5,3, что характеризует почву как слабокислую.

Производственная база и опытные поля ФГБНУ «Поволжский НИИСС» расположены в центральной зоне Самарской области. Климат типичен для Среднего Поволжья, формируется под влиянием континентальных условий умеренных широт и характеризуется высокими температурами воздуха летом и низкими зимой. В целом климату зоны свойственны сильная контрастность погодных условий по годам, резкие температурные колебания, дефицит влаги и частое повторение засух, интенсивная ветровая деятельность. По многолетним данным в этом районе выпадает 410 мм осадков в год, среднегодовая температура воздуха 3,7°C, сумма активных температур составляет 2500–2600°C.

Годы проведения исследований различались как по количеству выпавших осадков и сумме температур, так и по характеру их распределения в течение вегетационного периода. Это позволило более полно проанализировать коллекцию льна масличного и выявить генотипические особенности изучаемых образцов в различных условиях среды.

Гидротермический коэффициент (ГТК) за период 2014–2016 гг.

Год	Май	Июнь	Июль	Август	ГТК (средняя по месяцам)
2014	0,36	0,78	0,09	0,36	0,38
2015	0,75	0,01	1,30	0,36	0,63
2016	0,56	0,21	0,78	0,00	0,39
Среднее за 3 года	0,56	0,33	0,72	0,24	0,47

В 2014 г. погодные условия на протяжении всего вегетационного периода льна сложились достаточно жесткими (ГТК = 0,38) (таблица). В большинстве дней в мае месяце наблюдалась очень теплая, с дефицитом осадков погода. В первой декаде июня отсутствие осадков на фоне высоких среднесуточных температур, достигающих 32 °С, отрицательно влияло на развитие корневой системы и всего растения в целом, но осадки второй и третьей декады, близкие к среднемноголетним значениям (41,9 мм) несколько выправили положение. Самым жарким и сухим был июль месяц, в этих жестких условиях проходило формирование и созревание семян льна масличного. Август месяц за все три года исследований отличался дефицитом осадков на фоне высоких температур.

В целом за вегетацию в 2014 г. выпала половинная норма осадков (94,3 мм) при среднемноголетнем показателе 163 мм, что отрицательно сказалось на продуктивности растений льна масличного.

В 2015 г. гидротермические условия мая месяца были благоприятными для получения дружных всходов льна масличного, наблюдалась очень тёплая, с достаточным количеством осадков погода. В июне месяце на фоне высоких температур воздуха, когда максимальные значения доходили до 36,5 °С, наблюдался резкий дефицит осадков, что оказало отрицательное влияние на рост и развитие растений льна. В июле среднесуточная температура воздуха была ниже среднемноголетних значений на 1,6 °С, а осадков выпало в 1,6 раз больше нормы. Прохладная и дождливая погода спровоцировала формирование подгона и увеличила продолжительность вегетации льна.

В 2016 г. в мае месяце наблюдался достаточно благоприятный гидротермический режим. Жесткие условия наблюдались в июне, высокие температуры воздуха в сочетании с недобором осадков отрицательно сказывались на росте и развитии растений льна. Июль месяц характеризовался повышенными среднесуточными температурами и достаточным режимом увлажнения, что

несколько выправило положение средне-спелых и позднеспелых образцов льна.

Полевые опыты проводили в соответствии с методическими указаниями по изучению коллекции льна [9]. Образцы высевали на делянках площадью 1 м². Через каждые 20 образцов высевали сорт стандарт. В качестве стандарта использован сорт Воронежский 1308. В течение вегетации проводились мероприятия по уходу за растениями, осуществлялись фенологические наблюдения согласно международному классификатору вида *Linum usitatissimum* L. [10].

Результаты исследования и их обсуждение

Сортообразцы коллекции проходили оценку по основным биологическим и хозяйственно ценным признакам, определяющим технологичность и продуктивность льна: продолжительность вегетационного периода, семенная продуктивность, крупность семян (масса 1000 семян), элементы структуры урожая.

Продолжительность периода вегетации изучаемых образцов является важным биологическим признаком, имеющим большое практическое значение. Подбор исходного материала с определенной продолжительностью вегетационного периода диктуется особенностями природно-климатических условий Среднего Поволжья.

Продолжительность вегетационного периода у изучаемых сортообразцов варьировала в пределах 65–104 суток. У большинства образцов этот показатель в значительной степени зависел от условий года. Например, образец из Китая к-620355 (Yuan 2009-79) в 2015 и 2016 гг. развивался за 78 суток, а в 2014 г. – 97. Однако ряд образцов имели стабильный по годам вегетационный период, несмотря на контрастные погодные условия: к-619653 (Yuan 2009-81, Китай) – 73–75 суток, к-618193 (CDC Normandy, Канада) – 72–76 суток, к-601645 (Albococrukum, Словакия) – 66–67 суток, к-623737 (Ningya № 17, Китай), АГ91-359 (Индия), к-618153 (Y7s28-8, Китай) – по

77–78 суток. У сорта-стандарта Воронежский 1308 продолжительность вегетационного периода составила в среднем за 3 года изучения 79 суток.

В целом по результатам трех лет изучения выделено 16 очень раннеспелых образцов, они созревали раньше стандарта на 6–16 суток: образцы из Китая к-619659 (L 9801-1), к-620346 (Yuan 2009-5), к-619653 (Yuan 2009-81), к-618180 (Honkei, Япония), к-618193 (CDC Normandy, Канада), к-601645 (Albocosrukum, Словакия) и другие; раннеспелых образцов – 21 шт. с продолжительностью вегетационного периода 74–76 суток, которые созревают раньше стандарта на 2–5 суток. Самой многочисленной была группа среднеспелых образцов (27 шт.) с продолжительностью вегетационного периода на уровне стандарта (77–81 суток). К группе позднеспелых отнесены два сортообразца из Китая к-620349 (Yuan 2009-29) и к-620350 (Yuan 2009-32), они созревали на 3–5 суток позже стандарта.

Следует отметить, что все изученные сортообразцы способны гарантированно формировать урожай семян в условиях Среднего Поволжья.

При возделывании льна на маслосемена достаточно средней высоты растений, в пределах 45–60 см. При двойном использовании, на семена и волокно, необходимо создавать сорта льна с высотой растений от 65 см и выше. Для этой цели необходимо привлекать в скрещивания высокорослые сортообразцы.

Высота растений у изучаемых сортообразцов во многом зависела от погодных условий, сложившихся в период вегетации, и варьировала в пределах 40,0–76,0 см при среднем значении опыта 46,1 см. Выделено три группы растений: с высотой от 40,0–44,0, от 45,0–49,0 и от 50–76 см. У стандарта высота растений составила 49,3 см. В среднем за годы изучения была выделена группа высокорослых сортообразцов льна масличного в количестве 7 образцов, которые превысили сорт-стандарт на 5–26 см. Самым высокорослым был образец из Литвы к-613006 (Б-212). Группу низкорослых составили 16 образцов с высотой растений не более 40 см, которые также могут быть включены в скрещивания в зависимости от задач поставленных селекционером.

Семенная продуктивность – наиболее важный показатель для льна масличного. Она складывается из связанных с ней признаков: числа продуктивных коробочек на

растении, числа семян в коробочке и массы 1000 семян.

Число продуктивных коробочек на растении – важный признак, тесно связанный с семенной продуктивностью льна масличного ($r = 0,9$). Только четыре образца выделялись по этому признаку: к-618196 (ISP 3), к-618215 (ISP 22), к-618218 (Mystic) и к-622648 (Армения). У 12 сортообразцов этот показатель находился на уровне стандарта (31,8 шт.), остальные 28 образцов значительно уступали стандарту.

В наших исследованиях количество семян в коробочке варьировало в пределах 5,4–8,7 шт. при среднем значении опыта 7,4 шт. Наибольшее количество семян в коробочке (7,7–8,7 шт.) сформировали 22 образца, у 11 образцов этот показатель был на уровне стандарта, остальные 22 образца достоверно уступали стандарту.

В практике сельскохозяйственного производства довольно большое значение придается массе 1000 семян льна как характеризующей урожай главным образом со стороны крупности и выполненности семян.

За годы изучения масса 1000 семян изучаемых коллекционных образцов находилась в пределах 3,9–8,5 г, при среднем значении 6,3 г. Сортообразцы распределились на три группы. В первую группу включены образцы с массой семян на уровне стандарта (6,0–6,6 г), это 13 образцов из России, Украины, Канады, Литвы, Китая, Румынии, Германии и Англии. Во вторую группу отнесены образцы, достоверно превышающие по массе 1000 семян сорт-стандарт Воронежский 1308 (6,7–8,5 г). Наибольшими значениями данного показателя отличались образцы: к-623737 (Ningya № 17, Китай), к-600890 (Португалия), к-620346 (Yuan 2009-5, Китай), масса 1000 семян которых в течение всего периода изучения превышала 8,0 г. Третья группа сортообразцов характеризовалась низкой массой 1000 семян (менее 6,0 г), к которой относятся 33 % сортообразцов.

Урожайность семян изучаемых образцов находилась в пределах 88,0–334,0 г/м² при среднем значении 207,3 г/м². Средний показатель урожайности стандарта Воронежский 1308 – 224,0 г/м².

По данным трех лет изучения были выделены образцы, стабильно превышающие стандарт по урожаю семян. Это сортообразцы: из Китая к-623743 (Jinya № 9), к-619653 (Yuan 2009-81), к-620346 (Yuan 2009-5), к-620350 (Yuan 2009-32), к-620353 (Yuan 2009-45), а также сортообразцы из других стран: к-618171 (Hindukusz, Афганистан),

к-618196 (ISP, неизвестного происхождения), к-600890 (Португалия), к-622648 (Армения). Превышение по урожайности над стандартом у этих образцов составило 21,0–44,0%.

Семенная продуктивность 20 сортообразцов находилась на уровне стандарта Воронежский 1308. Уступали стандарту 28 сортообразцов с продуктивностью от 88,0 до 177,6 г/м².

На основании комплексного изучения исходного материала выделены группы сортообразцов в коллекционном питомнике с хозяйственно ценными признаками, которые могут использоваться в селекционных программах при создании раннеспелых и среднеспелых сортов льна масличного наиболее приспособленных к природно-климатическим условиям зоны Среднего Поволжья.

Заключение

Таким образом, в результате исследований нами выявлен ценный и пластичный исходный материал для создания сортов с признаками:

- раннеспелости: образцы из Китая к-619659 (L 9801-1), к-620346 (Yuan 2009-5), к-619653 (Yuan 2009-81), к-618180 (Honkei, Япония), к-618193 (CDC Normandy, Канада), к-601645 (Albococrukum, Словакия) и другие;
- продуктивности: сортообразцы из Китая к-623743 (Jinya № 9), к-619653 (Yuan 2009-81), к-620346 (Yuan 2009-5), к-620350 (Yuan 2009-32), к-620353 (Yuan 2009-45), к-618171 (Hindukusz, Афганистан), к-618196 (ISP, неизвестного происхождения), к-600890 (Португалия), к-622648 (Армения);
- масса 1000 семян: к-623737 (Ningya №17, Китай), к-600890 (Португалия), к-620346 (Yuan 2009-5, Китай).

Образцы льна, выделившиеся по высоте растений, количеству продуктивных коробочек, количеству семян в коробочке, признакам перспективными для включения в селекционный процесс, как источники улучшения основных хозяйственно ценных признаков.

Список литературы

1. Курьянович А.А. Влияние погодно-климатических условий на продолжительность вегетационного периода растений льна масличного в зоне Среднего Поволжья / А.А. Курьянович, А.А. Санин, Л.А. Косых // Научное обеспечение селекции и семеноводства сельскохозяйственных культур в Поволжском регионе: материалы Всероссийской науч.-практ. конф. – Самара: ООО «Кинига», 2013. – С. 153–162.
2. Пороховинова Е.А. Биохимическое разнообразие льна по жирокислотному составу семян в генетической коллекции ВИР и влияние условий среды на его проявление / Е.А. Пороховинова [и др.] // Экологическая генетика. – 2016. – № 1. – Т. XIV. – С. 13–26.
3. Санин А.А. Перспективы возделывания льна масличного в Самарской области / А.А. Санин, В.Ф. Казарин, В.В. Борисов, А.В. Казарина // Новые и нетрадиционные растения и перспективы их использования: Сб. материалов VI Междунар. симп. – М., 2005. – Т. 3. – С. 209–211.
4. Андроник Е.Л. Оценка нового генотипа льна масличного в условиях Беларуси / Е.Л. Андроник, М.Е. Маслинская // VII-я Международная конференция молодых ученых и специалистов. – Краснодар, 2013. – С. 16–19.
5. Лучкина Т.Н. Изучение мировой коллекции льна как исходного материала для селекции в условиях Ростовской области / Т.Н. Лучкина // Масличные культуры. – Краснодар, 2010. – Вып. 2 (144–145). – С. 102–107.
6. Лукомец В.М. Современное состояние производства и научного обеспечения льна масличного / В.М. Лукомец, А.В. Кочегура, Л.Г. Рябенко // Роль льна в улучшении среды обитания и активном долголетии человека: мат. Международного семинара. – Торжок, 2001. – С. 33–44.
7. Брач Н.Б. Перспективы создания сортов масличного льна специализированного назначения / Н.Б. Брач, Е.А. Пороховинова, Т.В. Шеленга // Аграрный вестник Юго-Востока. – 2016. – № 1–2. – С. 50–52.
8. Кутузова С.Н. Генетические основы селекции льна на устойчивость к ржавчине / С.Н. Кутузова. – СПб.: ВИР, 2014. – 172 с.
9. Изучение коллекции льна *Linum usitatissimum* L.: Методические указания / Под ред. Н.К. Лемешева. – Л., 1988. – 29 с.
10. Международный классификатор СЭВ вида *Linum usitatissimum* L. (лён) / ВНИИ растениеводства им. Н.И. Вавилова. – Л.: ВИР, 1989. – 36 с.
1. Kurjanovich A.A. Vliyanie pogodno-klimaticheskikh uslovij na prodolzhitel'nost vegetacionnogo perioda rastenij lna maslichnogo v zone Srednego Povolzhja / A.A. Kurjanovich, A.A. Sanin, L.A. Kosyh // Nauchnoe obespechenie selekcii i semenovodstva sel'skoxozjajstvennykh kultur v Povolzhskom regione: materialy Vserossijskoj nauch.-prakt. konf. Samara: OOO «Kiniga», 2013. pp. 153–162.
2. Porohovinova E.A. Biohimicheskoe raznoobrazie lna po zhirkislotnomu sostavu semjan v geneticheskoi kollekcii VIR i vliyanie uslovij sredy na ego projavlenie / E.A. Porohovinova [i dr.] // Jekologicheskaja genetika. 2016. no. 1. T. XIV. pp. 13–26.
3. Sanin A.A. Perspektivy vozdeľyvanija lna maslichnogo v Samarskoj oblasti / A.A. Sanin, V.F. Kazarin, V.V. Borisov, A.V. Kazarina // Nove i netradicionnye rastenija i perspektivy ih ispolzovanija: Sb. materialov VI Mezhdunar. simp. M., 2005. T. 3. pp. 209–211.
4. Andronik E.L. Ocenka novogo genofonda lna maslichnogo v uslovijah Belarusi / E.L. Andronik, M.E. Maslinskaja // VII-ja Mezhdunarodnaja konferencija molodyh uchenyh i specialistov. Krasnodar, 2013. pp. 16–19.
5. Luchkina T.N. Izuchenie mirovoj kollekcii lna kak ishodnogo materiala dlja selekcii v uslovijah Rostovskoj oblasti / T.N. Luchkina // Maslichnye kultury. Krasnodar, 2010. Vyp. 2 (144–145). pp. 102–107.
6. Lukomec V.M. Sovremennoe sostojanie proizvodstva i nauchnogo obespechenija lna maslichnogo / V.M. Lukomec, A.V. Kochegura, L.G. Rjabenko // Rol lna v uluchshenii sredy obitaniya i aktivnom dolgoletii cheloveka: mat. Mezhdunarodnogo seminar. Torzhok, 2001. pp. 33–44.
7. Brach N.B. Perspektivy sozdaniya sortov maslichnogo lna specializirovannogo naznachenija / N.B. Brach, E.A. Porohovinova, T.V. Shelenga // Agrarnyj vestnik Jugo-Vostoka. 2016. no. 1–2. pp. 50–52.
8. Kutuzova S.N. Geneticheskie osnovy selekcii lna na ustojchivost k rzhavchine / S.N. Kutuzova. SPb.: VIR, 2014. 172 p.
9. Izuchenie kollekcii lna *Linum usitatissimum* L.: Metodicheskie ukazaniya / Pod red. N.K. Lemesheva. L., 1988. 29 p.
10. Mezhdunarodnyj klassifikator SJeV vida *Linum usitatissimum* L. (ljon) / VNII rastenievodstva im. N.I. Vavilova. L.: VIR, 1989. 36 p.

УДК 631.811.93:631.582:631.445.2(470.0)

ВЛИЯНИЕ ПРИРОДНЫХ КРЕМНИЙСОДЕРЖАЩИХ МАТЕРИАЛОВ НА ПРОДУКТИВНОСТЬ ЗЕРНОБОБОВОГО СЕВООБОРОТА В УСЛОВИЯХ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТЫХ ПОЧВ НЕЧЕРНОЗЕМЬЯ

Козлов А.В., Афонина Ю.И., Воронцова А.А., Акафьева Д.В., Миронова Ю.И.,
Тарасов И.А., Дедык В.Е., Кошелев М.С., Соколов И.С., Кондрашин Б.В.

ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный педагогический университет
имени Козьмы Минина», Нижний Новгород, e-mail: a.v.kozlov_ecology@mail.ru

В работе рассмотрены результаты изменения биологической продуктивности озимой пшеницы сорта Московская 39, ячменя сорта Велес и гороха посевного сорта Чишминский 95, полученные в трехлетнем микрополеовом опыте, проведенном в 2015–2017 гг. в условиях дерново-подзолистых легкосуглинистых почв Борского района Нижегородской области. В опытах изучали совместное действие различных доз высококремнистых пород (3, 6 и 12 т/га) – диатомита, цеолита и бентонитовой глины, внесенных в почву совместно с полным минеральным удобрением. Полное минеральное удобрение культур проводили путем внесения в почву смесей из азофоски-16, фосфоритной муки и аммиачной селитры из расчета $N_{80}P_{80}K_{80}$ кг/га д.в. в опыте с озимой пшеницей, $N_{80}P_{80}K_{60}$ кг/га д.в. в опыте с ячменем и $N_{30}P_{40}K_{60}$ кг/га д.в. в опыте с горохом. В отношении озимой пшеницы установлено, что на фоне НПК наиболее эффективным является внесение минимальной дозы в 3 т/га, в условиях чего прибавки в массе зерна достигают 24% по диатомиту, 12% по цеолиту и 25% по бентонитовой глине. В отношении ячменя и гороха установлено, что на фоне НПК наиболее эффективной является третья доза (12 т/га), где прибавки зерна составляют 22% и 22% по диатомиту, 13% и 14% по цеолиту, 28% и 30% по бентониту. В целом по годам исследования ослабление действия кремнийсодержащих материалов на продуктивность культур прослеживалось по вариантам с цеолитом. На вариантах с диатомитовой породой и бентонитовой глиной к третьему году данное влияние оставалось примерно на одном уровне с показателями первого года, а в условиях высоких доз – увеличивалось.

Ключевые слова: озимая пшеница, ячмень, горох, биопродуктивность культуры, диатомит, цеолит, бентонитовая глина, минеральные удобрения

NATURAL SILICEOUS MATERIAL IMPACT ON GRAIN-BEAN CROP ROTATION EFFICIENCY IN CESPITOSE-PODSOLIC SOILS CONDITIONS IN NON-BLACK EARTH REGION

Kozlov A.V., Afonina Yu.I., Vorontsova A.A., Akafeva D.V., Mironova Yu.I.,
Tarasov I.A., Dedyk V.E., Koshelev M.S., Sokolov I.S., Kondrashin B.V.

Minin Nizhny Novgorod State Pedagogical University, Nizhny Novgorod,
e-mail: a.v.kozlov_ecology@mail.ru

The results of biological efficiency changing in winter wheat grade Moscovskaya 39, barley grade Veles and pea grade Chishminsky 95, received in the three years' microfield experiments in 2015–2017 in cespitose-podsolic sandy loamy soils conditions of Borsky district Nizhny Novgorod region are considered in the article. Joint action of various doses of high-siliceous bedrocks (3, 6 and 12 t/hectare) – diatomite, zeolite and bentonite clay, brought into soil together with full mineral fertilizer was studied in the experiments. Full mineral crops' fertilizing was carried out by adding into the soil mixes of Azofoska-16, phosphate rock and ammonium nitrate at rate $N_{80}P_{80}K_{80}$ kg/hectare of active fraction in winter wheat experiment, $N_{80}P_{80}K_{60}$ kg/hectare of active fraction in barley experiment and $N_{30}P_{40}K_{60}$ kg/hectare of active fraction in pea experiment. As for winter wheat it was established, that against NPK adding of minimum dose in 3 t/hectare was the most effective. It helped to increase in grain mass 24% in diatomite conditions, 12% – in zeolite conditions and 25% in bentonite clay. As for barley and pea it was established, that against NPK the third dose (12 t/hectare) is the most effective, as increases in grain made 22% and 22% in diatomite conditions, 13% and 14% in zeolite conditions, 28% and 30% in bentonite conditions. In general, according to the years of research, weakening effect of siliceous materials on crops efficiency was monitored in zeolite experiments. In experiments in diatomite bedrocks and bentonite clay conditions this influence remained approximately even as indicators of the first and third years were the same and indicators were increased as the higher doses were.

Keywords: winter wheat, barley, pea, crop bioproductivity, diatomite, zeolite, bentonite clay, mineral fertilizers

В современной агроэкологической практике остается актуальным изучение влияния высококремнистых материалов на продуктивность сельскохозяйственных культур и состояние плодородия почвенного покрова в условиях различных почвенно-климатических территорий нашей страны [1–5]. В частности, известно, что растения поглощают

кремний из почвенного раствора в виде ионов (SiO_3^{2-}) и (SiO_4^{4-}), а также в виде собственно монокремниевых кислот (H_2SiO_3 и H_4SiO_4), которые впоследствии в клеточном соке превращаются в кремнегель $SiO_2 \cdot nH_2O$. Затем происходит его биохимическое связывание с полимерами клетки (белки, углеводы) и аккумуляция на поверхности клеточных

стенок, в покровных тканях (поверхностные слои эпидермиса листьев и корней, кора), либо в различных видах фитоцитов (органоминеральные образования-глобулки, слагающие покровные и механическую ткани растений). Скелетное формирование покровных и проводящих тканей растения, по сути, сопровождается образованием двойного кутикулярного слоя, представляющего собой кремнецеллюлозную мембрану. Вследствие этого оптимизация кремниевого питания растений приводит к увеличению биомассы корней, их объема, общей и рабочей адсорбирующей поверхности. Кроме того, применение кремнийсодержащих удобрений улучшает корневое питание, увеличивает сопротивляемость растений к нематодам, гифам фитопатогенных грибов и другим корневым вредителям [2, 6].

Несмотря на очевидность положительного действия таких природных пород как диатомиты, опоки, трепелы, цеолиты и различные глины, на урожайность растений, показатели их качества и агрономически значимые параметры плодородия пахотного горизонта, многие вопросы поведения веществ в почвах остаются нераскрытыми.

В частности, пока нет однозначного мнения о степени пролонгированности действия вышеуказанных веществ в почве в зависимости от их дозы и биологических особенностей выращиваемых культур, что вызывает еще больший интерес к изучению изменений не только в части урожайности, но и в части почвенно-биотического и почвенно-поглощающего комплексов (ППК и ПБК). При этом в современной научной литературе практически отсутствуют данные о влиянии высоких доз кремнийсодержащих материалов на состояние коллоидной системы почвы и ее микробиоценозов. С другой стороны, за счет большого разнообразия генезиса почв сельскохозяйственных угодий России, подобного рода исследования еще долгое время останутся актуальными и востребованными как в практике агрономии, так и в фундаментальном почвоведении.

Цель исследования

Ранее нами уже было установлено влияние одного из природных кремнийсодержащих материалов – диатомита Инзенского месторождения и полного минерального удобрения, на урожайность двух культурных растений в условиях вегетационных опытов, заложенных на светло-серой лесной легкосуглинистой почве из Богородского района Нижегородской области [6]. Целью исследо-

ваний является изучение влияния высоких (мелиоративных) доз трех пород – диатомита, цеолита и бентонитовой глины на продуктивность основных сельскохозяйственных культур в условиях микрополевого эксперимента, заложенного на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве Нижегородской области.

Материалы и методы исследования

Исследования проводили в микрополевым опыте на базе картофелеводческого предприятия ООО «Элитхоз» Борского района Нижегородской области в 2015–2017 гг. Микрополевым опытом включал контрольный вариант (NPK-фон) и 9 вариантов с внесением в пахотный слой высоких (мелиоративных) доз диатомита Инзенского (Ульяновская область), цеолита Хотынецкого (Орловская область) и бентонитовой глины Зырянского (Курганская область) месторождений по фону удобрений: NPK-фон – полное минеральное удобрение культуры без внесения высококремнистых пород, NPK + Диатомит из расчета 3 тонны на 1 гектар, NPK + Диатомит – 6 т/га, NPK + Диатомит – 12 т/га, NPK + Цеолит – 3 т/га, NPK + Цеолит – 6 т/га, NPK + Цеолит – 12 т/га, NPK + Bentonit – 3 т/га, NPK + Bentonit – 6 т/га, NPK + Bentonit – 12 т/га. Породы вносили в почву вручную в августе 2014 г. при подготовке участка и его разбивке на делянки совместно с минеральными удобрениями путем разбрасывания навесок материалов по поверхности почвы и перекопки пахотного горизонта с веществами.

Полное минеральное удобрение культур проводили путем внесения в почву смесей из азофоски (16:16:16), фосфоритной муки (P_{20}) и аммиачной селитры (N_{34}) из расчета $N_{80}P_{80}K_{80}$ кг/га д.в. в опыте с озимой пшеницей, $N_{80}P_{80}K_{60}$ кг/га д.в. в опыте с ячменем и $N_{30}P_{40}K_{60}$ кг/га д.в. в опыте с горохом. По первому году выращивания озимой пшеницы минеральные удобрения вносили совместно с кремнийсодержащими породами в год закладки опыта (август 2014 г.), а на второй и третий годы – дробно в осенне-весенние периоды (сентябрь, май).

Дозы минеральных удобрений культур были взяты в соответствии с общепринятыми рекомендациями применения минеральных удобрений в полеводстве Нижегородской области [7], дозы кремнийсодержащих пород обусловлены актуальностью современного изучения высоких (мелиоративных) норм внесения таковых материалов, о чем приводятся упоминания в трудах известных ученых [4–5]. Есть ряд мнений, что потенци-

альное влияние природных высококремнистых пород на состояние ППК и ПБК почвы возможно раскрыть только при условии применения их в высоких дозах.

Обобщенный химический состав изучаемых материалов приведен в табл. 1.

Почва опытного поля – дерново-подзолистая среднедерновая неглубокоподзоленная неоглеенная легкосуглинистая, которая характеризуется как среднекислая (обменная кислотность 4,8 ед. pH_{KCl}), низкогумусированная (содержание гумуса 1,21%), со средней обеспеченностью подвижными соединениями фосфора и калия (по Кирсанову – 86 и 110 мг/кг почвы соответственно), а также со средним уровнем дефицита в балансе актуального и потенциального кремния (по Матыченкову – 16 и 213 мг/кг соответственно).

В 2015 г. выращивали озимую пшеницу (*Triticum L.*) сорта *Московская 39*, в 2016 г. возделывали ячмень (*Hordeum sativum Jessen.*) сорта *Велес*, в 2017 г. выращивали горох посевной (*Pisum sativum L.*) сорта *Чушминский 95*. Сорта культур районированы по Волго-Вятскому региону.

Озимую пшеницу (2015 г.) и ячмень (2016 г.) убирали в августе – в фазу полной спелости зерна, горох – в фазу начала усыхания ботвы (август 2017 г.). Опыты проведены со строгим соблюдением методических требований для микрополевых экспериментов, все работы проводились вручную. Учетная площадь делянки 1 м² и была обусловлена изначальной прописью гипотезы проведения исследований. Расположение делянок рендомизированное, повторность – четырехкратная.

Погодные условия в 2015 г. характеризовались несущественным количеством осадков, а сам год в целом был более жарким по сравнению со средними климатическими нормами региона (ГТК в летние месяцы варьировался в пределах 0,9–1,0). Метеоусловия 2016 г., наоборот, не отличались дефицитом осадков, а температура воздуха колебалась в пределах нормы с небольшим ее превышением в августе (ГТК = 1,0–1,1).

Условия 2017 г. характеризовались обильным количеством осадков весной, и в первой половине лета температура воздуха не отличалась от среднегодовых норм в течение всего лета (ГТК = 1,1–1,2).

Математическая обработка результатов исследований выполнена по Б.А. Доспехову [8] методом дисперсионного анализа с расчетом НСР при статистическом уровне значимости $p < 0,05$ с использованием программного обеспечения Microsoft Office Excel 2007.

Результаты исследования и их обсуждение

В опытах определяли степень влияния доз кремниевых пород, наложенного на действие полного минерального удобрения, на биологическую продуктивность озимой пшеницы, ячменя и гороха. Общую биомассу, а также урожайность зерна и соломы измеряли весовым методом непосредственно в полевых условиях.

Так, в опыте установлено положительное совместное влияние исследуемых пород и NPK-удобрений на биопроductивность озимой пшеницы (табл. 2).

Прежде всего, нужно отметить высокий уровень влияния фона NPK-удобрений на дозу той или иной породы. Так, уже при дозе в 3 т/га диатомита влияние фона NPK составило 24% по зерну и 33% по соломе, при аналогичной дозе цеолитовой породы – 12% и 23% и при дозе бентонита – 25% и 33% соответственно.

Однако при более высоких дозах кремнийсодержащих материалов влияние фона минеральных удобрений оказалось уже не столь значительным и варьировало примерно на одном уровне вне зависимости от самой дозы. В частности, с наименьшим действием оказались варианты с цеолитом (на 9–10% по зерну и на 19% по соломе), со средним эффектом – варианты с диатомитом (на 20–21% и на 26–25%) и с наилучшим действием – варианты с бентонитовой глиной (на 22–23% и на 28–29%) соответственно по второй и третьей дозам пород.

Таблица 1

Химический состав природных кремнийсодержащих материалов

Порода	Элемент в оксидной форме (% на абс.-сух. вещество)					
	SiO ₂ (общ.)	SiO ₂ (аморф.)	K ₂ O	P ₂ O ₅	CaO	MgO
Диатомит	83,1	42,1	1,25	0,05	0,52	0,48
Цеолит	56,6	26,7	1,25	0,23	13,3	1,90
Бентонит	52,3	33,4	0,92	0,12	5,49	3,03

Соломистая часть урожая пшеницы стабильно лучше отзывалась на влияние фона на дозу всех высококремнистых пород в отличие от зерновой части. Также нужно отметить, что в первый год влияния исследуемых материалов на продуктивность культуры не отме-

чалось положительного действия кратности увеличения дозы той или иной породы.

Продуктивность ячменя, выращиваемого на второй год действия высококремнистых пород и минеральных удобрений, показана в табл. 3.

Таблица 2

Влияние кремнийсодержащих материалов и минеральных удобрений на продуктивность озимой пшеницы (2015 г.)

Вариант	Продуктивность озимой пшеницы, т/га					
	зерно	влияние...		солома	влияние...	
		фона на дозу	кратности дозы		фона на дозу	кратности дозы
NPK – фон	3,20	–	–	3,81	–	–
NPK + Д ₁	3,96	0,76	–	5,06	1,25	–
NPK + Д ₂	3,84	0,64	–0,12	4,80	0,99	–0,26
NPK + Д ₃	3,88	0,68	–0,08	4,77	0,96	–0,29
F _f (F _t = 3,86) / НСР ₀₅	12,80 / 0,31				19,51 / 0,40	
NPK + Ц ₁	3,59	0,39	–	4,67	0,86	–
NPK + Ц ₂	3,51	0,31	–0,08	4,52	0,71	–0,15
NPK + Ц ₃	3,52	0,32	–0,07	4,54	0,73	–0,13
F _f (F _t = 3,86) / НСР ₀₅	3,37 / 0,30				10,68 / 0,38	
NPK + Б ₁	4,01	0,81	–	5,05	1,24	–
NPK + Б ₂	3,89	0,69	–0,12	4,86	1,05	–0,19
NPK + Б ₃	3,94	0,74	–0,07	4,91	1,10	–0,14
F _f (F _t = 3,86) / НСР ₀₅	11,89 / 0,35				13,47 / 0,50	

Примечание. * Здесь и далее по таблицам: F_f – расчетный критерий Фишера в сравнении вариантов при статистическом уровне значимости $p < 0,05$; F_t = 3,86 – теоретический критерий Фишера при $n_1 = 3$ и $p < 0,05$.

Таблица 3

Влияние кремнийсодержащих материалов и минеральных удобрений на продуктивность ячменя (2016 г.)

Вариант	Продуктивность ячменя, т/га					
	зерно	влияние...		солома	влияние...	
		фона на дозу	кратности дозы		фона на дозу	кратности дозы
NPK – фон	4,26	–	–	5,66	–	–
NPK + Д ₁	4,52	0,26	–	5,87	0,21	–
NPK + Д ₂	4,86	0,60	0,34	6,12	0,46	0,25
NPK + Д ₃	5,18	0,92	0,66	6,27	0,61	0,40
F _f (F _t = 3,86) / НСР ₀₅	36,99 / 0,21				16,50 / 0,21	
NPK + Ц ₁	4,30	0,04	–	5,86	0,20	–
NPK + Ц ₂	4,68	0,42	0,38	5,99	0,33	0,13
NPK + Ц ₃	4,80	0,54	0,50	6,12	0,46	0,26
F _f (F _t = 3,86) / НСР ₀₅	5,70 / 0,36				4,75 / 0,29	
NPK + Б ₁	4,96	0,70	–	6,15	0,49	–
NPK + Б ₂	5,23	0,97	0,27	6,28	0,62	0,13
NPK + Б ₃	5,43	1,17	0,47	6,35	0,69	0,20
F _f (F _t = 3,86) / НСР ₀₅	26,05 / 0,32				31,87 / 0,18	

В отношении зерна и соломы данной культуры действие фона на дозу пород стабильно увеличивалось. Здесь прибавки в урожай зерновой и соломенной частей урожая соответственно составляли от 6% до 22% и от 4% до 11% при влиянии диатомита, от 1% до 13% и от 4% до 8% при влиянии цеолита, от 16 до 28% и от 9% до 12% при влиянии бентонита.

Также на второй год отмечалось статистически достоверное положительное влияние

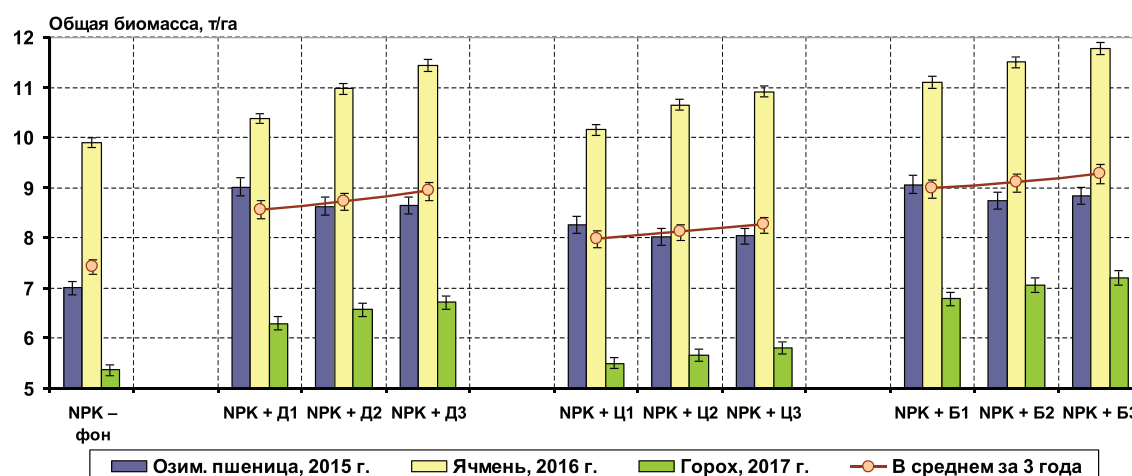
кратности увеличения дозы каждой из пород, которое в большей мере проявлялось в отношении зерна культуры. В частности, наименьшее действие оказала бентонитовая глина (на 5–10% в зависимости от ее дозы), среднее влияние – от цеолита (на 9–12%), а наилучшее – от диатомовой породы (на 8–15%).

Данные табл. 4 отражают степень влияния кремнийсодержащих материалов и минеральных удобрений на продуктивность посевного гороха.

Таблица 4

Влияние кремнийсодержащих материалов и минеральных удобрений на продуктивность гороха (2017 г.)

Вариант	Продуктивность гороха, т/га					
	зерно	влияние...		солома	влияние...	
		фона на дозу	кратности дозы		фона на дозу	кратности дозы
NPK – фон	2,07	–	–	3,31	–	–
NPK + Д ₁	2,38	0,31	–	3,92	0,61	–
NPK + Д ₂	2,49	0,42	0,11	4,09	0,78	0,17
NPK + Д ₃	2,52	0,45	0,14	4,20	0,89	0,28
$F_f (F_t = 3,86) / HCP_{05}$	21,15 / 0,14				85,88 / 0,14	
NPK + Ц ₁	2,21	0,14	–	3,30	–0,01	–
NPK + Ц ₂	2,30	0,23	0,09	3,37	0,06	0,07
NPK + Ц ₃	2,36	0,29	0,15	3,45	0,14	0,15
$F_f (F_t = 3,86) / HCP_{05}$	18,64 / 0,09				1,75 / 0,17	
NPK + Б ₁	2,50	0,43	–	4,30	0,99	–
NPK + Б ₂	2,63	0,56	0,13	4,44	1,13	0,14
NPK + Б ₃	2,70	0,63	0,20	4,51	1,20	0,21
$F_f (F_t = 3,86) / HCP_{05}$	77,80 / 0,10				95,63 / 0,18	



Динамика общей продуктивности агрофитоценоза под действием высококремнистых пород, 2015–2017 гг. (HCP_{05} / F_f : 1 год – 0,50 / 13,10; 2 год – 0,35 / 25,19; 3 год – 0,22 / 80,41; $F_t = 2,27$ – теоретический критерий Фишера при $n_t = 9$ и $p < 0,05$)

Нужно сказать, что на третий год действия изучаемых веществ степень влияния фона на дозу усилилась по всем вариантам исследования за исключением вариантов с цеолитом в отношении соломы гороха, что, по-видимому, зависит не столько от биологических особенностей культуры, сколько от пролонгации взаимодействия природных материалов с почвой.

Влияние же кратности увеличения дозы каждой из пород осталось примерно на одном уровне с прошлым годом. В частности, при двух- и четырехкратном повышении дозы диатомита урожайность зерна увеличивалась соответственно на 5–6%, а соломы на 4–7%, дозы цеолита – на 4–7% и на 2–5%, а дозы бентонитовой глины – на 5–8% и на 3–5%.

На рисунке представлена динамика общей продуктивности сельскохозяйственных культур и ее изменение в зависимости от изучаемых факторов.

Нужно отметить, что в целом по годам исследования значительное ослабление действия кремнийсодержащих материалов на продуктивность культур прослеживалось по вариантам с цеолитом. На вариантах же с диатомовой породой и бентонитовой глиной к третьему году данное влияние оставалось примерно на одном уровне с показателями первого года, а в условиях высоких доз – увеличивалось.

В частности, на варианте с дозой диатомита в 12 т/га прибавка к фону в первый год составила 23%, а на третий – 25%. На вариантах с дозами бентонита в 6 и 12 т/га прибавка к фону в первый год составила 25% и 26%, а на третий – 31% и 34% соответственно.

Очевидно, что кроме биологических особенностей культур (в частности, степень усвоения подвижных соединений кремния из вещества пород и отклик на изменения в ППК), которые будут определять ежегодную вариативность продуктивности, на урожайности имеет место влияние пролонгированного взаимодействия кремнийсодержащих материалов с почвой.

Выводы

Результатами трехлетнего микрополевого опыта показано совместное влияние различных доз кремнийсодержащих пород и полного минерального удобрения на биологическую продуктивность озимой пшеницы сорта *Московская 39*, ячменя сорта *Велес* и гороха посевного сорта *Чушиминский 95* в условиях дерново-подзолистых легкосуглинистых почв Борского района Нижегородской области.

В отношении озимой пшеницы установлено, что на фоне NPK наиболее эффективным является внесение минимальной дозы в 3 т/га, в условиях чего прибавки в массе зерна достигают 24% по диатомиту, 12% по цеолиту и 25% по бентонитовой глине. В отношении ячменя и гороха установлено, что на фоне NPK наиболее эффективной является третья доза (12 т/га), где прибавки зерна составляют 22% и 22% по диатомиту, 13% и 14% по цеолиту, 28% и 30% по бентониту.

Список литературы

1. Агафонов Е.В. Влияние бентонита на повышение плодородия чернозема обыкновенного / Е.В. Агафонов, М.В. Хованский // Почвоведение. – 2014. – № 5. – С. 597–601.
2. Козлов А.В. Влияние кремнийсодержащих стимуляторов роста на биологическую продуктивность и показатели качества озимой пшеницы и картофеля / А.В. Козлов, И.П. Уромова, А.Х. Куликова // Вестник Мининского университета. – 2016. – № 1–1(13). – С. 31.
3. Лобода Б.П. Влияние удобрения на основе цеолитсодержащих трепелов Хотынецкого месторождения на урожайность и качество картофеля / Б.П. Лобода, В.Р. Багдасаров, Д.Д. Фицура // Агрохимия. – 2014. – № 3. – С. 28–35.
4. Матыченков И.В. Изменение содержания подвижных фосфатов почвы при внесении активных форм кремния / И.В. Матыченков, Е.П. Пахненко // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. – 2013. – № 3 (23). – С. 24–28.
5. Leggo P.J. The role of clinoptilolite in organo-zeolite systems used for phytoremediation / P.J. Leggo, B. Ledesert, G. Christies // Science of the total environment. – 2006. – Vol. 363. – P. 1–10.
6. Козлов А.В. Экологическая оценка влияния диатомита на фитоценоз и состояние почвенно-биотического комплекса светло-серой лесной легкосуглинистой почвы: автореф. дис. ... канд. биол. наук. – Москва, 2013. – 24 с.
7. Справочник агронома-эколога / В.И. Титова [и др.]. – Н. Новгород: Издательство «Дятловы горы», 2012. – 76 с.
8. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). – М.: ИД Альянс, 2011. – 352 с.

References

1. Agafonov E.V. Vliyanie bentonita na povyshenie plodorodija chernozema obyknovennogo / E.V. Agafonov, M.V. Novanskij // Pochvovedenie. 2014. no. 5. pp. 597–601.
2. Kozlov A.V. Vliyanie kremnijsoderzhashchih stimulyatorov rosta na biologicheskuyu produktivnost i pokazateli kachestva ozimoy pshenicy i kartofelja / A.V. Kozlov, I.P. Uromova, A.H. Kulikova // Vestnik Mininskogo universiteta. 2016. no. 1–1(13). pp. 31.
3. Loboda B.P. Vliyanie udobreniya na osnove ceolitsoderzhashchih trepelov Hotyneckogo mesto-rozhdeniya na urozhajnost i kachestvo kartofelja / B.P. Loboda, V.R. Bagdasarov, D.D. Ficuro // Agrohimiya. 2014. no. 3. pp. 28–35.
4. Matychenkov I.V. Izmenenie soderzhanija podviznyh fosfatov pochvy pri vnesenii aktivnyh form kremnija / I.V. Matychenkov, E.P. Pahnenko // Vestnik Uljanovskoj gosudarstvennoj selskhozjajstvennoj akademii. 2013. no. 3 (23). pp. 24–28.
5. Leggo P.J. The role of clinoptilolite in organo-zeolite systems used for phytoremediation / P.J. Leggo, B. Ledesert, G. Christies // Science of the total environment. 2006. Vol. 363. pp. 1–10.
6. Kozlov A.V. Jekologicheskaja ocenka vlijaniya diatomita na fitocenozi i sostojanie pochvenno-bioticheskogo kompleksa svetlo-seroj lesnoj legkosuglinistoj pochvy: avtoref. dis. ... kand. biol. nauk. Moskva, 2013. 24 p.
7. Spravochnik agronoma-jekologa / V.I. Titova [i dr.]. N. Novgorod: Izdatelstvo «Djatlovyy gory», 2012. 76 p.
8. Dosphehov B.A. Metodika polevogo opyta (s osnovami statisticheskoy obrabotki rezultatov issledovanij). M.: ID Aljans, 2011. 352 p.

УДК 631.417.2:631.445.41:631.51

СОДЕРЖАНИЕ И ЗАПАС ГУМУСА В ЧЕРНОЗЕМЕ ОБЫКНОВЕННОМ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ РАЗЛИЧНЫХ СИСТЕМ ОСНОВНОЙ ОБРАБОТКИ

Медведева А.М., Бирюкова О.А., Ильченко Я.И., Кучеренко А.В., Кучменко Е.В.

ФГАОУ «Южный федеральный университет», Ростов-на-Дону,

e-mail: medvedeva.estelior@yandex.ru

В статье представлены результаты изучения влияния различных систем обработки на содержание, распределение по профилю и запас гумуса (слои 0–20 см, 0–100 см) в черноземе обыкновенном карбонатном южной зоны Ростовской области. Установлено, что содержание и запас гумуса в черноземе обыкновенном существенно зависит от способа основной обработки. В среднем за 4 года исследования максимальное содержание гумуса в верхнем горизонте было выявлено в почве целинного участка (5,3%), что соответствует повышенной степени гумусированности. Длительное применение отвальной обработки на территории хозяйства (59 лет) привело к существенному снижению содержания гумуса в почве (на 25,0%). Многолетнее использование ресурсосберегающих технологий способствует постепенной стабилизации гумусного состояния чернозема обыкновенного карбонатного. Применение прямого посева увеличивает содержание гумуса по сравнению с вспашкой на 0,72%, минимальной обработки – на 0,9%, степень гумусированности повысилась практически до уровня почвы целинного участка. Запас гумуса в почве целинного участка (слои 0–20 см и 0–100 см) характеризовался как средний (105,03 т/га) и высокий – 525,15 т/га соответственно. Отвальная обработка значительно интенсифицировала минерализацию органического вещества почвы, что привело к существенному снижению запаса гумуса. Применение минимальной обработки и прямого посева, напротив, позволяет сохранить высокий уровень запаса гумуса (в метровой толще 554,83 т/га и 476,66 т/га соответственно). Следовательно, в агроценозах при минимизации обработки почв создаются более благоприятные условия для накопления органического вещества.

Ключевые слова: гумус, чернозем обыкновенный, минимальная обработка, прямой посев, вспашка

HUMUS CONTENT AND STOCK IN HAPLIC CHERNOZEM AT USING DIFFERENT KINDS OF TILLAGE SYSTEMS

Medvedeva A.M., Biryukova O.A., Ilchenko Ya.I., Kucherenko A.V., Kuchmenko E.V.

Southern Federal University, Rostov-on-Don, e-mail: medvedeva.estelior@yandex.ru

The article presents the study results of the influence of various treatment systems on the content, distribution and stock of humus (in the 0–20 cm layer and a meter layer) in the haplic chernozem in the southern zone of the Rostov region. It was established that contents and stock of humus in the haplic chernozem significantly depends on a way of tillage technique. On average for 4 years of research the maximum humus content in the top horizon has been revealed in the virgin soil (5,3%) which corresponds to an increased degree of high humus content. Long-term use of dump plowing at the territory of the economy (59 years) has led to essential decrease in humus content in the soil (for 25,0%). The long-term use of resource-saving technologies contributes to the gradual stabilization of the humus state of haplic chernozem. Application of no-till seeding increases humus content in comparison with plowing by 0.72%, minimal processing – by 0.9%, the degree of humification increases practically to the level of virgin soil. The humus stock in virgin soil (layers of 0–20 cm and 0–100 cm) was characterized as average (105,03 t/hectare) and high – 525,15 t/hectare respectively. Dump plowing considerably intensified mineralization of soil organic substance that has led to essential decrease in humus stock. Application of minimal and no-till technique on the contrary allows to maintain a high level of humus reserves (in the meter thickness 554,83 t/ha and 476.66 t/ha, respectively). Consequently, minimization of soil treatment in agroecosystem creates more favorable conditions for organic matter accumulation.

Keywords: humus, haplic chernozem, minimal tillage technique, no-till seeding, plowing

Важнейшим элементом технологии, влияющей на плодородие почвы и урожайность сельскохозяйственных культур, является система основной обработки почвы, имеющая широкий диапазон – от традиционной вспашки до прямого посева с множеством вариантов безотвальных комбинаций и разных условий минимализации. Меняя способы основной обработки почвы, можно коренным образом изменить ее профиль и тем самым повысить плодородие [1, 2].

Гумусное состояние служит важным показателем плодородия почв и их устойчиво-

сти как компонента биосферы. Содержание гумуса относится к группе показателей, которая более динамична по сравнению с гранулометрическим и минералогическим составом и менее – по сравнению с физико-химическими свойствами почв и содержанием основных элементов питания [3, 4]. Гумусное состояние почв определяется двумя противоположно направленными процессами – гумификацией и минерализацией остатков биоценоза. В природных условиях баланс между этими процессами стабильно равновесный. Органические остатки рас-

тительного и животного происхождения, поступившие в почву, минерализуются в течение двух лет на 70–80 %. Оставшиеся 20–30 % подвергаются гумификации. Собственно, гумус также минерализуется, но значительно медленней (1,5–2,0 % исходных годовых запасов) [5]. Являясь одним из самых стабильных показателей, количество гумуса отражает уровень антропогенного воздействия [3].

Использование высокочатратной традиционной технологии с плужной обработкой почвы показало свои негативные последствия в плане нарушения природного плодородия почвы и ее деградации [6]. Обыкновенные черноземы содержат уже как минимум наполовину меньше гумуса в своем профиле [7]. Основной причиной дегумификации являются эрозионные процессы. Водной эрозии в южной зоне Ростовской области подвержено 25,0 % от общей территории, дефлированных почв – 23,0 %. Согласно «Зональным системам земледелия Ростовской области на 2013–2020 годы», доля плоскорезной и безотвальной обработки в южных районах области, где периодически появляются пыльные бури, должна составлять 61,0 % площади пашни [8]. По данным В.С. Полоуса [1] минимальная обработка почв при сохранении стерни повышает ветроустойчивость почвы до 82–95 %, полностью устраняет развитие процессов ветровой эрозии при скорости ветра 16–25 м/с. Кроме того, уменьшение содержания гумуса связано с отсутствием поступления свежего органического опада, усилением минерализации органического вещества в результате интенсивной обработки, повышением степени аэрации почв, усилением жизнедеятельности живой фазы почв. Недостаточное внесение органических и минеральных удобрений также является существенной причиной дегумификации почв. По данным Е.В. Агафонова [9], в Ростовской области с 1990 до 2014 гг. среднее суммарное количество минеральных удобрений (NPK) составило 55,5 кг/га, а органических – 1,66 т/га, что недостаточно для поддержания оптимального уровня плодородия. В концепции развития агропромышленного комплекса Ростовской области указано, что для покрытия дефицита гумуса необходимо вносить в почву при сложившейся структуре посевных площадей ежегодно 28 млн тонн органических удобрений и увеличить количество минеральных удобрений до 80 кг/га [10]. Однако исследования В.А. Романенко [11] показали, что

в южном регионе России традиционные агротехнологии приводят к устойчивым потерям органического углерода почвы, и изменения систем удобрения, севооборотов, сроков сева не позволяют поддерживать заданные запасы органического вещества почвы. Поэтому перспективным является внедрение прогрессивных ресурсосберегающих технологий на основе минимальной обработки почвы и прямого посева.

Цель исследования – изучить влияние различных систем основной обработки на содержание и запас гумуса в черноземе обыкновенном южной зоны Ростовской области.

Материалы и методы исследования

Объектом исследования послужил чернозем обыкновенный карбонатный мощный тяжелосуглинистый на лессовидном суглинке ЗАО им. С.М. Кирова Песчанокского района Ростовской области. На территории хозяйства минимальная обработка почв используется с 2000 г, прямой посев – с 2008 г. В течение четырех лет (2013–2016 гг.), нами проведены экспедиционные исследования с целью определения влияния современных технологий возделывания сельскохозяйственных культур на состояние плодородия почв Нижнего Дона. В производственных посевах озимой пшеницы было заложено четырнадцать полнопрофильных разрезов: 6 – при использовании прямого посева (Semeato TDNG-420 производства Бразилия); 5 – минимальная обработка на глубину 10–12 см (БДТ-3); 3 – отвальная обработка (вспашка на глубину 25–27 см, ПЛН-4-35). Для сравнения отобраны образцы почвы из четырех полнопрофильных разрезов на целинном участке. Пробы почвы отбирали по почвенным горизонтам с последующим выделением среднего образца. Содержание гумуса определяли методом И.В. Тюрина в модификации ЦИНАО, ГОСТ 26213-91. Анализы почвенных образцов выполнены в лаборатории кафедры почвоведения и оценки земельных ресурсов ЮФУ в трехкратной повторности, за конечный результат принималось среднее между тремя показателями. Дисперсионный анализ полученных результатов проводили в программе STATISTICA 10.

Результаты исследования и их обсуждение

Согласно проведенным исследованиям, в черноземе обыкновенном южной зоны Ро-

стовской области наблюдается накопление гумуса в верхних горизонтах (Ад и Апах). Вниз по профилю происходит закономерное снижение содержания гумуса, что характерно для данного типа почв. В соответствии с оценкой почв по содержанию гумуса в гумусовом горизонте чернозема обыкновенные исследуемой территории являются в основном малогумусными [12].

В среднем за 4 года исследования максимальное содержание гумуса в верхнем горизонте было выявлено в почве целинного участка (5,3%), что соответствует повышенной степени гумусированности [13]. Применение вспашки на территории хозяйства в течение 59 лет привело к снижению содержания гумуса на 1,3%, что повлияло и на степень гумусированности, она характеризуется как средняя (рис. 1). Это означает, что почвы утратили трансформируемое органическое вещество по отношению к его содержанию на целине в результате биологической минерализации.

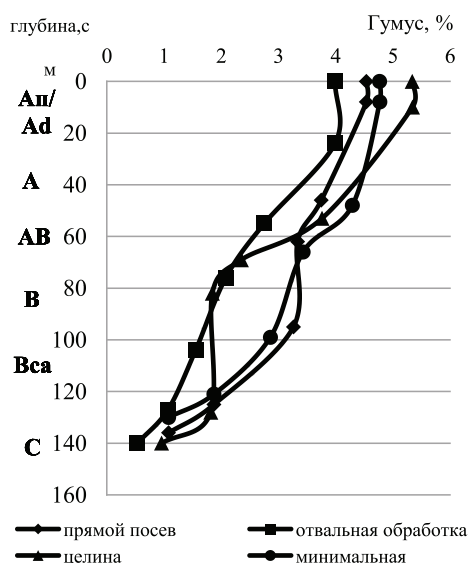


Рис. 1. Профильное распределение гумуса в черноземе обыкновенном карбонатном в среднем за годы исследования, %

Изменение содержание гумуса от высокогумусированных до среднегумусированных может быть признано допустимым, так как в этих пределах предполагается потеря органического вещества, которая может быть восполнена внесением органических удобрений [13]. Кроме того, при вспашке наблюдается более резкий характер изменения этого показателя вниз по профилю, нежели при использовании минимальной обработки.

Результаты исследований показали, что многолетнее использование ресурсосберегающих технологий способствует постепенной стабилизации гумусного состояния чернозема обыкновенного карбонатного южной сельскохозяйственной зоны Ростовской области (рис. 1). Применение прямого посева увеличивает содержание гумуса по сравнению с вспашкой на 0,72%, минимальной обработки — на 0,9%; степень гумусированности повысилась практически до уровня почвы целинного участка. Содержание гумуса в пахотном горизонте чернозема обыкновенного при использовании прямого посева и минимальной обработки варьирует в пределах 4,2–5,0%, что соответствует оптимальному содержанию согласно нормативам основных показателей плодородия почв земель сельскохозяйственного назначения Ростовской области [14]. Таким образом, содержание гумуса в черноземе обыкновенном карбонатном зависит от способа основной обработки, что подтверждается результатами дисперсионного анализа (рис. 2).

Результаты исследования согласуются с данными В.С. Полоуса [1], полученными на черноземе обыкновенном в зернопропашном севообороте. Автором было показано, что применение энерго- и ресурсосберегающих приемов основной обработки почвы положительно сказалось на пищевом режиме почвы, повысило микробиологическую активность, создало оптимальные условия для сохранения и некоторого увеличения гумуса в слое почвы 0–30 см.

Расчеты запаса гумуса подтверждают выявленные закономерности. Запас гумуса в почве целинного участка (слои 0–20 см и 0–100 см) характеризовался как средний (105,03 т/га) и высокий — 525,15 т/га соответственно (рис. 3). Отвальная обработка значительно интенсифицировала минерализацию органического вещества чернозема обыкновенного карбонатного, проявление эрозионных процессов в исследуемом регионе, что привело к существенному снижению запаса гумуса. В слое 0–20 см уровень этого показателя гумусного состояния почвы характеризуется как низкий (69,76 т/га), в слое 0–100 см — средний (348,78 т/га).

Систематическое поступление растительных остатков, применение рациональных доз минеральных удобрений, благоприятные экологические условия (влажность, температура) способствовали восполнению органического вещества над его минерализацией при использовании ресурсосбе-

регающих технологий. Многолетнее применение минимальной обработки (16 лет) и прямого посева (8 лет) позволяет повысить уровень запаса гумуса (в метровой тол-

ще 554,83 т/га и 476,66 т/га соответственно) после длительной вспашки, что подтверждается результатами дисперсионного анализа (рис. 4).

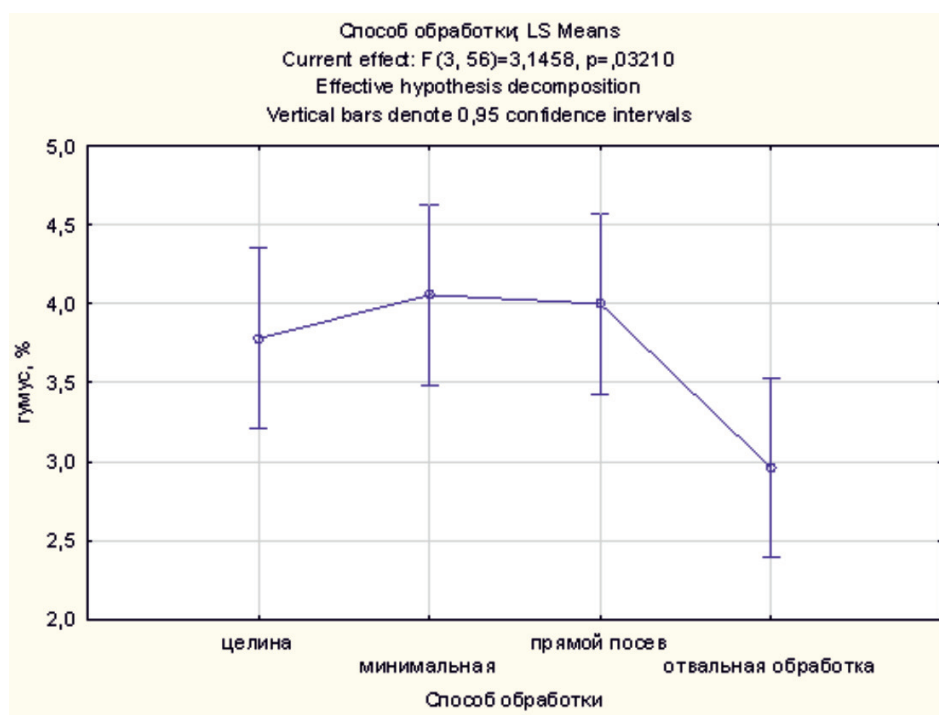


Рис. 2. Влияние способа основной обработки на содержание гумуса в черноземе обыкновенном (в среднем для горизонтов A + AB)

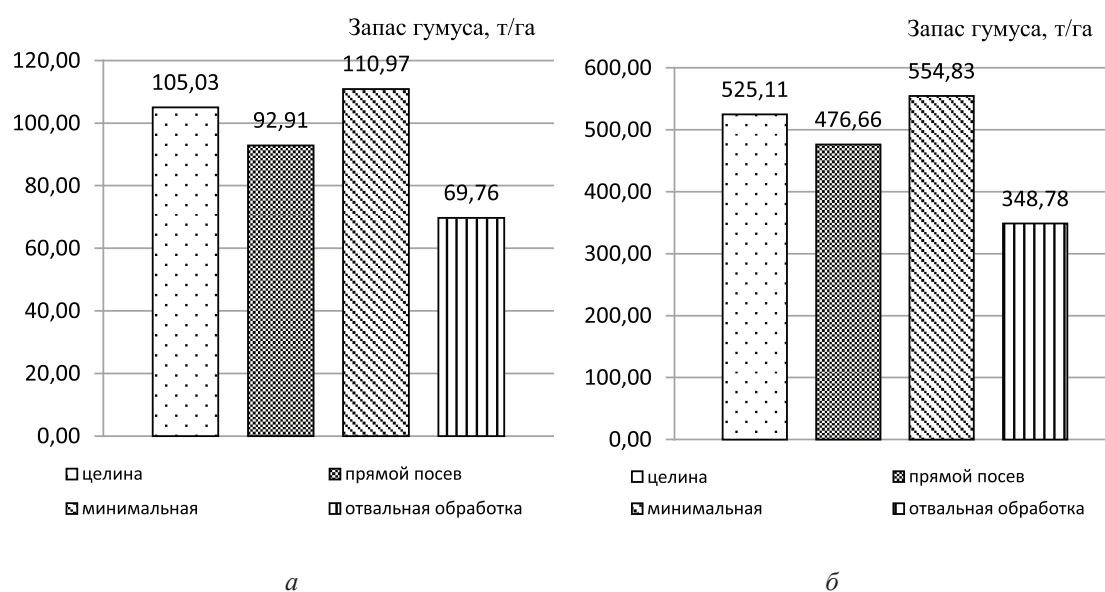
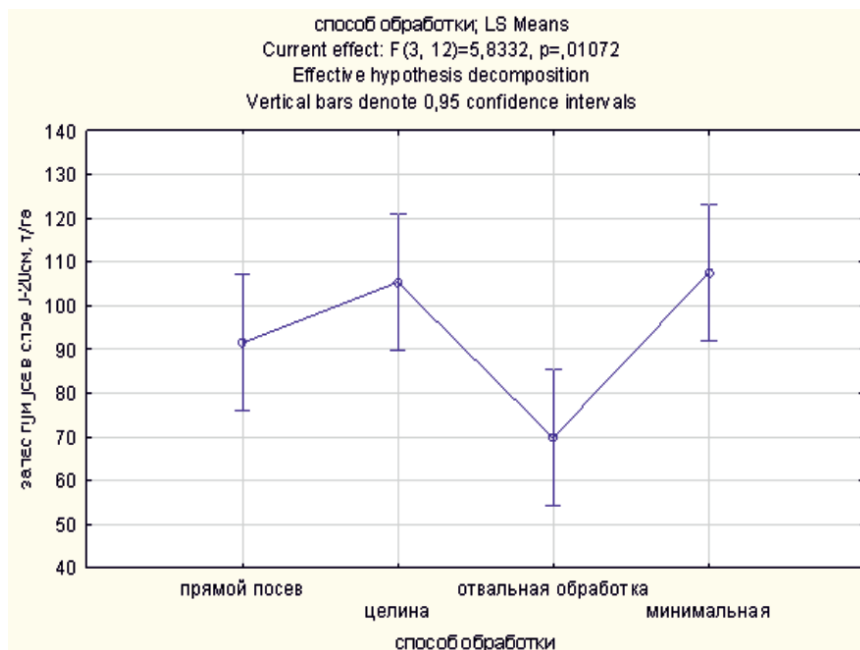
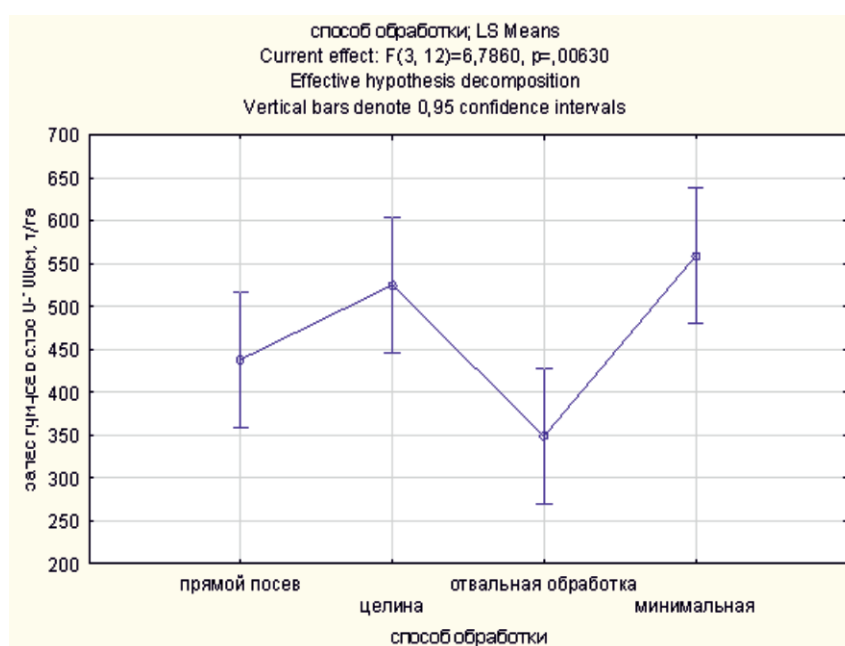


Рис. 3. Запас гумуса при различных способах основной обработки чернозема обыкновенного в среднем за годы исследования, т/га: а) в слое 0–20 см, б) в слое 0–100 см



а



б

Рис. 4. Влияние способа основной обработки на запас гумуса в черноземе обыкновенном карбонатном в среднем за годы исследования: а) в слое 0–20 см, б) в слое 0–100 см

Заключение

С точки зрения оптимизации гумусного состояния чернозема обыкновенного карбонатного в зоне неустойчивого увлажнения наиболее эффективны ресурсосберегающие

способы основной обработки, в том числе и прямой посев.

Исследование выполнено при государственной поддержке ведущей научной школы Российской Федерации (НШ-9072.2016.11).

Список литературы

1. Полоус В.С. Разработка элементов адаптивной системы основной обработки почвы в зернопропашном севообороте на черноземе обыкновенном в зоне недостаточного увлажнения: автореф. дис. ... д. с-х н. – пос. Персиановский, 2012. – 50 с.
2. Новиков А.А. Современное состояние и пути сохранения гумусного и азотного фонда черноземов Северного Кавказа: автореф. дис. ... д. с-х. н. – Новочеркасск, 2002. – 47 с.
3. Безуглова О.С. Гумусное состояние почв Юга России. – Ростов-н/Д.: Изд-во СКНЦ ВШ, 2001. – 221 с.
4. Шеуджен А.Х. Агрохимия чернозема. – Майкоп: ОАО «Полиграф-Юг», 2015. – 232 с.
5. Шеуджен А.Х. Органическое вещество почвы и его экологические функции: учеб. пособие / А.Х. Шеуджен, Н.Н. Нешадим, Л.М. Онищенко. – Краснодар: КубГАУ, 2011. – 202 с.
6. Tuguz R.K., Mamsirov N.I., Sapiev Yu.A. The influence of ways of tillage on agrophysical properties of the drained chernozems // Agriculture. – 2010. – № 7. – P. 23–27.
7. Романенко А.А., Васюков П.П. Кто поставит точку в войне с землей // Земледелие. – 2006. – № 6. – С. 23–25.
8. Зональные системы земледелия Ростовской области на 2013–2020 годы. Часть 1 [Электронный ресурс]: / Под общ. ред. В.Н. Василенко. – Ростов-н/Д.: Мин. с/х и продовольствия Рост. обл., 2013. – 248 с.
9. Агафонов Е.В. Использование птичьего помета в земледелии Ростовской области: научно-практические рекомендации / Е.В. Агафонов, Р.А. Каменев, В.А. Ефремов, Д.А. Манашов, А.А. Бельгин, А.А. Громаков, В.В. Турчин, С.М. Иванов. – пос. Персиановский: Изд-во Донского ГАУ, 2016. – 86 с.
10. Концепция развития агропромышленного комплекса Ростовской области на 2020 г. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.donland.ru/Donland/Pages/View.aspx?pageid=75189&mid=128186&itemId=129> (дата обращения: 03.11.17).
11. Романенко В.А. Динамика запасов почвенного углерода в агроценозах европейской территории России (по данным длительных агрохимических опытов): автореф. дис. ... д.б.н. – Москва, 2011. – 47 с.
12. Медведева А.М., Бирюкова О.А., Божков Д.В. Плодородие чернозема обыкновенного при различных способах обработки. – LAP LAMBERT Academic Publishing, 2015. – 65 с.
13. Когут Б.М. Оценка содержания гумуса в пахотных почвах России // Почвоведение. – 2012. – № 9. – С. 944–952.
14. Назаренко О.Г., Пашковская Т.Г., Продан В.И., Чеботникова Е.А. Нормативы основных показателей плодородия почв земель сельскохозяйственного назначения Ростовской области. – пос. Рассвет: ГЦАС «Ростовский», 2011. – 68 с.

References

1. Polous V.S. Razrabotka jelementov adaptivnoj sistemy osnovnoj obrabotki pochvy v zernopropashnom sevoobrote na chernozeme obyknovennom v zone nedostatochnogo uvlazhnenija: avtoref. dis. ... d. s-h n. pos. Persianovskij, 2012. 50 p.
2. Novikov A.A. Sovremennoe sostojanie i puti sohraneniya gumusnogo i azotnogo fonda chernozemov Severnogo Kavkaza: avtoref. dis. ... d. s-h. n. Novocherkassk, 2002. 47 p.
3. Bezuglova O.S. Gumusnoe sostojanie pochv Juga Rossii. Rostov-n/D.: Izd-vo SKNC VSH, 2001. 221 p.
4. Sheudzhen A.H. Agrohimiya chernozema. Majkop: OAO «Poligraf-Jug», 2015. 232 p.
5. Sheudzhen A.H. Organicheskoe veshhestvo pochvy i ego jekologicheskie funkci: ucheb. posobie / A.H. Sheudzhen, N.N. Neshhadim, L.M. Onishhenko. Krasnodar: KubGAU, 2011. 202 p.
6. Tuguz R.K., Mamsirov N.I., Sapiev Yu.A. The influence of ways of tillage on agrophysical properties of the drained chernozems // Agriculture. 2010. no. 7. pp. 23–27.
7. Romanenko A.A., Vasjukov P.P. Kto postavit tochku v vojne s zemlej // Zemledelie. 2006. no. 6. pp. 23–25.
8. Zonalnye sistemy zemledelija Rostovskoj oblasti na 2013–2020 gody. Chast 1 [Elektronnyj resurs]: / Pod obshh. red. V.N. Vasilenko. Rostov-n/D.: Min. s/h i prodovolstvija Rost. obl., 2013. 248 p.
9. Agafonov E.V. Ispolzovanie ptichego pometa v zemledelii Rostovskoj oblasti: nauchno-prakticheskie rekomendacii / E.V. Agafonov, R.A. Kamenev, V.A. Efremov, D.A. Manashov, A.A. Belgin, A.A. Gromakov, V.V. Turchin, S.M. Ivanov. pos. Persianovskij: Izd-vo Donskogo GAU, 2016. 86 p.
10. koncepcija razvitiya agropromyshlennogo kompleksa Rostovskoj oblasti na 2020 g. [Elektronnyj resurs]. Rezhim dostupa: <http://www.donland.ru/Donland/Pages/View.aspx?pageid=75189&mid=128186&itemId=129> (data obrashhenija: 03.11.17).
11. Romanenko V.A. Dinamika zapasov pochvennogo ugleroda v agroecenozah evropejskoj territorii Rossii (po dannym dlitelnyh agrohimicheskikh opytov): avtoref. dis. ... d.b.n. Moskva, 2011. 47 p.
12. Medvedeva A.M., Birjukova O.A., Bozhkov D.V. Plodorodie chernozema obyknovennogo pri razlichnyh sposobah obrabotki. LAP LAMBERT Academic Publishing, 2015. 65 p.
13. Kogut B.M. Ocenka soderzhaniya gumusa v pahotnyh pochvah Rossii // Pochvovedenie. 2012. no. 9. pp. 944–952.
14. Nazarenko O.G., Pashkovskaja T.G., Prodan V.I., Chebotnikova E.A. Normativy osnovnyh pokazatelej plodorodija pochv zemel selskohozjajstvennogo naznacheniya Rostovskoj oblasti. pos. Rassvet: GCAS «Rostovskij», 2011. 68 p.

УДК 635.63:635.044:631.5

ОСОБЕННОСТИ РОСТА КУЛЬТУРЫ ОГУРЦА ГИБРИДА КИБРИЯ F1 В ЮВЕНИЛЬНЫЙ ПЕРИОД РАЗВИТИЯ

Олива Т.В., Лицуков С.Д., Панин С.И., Колесниченко Е.Ю., Кузьмина Е.А.

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

Проведены исследования по применению гуминовых и минеральных удобрений при выращивании культуры огурца в условиях защищенного грунта на ватоминеральных кубиках с использованием системы капельного полива в условиях ООО «Сельскохозяйственное предприятие «Теплицы Белогорья». В научно-производственном опыте использовали жидкие гуминовые удобрения из вермикомпоста, микроудобрение с хелатом бора, минеральное удобрение с комплексом биогенных микроэлементов, кремнийсодержащее и селенсодержащее микроудобрения. Изучали влияние природного стимулятора роста экстракта из спиролины. Предметом исследований был партенокарпический гибрид культуры огурца корнишон Кибрия F1. Установлено, что применение удобрений уменьшает в 1,3–3,6 раза выбраковку растений после всходов, влияет на интенсивность роста и опережает контрольные растения на 2–3 дня развития. Обнаружено лучшее развитие фотосинтетического аппарата листьев ювенильной фазы развития огурца, максимальное образование в тканях листа хлорофилла и каротина при максимальной массе растения к 24 суткам развития. Минеральное удобрение с кремнием и бором максимально стимулировало образование в тканях листьев растения зеленого и желтого пигментов. Отношение площади листьев к их массе во всех вариантах опыта превышало уровень контроля. Максимальная масса стебля огурцов – при применении кремнийсодержащего удобрения, микроудобрения с хелатом бора и с комплексом биогенных микроэлементов. Максимальное фотосинтетическое усилие установлено для рассады огурца при применении жидкого гуминового удобрения и экстракта спиролины. Таким образом, можно управлять физиологическими процессами растений и в дальнейшем повышать процессы плодообразования при защите растений от меняющихся факторов окружающей среды.

Ключевые слова: теплица, капельный полив, ватоминеральные кубики, гуминовые удобрения, микроудобрения

GROWTH CHARACTERISTICS OF CUCUMBER HYBRID KIBRIYA F1 AT JUVENILE PERIOD

Oliva T.V., Litsukov S.D., Panin S.I., Kolesnichenko E.Yu., Kuzmina E.A.

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

Researches of the use of humic and mineral fertilizers in cucumber cultivation under conditions of protected ground on mineral cotton cubes with the use of drip watering system under conditions of LLC Agricultural Enterprise «Teplitzy Belogorya» were conducted. The liquid humic fertilizers from vermicompost, microfertilizer with boracium chelate, mineral fertilizer with a complex of biogenous micro-elements, silicious and selenium-containing microfertilizers were used in scientific and production experience. The influence of natural growth stimulator spirulina extract was studied. The parthenocarpous hybrid of cucumber gherkin Kibriya F1 was a subject of researches. It is established that the use of fertilizers reduces by 1,3–3,6 times the purding of plants after shoots, influences intensity of growth and advances control plants for 2–3 days of development. The best development of photosynthetic leaves instrument in cucumber juvenile phase, maximum formation of chlorophyll and carotin in leaf tissue at maximum plant mass by 24 days were found out. Mineral fertilizers with silicon and boracium as much as possible stimulated formation of green and yellow pigments in leaves tissue. The ratio of area of leaves to their weight in all options of experiment exceeded control level. The maximum mass of footstalk of cucumbers was achieved at use of silicious fertilizer, microfertilizer with boracium chelate and with a complex of biogenous micro-elements. The maximum photosynthetic effort is established for cucumber plantlet when using liquid humic fertilizer and spirulina extract. Thus, it is possible to operate physiological processes of plants and further to increase fruit formation processes when plants are protected against the changing environment factors.

Keywords: greenhouse, drip watering, mineral cotton cubes, humic fertilizers, microfertilizers

Рост растений – это сложный сбалансированный физиолого-биохимический процесс, а ювенильный период – важный этап жизни сельскохозяйственной культуры, который является залогом будущего высокого урожая [1, 2]. Успешное прорастание семян и развитие вегетативных органов растений обеспечиваются при сбалансированном сочетании макро- и микроэлементов в питательной среде. Выращивание тепличного огурца, одной из самых популярных культур закрытого грунта, сопряжено с некоторыми трудностями, так как он очень требовате-

лен к питательным растворам и условиям окружающей среды [3]. В настоящее время качественный рынок тепличных овощей меняется. Выделяют новые индикаторы современного устойчивого развития теплиц: не только урожай с квадратного метра, но и экологическая культура работы и качество продукции, а именно 85 % биометода и 97 % биометода соответственно [4–6]. Поэтому целью нашего исследования было изучение особенностей развития рассады тепличного огурца на ватоминеральных кубиках при капельном поливе с применением внекорне-

вых подкормок экологически безопасными, природными и эффективными удобрениями и стимуляторами роста.

Материалы и методы исследования

Опыты с партенокарпическим гибридом культуры огурца Кибрия F1 проводили в соответствии с общепринятой методикой полевого опыта с овощными культурами в сооружениях защищенного грунта по Б.А. Доспехову [7].

Сев культуры огурца гибрида Кибрия F1 был проведен нами вручную 1 апреля 2016 г. в ООО СХП «Теплицы Белогорья». Алгоритм исследований представлен на схеме (рис. 1).

Семена в количестве 900 штук (по 100 семян в 9 вариантах) предварительно были замочены в растворе хелатного микроудобрения «Органобор» (концентрация 0,1 мг/л), «Органомикс» (концентрация 0,1 мг/л), в растворе гуминовых удобрений БелБио-1, БелБио-2, БелБио-3 (концентрация 0,001 %), в растворе силиката натрия и селексена (концентрация 0,01 %), а также в растворе воды. Жидкие гуминовые удобрения серии БелБио произведены нами из вермикомпоста, как описано ранее, в лаборатории биотехнологических исследований ФГБОУ ВО БГАУ [9, 10]. БелБио-1 – это гуминовый препарат, выделенный по стандартной методике с использованием серной кислоты; БелБио-2 – препарат, выделенный азотной кислотой и насыщенный карбона-

том кальция; БелБио-3 – препарат, выделенный с использованием комплексона трилона Б. Суммарное количество свободных гумусовых кислот находится в пределах 79–87 г/л, рН равняется 7,8–8,6. Жидкий экстракт спирулины в растворе фруктозы и жидкие хелатные микроудобрения были наработаны в ЗАО «Петрохим» (г. Белгород). В составе удобрения «Органобор» содержится бор в биологически активной хелатной форме (110 г/л). В «Органомиксе» присутствуют хелатные формы железа (30 г/л), серы (21 г/л), магния (5 г/л), бора (4 г/л), марганца, цинка и меди (по 8 г/л), кобальта и молибдена (по 0,1 г/л). Все препараты нетоксичны, экологически безвредны и принадлежат к IV классу малоопасных веществ.

Результаты исследования и их обсуждение

Массовые всходы растения огурца гибрида Кибрия F1 были на 4 день после посадки. В этот день провели выбраковку растений. Степень выбраковки растений после замачивания семян в среднем уменьшалась в 1,3–3,6 раза. Минимальная выбраковка растений после всходов была при применении гуминовых и хелатных удобрений. Кремний- и селенсодержащие препараты, экстракт спирулины тоже уменьшили выбраковку растений после всходов, но менее значительно (табл. 1).

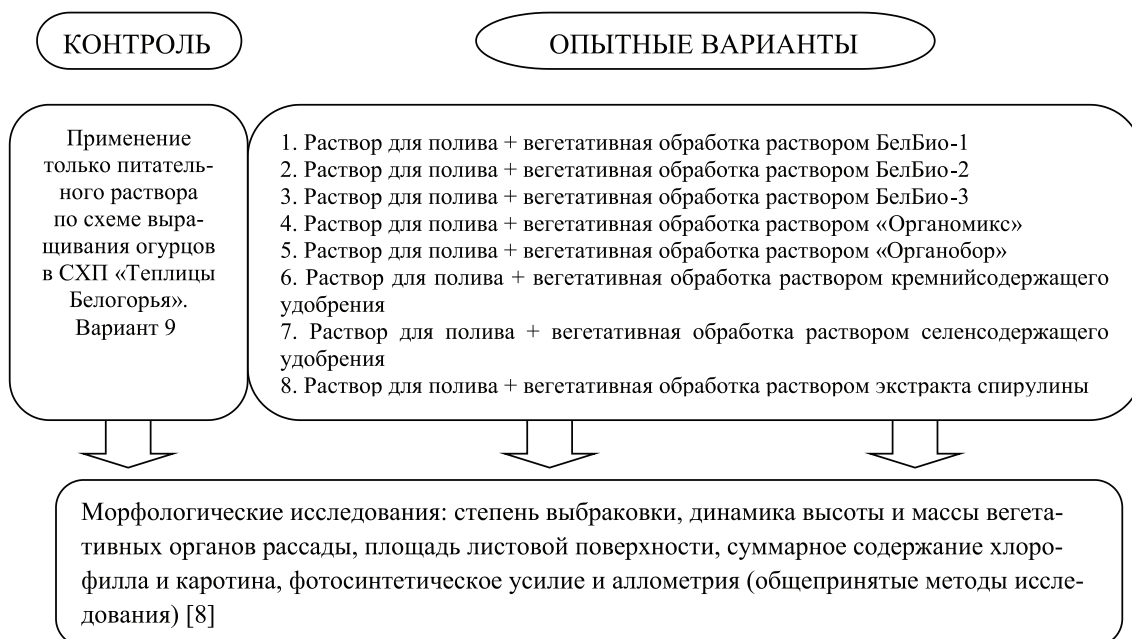


Рис. 1. Алгоритм исследований

Таблица 1

Выбраковка растений огурца гибрида Кибрия F1, %

Показатели	Варианты по схеме опыта (04.04.2016 г.)								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Выбраковка	1,5	1,6	1,0	1,5	1,2	2,5	2,8	2,6	3,6

Таблица 2

Метрические характеристики надземных органов растения огурца (натуральное вещество), 24 сутки опыта

Вариант	Масса надземных органов, г /1 растение		Площадь листовой поверхности, см ² /1 растение
	все листья	стебель	
1. БелБио-1	15,10 ± 0,32**	7,37 ± 0,31	581,12 ± 11,54**
2. БелБио-2	14,23 ± 0,35*	8,17 ± 0,33	547,64 ± 13,47**
3. БелБио-3	14,69 ± 0,38**	8,39 ± 0,38	517,83 ± 12,76**
4. Органомикс	14,95 ± 0,41**	9,13 ± 0,39**	558,43 ± 14,37**
5. Органобор	15,37 ± 0,32**	9,45 ± 0,31**	643,63 ± 13,83**
6. Силикат натрия	15,86 ± 0,42**	10,81 ± 0,46**	671,41 ± 12,54**
7. Селексен	15,36 ± 0,34**	7,68 ± 0,37	646,01 ± 13,68**
8. Экстракт спиролины	15,87 ± 0,36**	7,63 ± 0,38	567,72 ± 11,72**
9. Контроль	12,64 ± 0,34	7,26 ± 0,37	455,03 ± 12,81

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

Растения гибрида Кибрия F1, которые с основным питательным капельным раствором дополнительно получали комплексные микроудобрения и гуматы, росли дружно и правильно развивались. Интенсивность роста была намного больше у опытных растений вариантов № 1–8. К периоду переноса растений в блок роста (28.04.2016 г.) высота растений огурца была выше для опытных вариантов в среднем в 1,1 раза, то есть эти растения начинали опережать контрольные на 2–3 дня развития. Морфометрическая характеристика растения огурца по состоянию на 24 сутки от начала опыта представлена в табл. 2.

Анализ табличных данных показал, что использование стимуляторов роста, в целом оказало положительное влияние на формирование проростков огурцов, однако в случае со стеблями растений различие с контролем в некоторых вариантах не подтвердилось статистическим анализом. Это говорит о том, что «напрасного» вегетативного роста огурца в высоту не было, и растения переходили в важную фазу развития накопления вегетативной зеленой листовой массы. Прирост общей массы листьев (рис. 2) самый большой наблюдался при использовании экстракта спиролины и силиката натрия. Различия с контролем в этих вариантах составили 3,23 и 3,22 г или в среднем 25,5% при $p < 0,01$. Самые низкие показатели общей фитомассы ли-

стьев зафиксированы после использования препаратов БелБио-2 и БелБио-3 при положительной разнице с контролем на 1,59 и 2,05 г или на 12,6 ($p < 0,05$) и 16,2% ($p < 0,01$) соответственно.

Масса стебля огурцов, так же как и весовые характеристики листьев, во всех вариантах опыта превышала контрольные значения (рис. 3). Однако только в трех вариантах опыта это различие подтвердилось статистическим анализом: для силиката натрия на 3,55 г (29,7%); «Органобора» – на 2,19 г (23,2%) и для «Органомикса» на 1,87 г (20,5%) при $p < 0,01$.

Все используемые в опыте удобрения и стимуляторы роста вызывали существенное увеличение площади листовой поверхности (рис. 4).

Максимальное различие по сравнению с контролем наблюдалось при обработке растений силикатом натрия на 216,38 см² (32,2%); селексом – на 190,98 см² (29,6%) и «Органобором» – на 188,6 см² (29,3%) ($p < 0,01$). Онтогенез растений характеризуется различными скоростями роста вегетативных органов. Параллельное развитие двух или нескольких органов предполагает синхронизацию изменения скоростей их роста. Поиск коэффициентов корреляции и соотношений роста организмов составляет сущность аллометрического подхода при изучении онтогенеза растений.

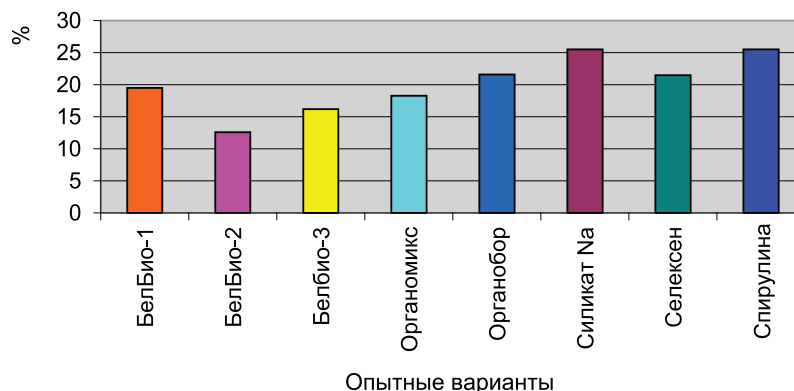


Рис. 2. Общая масса листьев огурцов в процентах к контролю, 24 сутки опыта

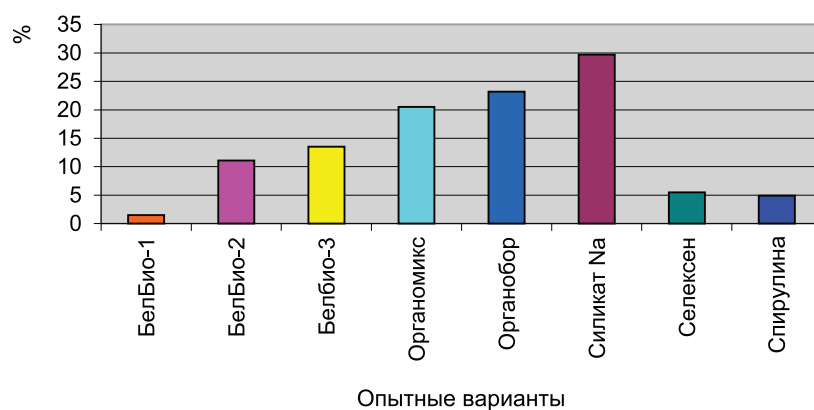


Рис. 3. Масса стеблей огурцов в процентах к контролю, 24 сутки опыта

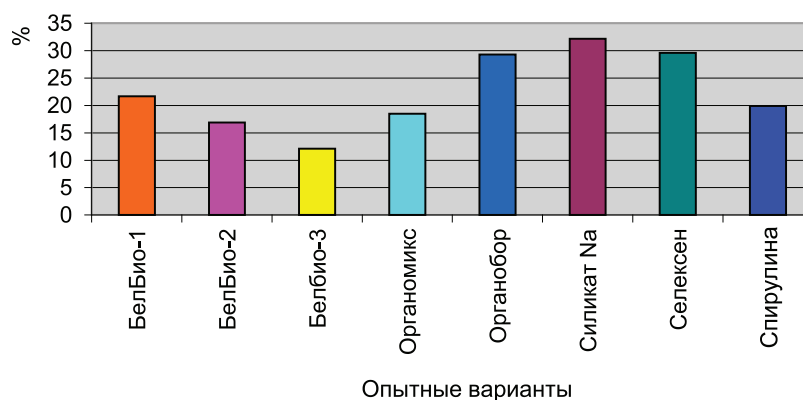


Рис. 4. Площадь листовой поверхности огурцов в процентах к контролю, 24 сутки опыта

Аллометрические характеристики формирования растения огурца представлены в табл. 3. Расчет фотосинтетического усилия (масса листьев на единицу фитомассы, г/г) демонстрирует наивысшую интенсивность роста растений, а именно накопление биомассы и развитие листового покрова, у растений из вариантов, где применяли БелБио-1, селексен и экстракт спирулины.

Отношение массы стебля к массе растения самым высоким было после применения силиката натрия, «Органобора» и «Органомикса» и было выше на 12,2 и на 5,3% соответственно по сравнению с контролем. Во всех остальных вариантах величина этого коэффициента была на уровне (БелБио-2, БелБио-3) или ниже (БелБио-1, селексен, экстракт спирулины) контрольных значений.

Таблица 3

Аллометрические характеристики растения огурца, 24 сутки опыта

Варианты	Показатели			
	Относительная площадь (S) листьев	Отношение S листьев к их массе	Фотосинтетическое усилие	Отношение массы стебля к массе растения
1. БелБио-1	25,86	38,48	0,67	0,33
2. БелБио-2	24,45	38,48	0,63	0,36
3. БелБио-3	22,44	35,25	0,63	0,36
4. Органомикс	23,19	37,35	0,62	0,38
5. Органобор	25,93	41,87	0,62	0,38
6. Силикат натрия	25,17	42,33	0,60	0,41
7. Селексен	28,04	42,06	0,67	0,33
8. Экстракт спирулины	24,16	35,77	0,68	0,32
9. Контроль	22,86	35,0	0,63	0,36

Таблица 4

Суммарное содержание хлорофилла в листьях гибрида Кибрия F1

Варианты	Суммарное содержание хлорофилла		
	мг/кг	мг/листья 1 растения	мкг/см ²
1. БелБио-1	4715 ± 14	117,03*	201,39
2. БелБио-2	4911 ± 10*	115,21*	210,38*
3. БелБио-3	4567 ± 12	100,48	195,04
4. Органомикс	4871 ± 14*	111,74*	200,00
5. Органобор	4767 ± 10	118,98*	185,30
6. Силикат натрия	4519 ± 10	123,55*	184,00
7. Селексен	4780 ± 15*	100,67	155,80
8. Экстракт спирулины	4490 ± 10	100,26	176,60
9. Контроль	4493 ± 10	81,77	179,70

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

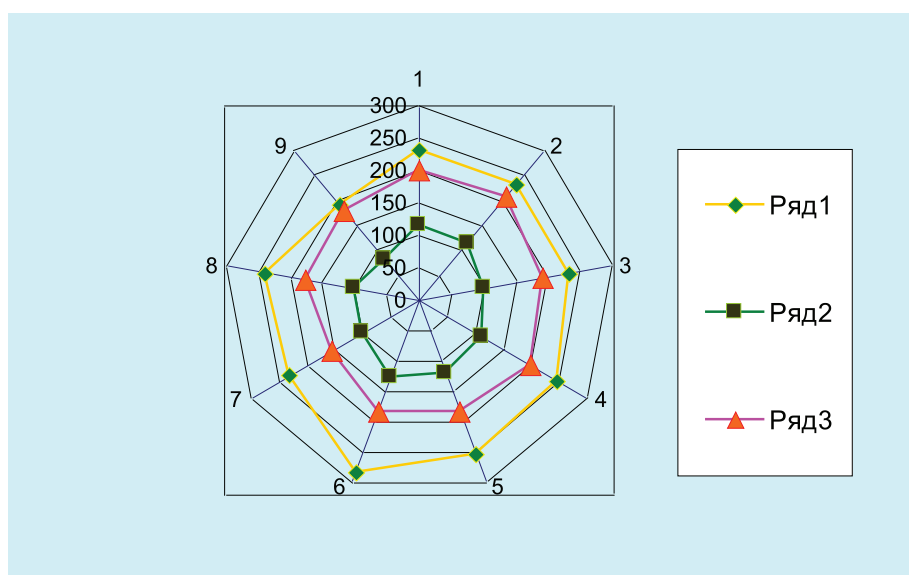


Рис. 5. Динамика содержания хлорофилла в листьях рассады и массы растения огурца по вариантам опыта 1–9 на 24 сутки роста: ряд 1 – динамика массы растений (масштаб 1:10), г; ряд 2 – динамика содержания хлорофилла, мг/листья растения; ряд 3 – динамика содержания хлорофилла, мкг/см²

Таблица 5

Содержание каротина в листьях гибрида Кибрия F1

Варианты	Соотношение хлорофилла к каротину, листья растений	Содержание каротина		
		мг/кг	мг/листья растения	мкг/см ²
1. БелБио-1	119,2	47,8 ± 1,2	0,98	1,58
2. БелБио-2	87,3	56,2 ± 1,0	1,32	2,43
3. БелБио-3	84,4	47,8 ± 0,9	1,19	2,29
4. Органомикс	97,2	49,9 ± 1,1	1,15	1,89
5. Органобор	97,5	53,0 ± 1,0	1,22	1,85
6. Силикат натрия	62,4	54,1 ± 1,1	1,98	2,84
7. Селексен	84,6	56,2 ± 1,0	1,19	2,60
8. Экстракт спирулины	82,9	54,1 ± 1,0	1,21	2,12
9. Контроль	72,4	56,2 ± 1,5	1,13	1,75

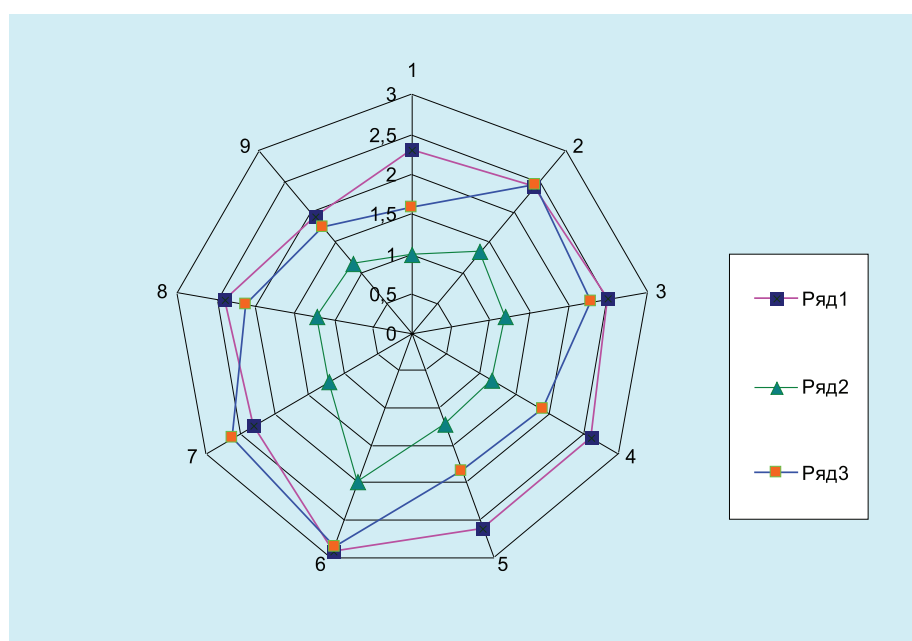


Рис. 6. Динамика содержания каротина в листьях рассады и массы растения огурца по вариантам опыта 1–9 на 24 сутки роста: ряд 1 – динамика массы растений, (масштаб 1:10), г; ряд 2 – динамика содержания каротина, мг/листья растения; ряд 3 – динамика содержания каротина, мкг/см²

Важным параметром, который характеризует рост и развитие растений, является содержание в листьях пигмента хлорофилла. Ряд авторов связывает влияние биологических препаратов с оптимизацией функционального состояния клеточных органелл [11, 12]. Содержание хлорофилла измерялось по трем показателям данных табл. 4 и диаграммы рис. 5. Суммарное содержание хлорофилла в пересчете на натуральное вещество определяли при помощи спектроколориметра по измерению оптической плотности спиртового экстракта листьев растения огурца при длине волны 644 нм.

Обнаружено, что содержание хлорофилла в листьях рассады растений в пересчете всю массу листьев растения превышало контрольные значения. Это обеспечивает интенсивность обменных процессов в ткани листа растущих организмов и согласно литературным данным обеспечивает наивысшее образование основного сухого вещества тканей растений. Заметим, что применение биологических препаратов не уступает стимуляции образования фотосинтетического аппарата при использовании хелатных микроудобрений. Установлено, что кремний (вариант № 6), вовлеченный в поток транс-

порта веществ, также интенсивно стимулирует образование в тканях листа зеленого пигмента. Масса растения в этом варианте к 24 суткам роста наивысшая. На втором месте по уровню содержания хлорофилла стоит вариант № 5, с вегетативной обработкой бором в хелатной активной форме. Концентрации бора в активной форме подобраны без появления токсичного эффекта. Увеличение уровня зеленого пигмента говорит о лучшем развитии фотосинтезирующего аппарата организма растений, которое будет способствовать более высокой продуктивности и урожайности организма растений. В табл. 5 и диаграмме рис. 6 показано содержание в листьях рассады пигмента каротина. Содержание каротина определяли по ГОСТ 13496.17.

Согласно данным таблицы и диаграмме уровень каротина в листьях растений менялся по-разному. Максимальное содержание пигмента в листьях отмечено у огурца при вегетативной обработке силикатом натрия. Затем по интенсивному ряду накопления пигмента в тканях листа огурца идет обработка хелатным бором, экстрактом из спирулины и гуминовыми веществами. Из научной литературы известно, что каротины играют роль особых пигментов, с помощью которых передается энергия поглощенных квантов хлорофиллу *a*, особенно когда преобладает рассеянная радиация, то есть в затененных местах при недостатке освещения. Также доказано, что каротиноиды, выполняя защитную функцию, предохраняют хлорофилл от фотоокисления, участвуя в прямом расщеплении воды и кислородном обмене при фотосинтезе. Содержание желтых пигментов в течение вегетации растения значительно меняется: от роста уровня пигмента в начальные фазы роста, переход через максимум во время цветения и снижения при старении листьев. Поэтому накопление каротина в листьях тепличного огурца в раннем весеннем обороте соответствует интенсивному фотосинтезу и защите растений от меняющихся факторов окружающей среды.

Заключение

Предпосевное замачивание семян огурца корнишона гибрида Кибрия F1 в изучаемых растворах значительно (в 1,3–3,6 раза) уменьшает выбраковку растений после всходов, влияет на интенсивность роста с опережением контрольных растений на 2–3 дня развития. Минимальная выбраковка растений после всходов обнаружена при

применении гуминовых и хелатных удобрений. Вегетативные обработки всеми изучаемыми растворами стимулируют ювенильную фазу развития рассады огурца гибрида Кибрия F1 по сравнению с контролем. Максимальный прирост общей массы листьев обнаружен при применении кремнийсодержащего удобрения и экстрактивного раствора спирулины. Максимальная масса стебля огурцов – при применении кремнийсодержащего удобрения, «Органобора» и «Органомикса». Максимальное фотосинтетическое усилие установлено для рассады при применении гуминового удобрения БелБио-1 и экстракта спирулины.

Вегетативные обработки всеми изучаемыми растворами способствовали более лучшему формированию фотосинтетического аппарата листьев ювенильной фазы развития огурца Кибрия F1 по сравнению с контролем. Обнаружено, что содержание хлорофилла в листьях, в пересчете всю массу листьев рассады превышало контрольные значения в среднем на 19–42 мг, что обеспечивало в дальнейшем наивысшее образование сухого вещества. Отметим, что кремнийсодержащее удобрение максимально стимулировало образование в тканях листа зеленого и желтого пигментов при максимальной массе растения к 24 суткам развития. Установлен факт для всех вариантов опыта положительной тенденции накопления каротина на 0,1–0,7 мкг/см² поверхности листа, что также способствует интенсивному фотосинтезу, позволяет управлять физиологическими процессами растений и в дальнейшем повышать процессы плодообразования при защите растений от меняющихся факторов окружающей среды.

Список литературы

1. Ионова Л.П. Действие биопрепаратов на первых этапах онтогенеза ранних сортов огурца в защищенном грунте при пленочном укрытии / Л.П. Ионова, Р.А. Арсланова // Успехи современного естествознания. – 2009. – № 3. – С. 23–25.
2. Медведев С.С. Механизмы регуляции морфогенеза растений / С.С. Медведев // В мат. VII съезда общества физиологов растений России. Материалы докладов (в двух частях). Часть II. Нижний Новгород. – 4–10 июля 2011. – С. 470–471.
3. Кудияров Р.И. Продуктивность и экономическая эффективность малообъемного выращивания новых гибридов огурца в защищенном грунте Кызылординской области / Р.И. Кудияров, Э.Б. Дямураева, Н.Ж. Уразбаев, Г.З. Сауытбаева, Г.Е. Дямураева // Успехи современного естествознания. – 2017. – № 2. – С. 26–31.
4. Степанова Д.И. Влияние вермикомпоста на урожайность огурца в условиях защищенного грунта Центральной Якутии / Д.И. Степанова, А.Ф. Абрамов, М.Ф. Григорьев // Успехи современного естествознания. – 2016. – № 12–2. – С. 330–334.

5. Литвинов С.С. Защищенный грунт: стратегия развития / С.С. Литвинов // Картофель и овощи. – 2013. – № 10. – С. 20–21.
6. Морозов Д.О. Новый вектор движения / Д.О. Морозов // Теплицы России. – 2015. – № 3. – С. 42–43.
7. Доспехов Б.А. Опыты с овощными культурами в сооружениях защищенного грунта / Б.А. Доспехов // В кн.: Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). – 5-е изд., доп. и перераб. – М.: Агропромиздат, 1985. – С.120–122.
8. Пискунов А.С. Методы агрохимических исследований / А.С. Пискунов. – М.: КолосС, 2004. – 312 с.
9. Олива Т.В. Разработка экологически устойчивых технологий выращивания рассады огурца в теплице / Т.В. Олива // Успехи современной науки. – 2016. – Т. 3, № 10. – С. 94–98.
10. Олива Т.В. Использование хелатного микроудобрения и гумата в технологии выращивания тепличного огурца / Т.В. Олива, Л.А. Манохина, Е.А. Кузьмина // Успехи современной науки и образования. – 2016. – Т. 7, № 12. – С. 139–144.
11. Аллахвердиев С.Р. Современные технологии в органическом земледелии / С.Р. Аллахвердиев, В.И. Ерошенко // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2017. – № 1. – С. 76–79.
12. Ионова Л.П. Влияние биопрепаратов на фотосинтетический потенциал и продуктивность ранних гибридов огурца в пленочной теплице / Л.П. Ионова // Успехи современного естествознания. – 2010. – № 6. – С. 40–43.
1. Ionova L.P. Dejstvie biopreparatov na pervyh etapah ontogeneza rannih sortov ogurca v zashhishhennom grunte pri plenochnom ukrytii / L.P. Ionova, R.A. Arslanova // Uspеhi sovremennogo estestvoznaniya. 2009. no. 3. pp. 23–25.
2. Medvedev S.S. Mehanizmy reguljatsii morfogeneza rastenij / S.S. Medvedev // V mat. VII sezda obshhestva fiziologov rastenij Rossii. Materialy dokladov (v dvuh chastjah). Chast II. Nizhnij Novgorod. 4–10 ijulja 2011. pp. 470–471.
3. Kudijarov R.I. Produktivnost i jekonomicheskaja jeffektivnost maloobemnogo vyrashhivaniya novyh gibridov ogurca v zashhishhennom grunte Kyzylordinskoj oblasti / R.I. Kudijarov, Je.B. Djamurshaeva, N.Zh. Urazbaev, G.Z. Sauytbaeva, G.E. Djamurshaeva // Uspеhi sovremennogo estestvoznaniya. 2017. no. 2. pp. 26–31.
4. Stepanova D.I. Vlijanie vermikomposta na urozhajnost ogurca v uslovijah zashhishhennogo grunta Centralnoj Jakutii / D.I. Stepanova, A.F. Abramov, M.F. Grigorev // Uspеhi sovremennogo estestvoznaniya. 2016. no. 12–2. pp. 330–334.
5. Litvinov S.S. Zashhishhennyj grunt: strategija razvitija / S.S. Litvinov // Kartofel i ovoshhi. 2013. no. 10. pp. 20–21.
6. Morozov D.O. Novyj vektor dvizhenija / D.O. Morozov // Teplicy Rossii. 2015. no. 3. pp. 42–43.
7. Dospеhov B.A. Opyty s ovoshhnymi kulturami v sooruzhenijah zashhishhennogo grunta / B.A. Dospеhov // V kn.: Metodika polevogo opyta (s osnovami statisticheskoy obrabotki rezul'tatov issledovanij). 5-e izd., dop. i pererab. M.: Agropromizdat, 1985. pp. 120–122.
8. Piskunov A.S. Metody agrohimičeskikh issledovanij / A.S. Piskunov. M.: KolosS, 2004. 312 p.
9. Oliva T.V. Razrabotka jekologičeskij ustojčivyh tehnologij vyrashhivaniya rassady ogurca v teplice / T.V. Oliva // Uspеhi sovremennoj nauki. 2016. T. 3, no. 10. pp. 94–98.
10. Oliva T.V. Ispolzovanie helatnogo mikroudobrenija i gumata v tehnologii vyrashhivaniya teplichnogo ogurca / T.V. Oliva, L.A. Manohina, E.A. Kuzmina // Uspеhi sovremennoj nauki i obrazovanija. 2016. T. 7, no. 12. pp. 139–144.
11. Allahverdiev S.R. Sovremennye tehnologii v organicheskom zemledelii / S.R. Allahverdiev, V.I. Eroshenko // Mezhdunarodnyj zhurnal prikladnyh i fundamentalnyh issledovanij. 2017. no. 1. pp. 76–79.
12. Ionova L.P. Vlijanie biopreparatov na fotosinteticheskij potencial i produktivnost rannih gibridov ogurca v plenochnoj teplice / L.P. Ionova // Uspеhi sovremennogo estestvoznaniya. 2010. no. 6. pp. 40–43.

References

УДК 633.111"324":631.527

ОЦЕНКА АДАПТИВНЫХ И ПРОДУКТИВНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПЕРСПЕКТИВНЫХ ЛИНИЙ ОЗИМОЙ МЯГКОЙ ПШЕНИЦЫ

Павлов М.И., Оразаева И.В., Муравьев А.А.

ФГБОУ ВО «Белгородский государственный аграрный университет имени В.Я. Горина»,
п. Майский, Белгородская область, e-mail: i-orazeva@yandex.ru

Перспективным и востребованным направлением селекционной работы в последние годы является создание сортов, пластичных к внешним воздействиям и адаптированных к различным типам технологий. Важным этапом этой работы является подбор родительских форм для получения новых комбинаций признаков в гибридах, изучение и анализ гибридов поколений F_{1-3} и линий в последующих питомниках для выделения наиболее продуктивных и адаптивных линий, которые могут стать основой будущих сортов с заданными параметрами. В ходе исследования изучался селекционный материал озимой пшеницы в гибридном, селекционном и контрольном питомниках, была проведена внутривидовая гибридизация путем скрещивания, были изучены гибриды и потомства по хозяйственно полезным и биологическим признакам и проведены отборы из гибридных популяций. По результатам изучения сортов в коллекционном питомнике были подобраны родительские формы для проведения гибридизации в текущем году. В селекционном питомнике на основании учетов и комплексной оценки, отобраны линии: более раннеспелые, устойчивые к бурой ржавчине, и характеризующиеся высокой продуктивностью. В контрольном питомнике отобраны сортообразцы, существенно превышающие стандарт по урожайности, характеризующиеся более ранним (на 4 дня) сроком созревания, имеющие высокую продуктивность колоса (продуктивная кустистость 2,60 шт. на растение, масса 1000 зерен 46,5–46,8 г) и устойчивость к мучнистой росе и бурой ржавчине. На основании проведенных исследований сделаны предварительные выводы и получен селекционный материал для дальнейшей работы по созданию новых сортов озимой пшеницы.

Ключевые слова: озимая мягкая пшеница, исходный материал, гибридизация, гибридный, селекционный и контрольный питомники, отбор, продуктивность, зимостойкость, устойчивость к болезням

EVALUATION OF ADAPTIVE AND PRODUCTIVE CHARACTERISTICS OF PERSPECTIVE LINES OF WINTER SOFT WHEAT

Pavlov M.I., Orazeva I.V., Muravev A.A.

Belgorod State Agrarian University named after V.Ya. Gorin, Maisky, Belgorod region,
e-mail: i-orazeva@yandex.ru

Creation of varieties, plastic to external influences and adapted to various types of technologies is the perspective and popular direction of breeding work in recent years. An important step in this work is the selection of parental forms for obtaining new combinations of features in hybrids, study and analysis of hybrids generations F_{1-3} and lines in subsequent nurseries for identifying the most productive and adaptive lines that can become the basis of future varieties having given parameters. During the study, the selection material of winter wheat was studied in hybrid, breeding and control nurseries, intraspecific hybridization was carried out by crossing, hybrids and progeny were studied for economic and biological benefits, and selections were made from hybrid populations. Based on the results of the study of varieties in the collection nursery, parents were selected for hybridization in the current year. In the selection nursery on the basis of counts and complex evaluation, lines were selected: early maturing, resistant to brown leaf rust, and characterized by high productivity. In the control nursery varieties were identified that significantly exceed the crop yield standard, characterized by an earlier (for 4 days) maturation period, with high ear efficiency (productive ramification 2.60 pieces per plant, 1000 grains weight – 46.5–46.8 g) and resistance to powdery mildew and brown rust. Based on the studies, preliminary conclusions were drawn and a selection material was obtained for further work on the creation of new varieties of winter wheat.

Keywords: winter soft wheat, raw material, hybridization, hybrid, breeding and control nurseries, breeding, productivity, winter hardiness, resistance to diseases

Современному сельскохозяйственному производству требуются высокоурожайные сорта, пластичные к внешним воздействиям и адаптированные к различным агротехнологиям. В этой связи является актуальным создание сортов, сочетающих в себе высокую, генетически обусловленную продуктивность и качество с факторами, снижающими потерю урожая от негативного воздействия внешней среды [1, 2].

Данное исследование является частью селекционной программы по озимой пшенице, проводимой в Белгородском ГАУ.

Цель исследования

Целью данного этапа работы является создание перспективного селекционного материала озимой пшеницы, обладающего высокой продуктивностью, качеством зерна и адаптивным потенциалом.

Задачи исследования:

- провести внутривидовую гибридизацию путем скрещивания среди выделенных перспективных сортов и линий озимой пшеницы для создания исходного материала;
- изучить гибриды и потомства в селекционных питомниках и провести отборы из гибридных популяций;
- оценить адаптивный и продуктивный потенциал новых линий озимой пшеницы в селекционном и контрольном питомниках и дать их полную характеристику по комплексу хозяйственно полезных признаков и свойств.

Материалы и методы исследования

Создание селекционного материала на данном этапе работы ведется по общепринятой схеме селекционного процесса, включающей питомник гибридизации, гибридный питомник F_1 - F_3 , селекционный и контрольный питомники. Основной метод создания селекционного материала в опытах – внутривидовая гибридизация с последующим индивидуальным и массовым отбором в гибридных популяциях.

Технология возделывания озимой пшеницы в опытах (обработка почвы, сроки посева, нормы высева) – общепринятая для зоны и области [3]. В питомниках проводились: фенологические наблюдения, структурный анализ урожайности по методике Государственного сортоиспытания [4], оценка зимостойкости и учет болезней по общепринятым методикам (В.В. Пыльнев) [5].

В гибридных и селекционных питомниках делянки убирались вручную, с последующим анализом растений и обмолотом снопов, в контрольном питомнике – селекционным комбайном «Terrion 2000». Математическая обработка результатов исследования проводилась по Б.А. Доспехову [6].

Результаты исследования и их обсуждение

В текущем году в питомнике гибридизации в результате скрещиваний по 28 комбинациям получено 145 гибридных семян. Процент удаchi скрещиваний составил 5,17%.

Таблица 1

Характеристика гибридов F_1 (в среднем по комбинациям), их родительских форм и сорта-стандарта по высоте растений и продуктивности колоса в гибридном питомнике, 2017 г.

Сорт/линия	Признаки				
	высота растения, см	длина колоса, см	число колосков в колосе, шт.	число зерен в колосе, шт.	масса зерна с колоса, г
<i>Альмера (st)</i>	98	9,0	19,2	67,5	2,85
<i>Майская Д9</i>	105	10,0	20,8	78,1	4,50
<i>Шарада</i>	65	6,0	18,7	32,2	1,34
F_1 М. Д9×С-8	81*	9,5	19,3	80,7*	4,15*
F_1 М. Д9×Шарада	75*	8,5	17,5	68,4	3,41
<i>Белгородская 16</i>	107	9,5	18,4	59,2	3,21
F_1 Б16×С-1	95	9,0	18,2	60,3	3,04
<i>С-1</i>	94	9,0	20,8	75,4	3,28
<i>Галина</i>	112	10,5	22,2	69,0	3,83
F_1 С-1×Галина	87*	10,0	19,1	73,0	4,51*
<i>С-4</i>	85	9,0	18,0	68,8	3,40
F_1 С-4×М. Д9	98	10,0	19,4	79,09*	5,05*
F_1 С-4×Галина	100	8,5	18,0	80,1*	4,04
<i>С-8</i>	89	9,0	20,5	69,9	3,68
<i>Ариадна</i>	98	9,5	18,7	60,5	3,22
F_1 С-8×М. Д9	92	10,5	18,9	78,4*	4,27*
F_1 С-8×Б16	95	8,5	19,5	67,6	3,80
F_1 С-8×Ариадна	95	9,0	20,1	75,1	4,42*
НСР ₀₅	7,4	0,5	0,24	6,04	1,02

Гибридный питомник поколений F_1 , полученных от скрещиваний в 2016 г., был заложен 14 гибридными линиями. Гибриды первого поколения были проанализированы в среднем по комбинациям признаков высоты растения и продуктивности колоса (длине колоса, числу колосков в колосе, числу зерен с колоса и массе зерна с колоса) в сравнении с родительскими формами и сортом-стандартом Альмера (табл. 1).

Меньшей высотой стебля, по сравнению с сортом-стандартом, отличались гибриды, полученные с участием сортов Линия С-8, С-1 и Шарада. По числу зерен с колоса превышали стандарт гибридные комбинации Майская Д9×С-8, С-8×Майская Д9, С-4×Майская Д9, С-4×Галина. По сочетанию элементов продуктивности колоса у пяти гибридных комбинаций все показатели характеризовались большими, чем у стандарта, значениями.

В гибридных поколениях F_2 (потомство гибридов F_1 2016 г.) также велись полевые оценки, учеты и был проведен структурный анализ. Усредненные значения проанализированных растений приведены в табл. 2.

В ходе проведенных фенологических наблюдений была определена груп-

па спелости изученных линий: ранние (650, 653), поздние (639, 640, 642, 645, 657, 658), остальные линии относились к среднеспелым. Изученные линии обладали достаточно высокой зимостойкостью (4,9–5,0 балла), более низкорослыми были линии 639, 650 и 655, высокой продуктивностью колоса отличались линии 622, 628, 632, 645, 646 и 653.

Ввиду небольшого объема селекционного материала и для его сохранности браковки и отборы из линий гибридного питомника не проводились, они были высеяны целиком для получения поколений F_2 и F_3 в 2018 г. Проведенный анализ количественных признаков у гибридов F_1 и линий F_2 позволит в дальнейшем проследить характер их наследования в последующих поколениях.

Селекционный питомник включал линии, полученные в результате индивидуального и индивидуально-семейного отборов из различного селекционного материала гибридного питомника поколений F_3 – F_4 в объеме 583 линии. В результате отборов были выделены линии, которые высеяны в контрольном питомнике под урожай 2018 г.

Таблица 2

Характеристика гибридов F_2 по основным хозяйственно-биологическим признакам в гибридном питомнике (средние значения), 2017 г.

№ линии F_2 (2017 г.)	Происхождение	Признаки				
		Скороспелость	Зимостойкость, балл	Высота, см	Число зерен с колоса, шт.	Масса зерен с колоса, г
622	СП 281×Б12	средн.	4,9	101	67,1	3,01*
624	Б12×СП 281	средн.	4,9	103	65,2	2,88
627	СП 293×Б16	средн.	5,0	98	68,0	3,03
628	Б16×СП 293	средн.	5,0	100	70,2	3,13*
630	СП 307×Б12	средн.	4,7	100	68,6	2,95
632	Б12×СП 307	средн.	4,8	106	69,7	3,12*
635	СП 325×Б16	средн.	4,9	97	62,8	2,84
636	Б16×СП 325	средн.	5,0	101	67,5	2,90
639	Гром×Б12	поздн.	4,7	89	66,1	2,34
640	Гром×Б16	поздн.	4,6	91	58,7	2,21
642	Гром×М. Д9	поздн.	4,7	99	61,9	2,74
645	СП 383×М. Д9	поздн.	5,0	102	70,7	3,15*
646	М. Д9×СП 383	средн.	5,0	104	74,0	3,25*
648	Б16×Шарада	средн.	4,9	87	61,7	2,74
650	Шарада×Б16	ран.	4,7	81	56,1	1,94
653	М.Д9×Шарада	ран.	5,0	91	69,8	2,41*
655	Шарада×М.Д9	средн.	4,9	82	56,3	2,34
657	СП 383×Шарада	поздн.	4,7	95	57,2	2,35
658	Шарада×СП 383	поздн.	4,7	96	54,9	2,24
	Альмера (st)	средн.	4,8	98	67,4	2,85
	НСР ₀₅	—	—	9,7	1,27	0,89

Контрольный питомник 2017 г. был заложен лучшими линиями, отобранными из селекционного питомника 2016 г. путем массового отбора, имеющими различное происхождение. Урожайность номеров контрольного питомника колебалась от 4,28 до 7,98 т/га, максимальная урожайность при этом была у сортообразца № 107 (7,98 т/га), наименьшая – 4,28 т/га – у № 82.

Проведенная группировка по урожайности (табл. 3) показала, что наибольшую урожайность 6,70–7,98 ц/га формировали двенадцать сортообразцов.

Сортообразцы, входящие в третью группу по урожайности, и номера второй группы с наибольшей урожайностью были проанализированы по комплексу хозяйственно-

биологических признаков: по продолжительности вегетационного периода, высоте растений, продуктивной кустистости, массе 1000 зерен, устойчивости к абиотическим и биотическим факторам (табл. 4).

Наиболее низкорослыми были сортообразцы № 63, 92, 117. По продуктивной кустистости наибольшим показателем (2,60 шт. на растение) характеризовались номера 50, 76 и 107. Большую массу 1000 зерен формировали селекционные линии № 76 и 107. Таким образом, высокая урожайность выделившихся сортообразцов № 76 и 107 (79,0 и 79,8 ц/га соответственно) обеспечивалась за счет повышенных показателей продуктивной кустистости и массы 1000 зерен.

Таблица 3

Группировка селекционных номеров озимой пшеницы контрольного питомника по урожайности в 2017 г., т/га

Группа	Интервал урожайности, т/га	Сортообразцы КП
I	4,28–5,48	51, 53, 54, 57, 61, 62, 65, 67, 68, 71 (st), 73, 74, 78, 84, 90, 93(st), 94, 96, 97, 106, 111, 116
II	5,49–6,69	52, 55, 56, 58, 59, 60 (st), 64, 66, 69, 70, 72, 75, 77, 79, 80, 81, 85, 86, 87, 88, 89, 100, 101, 102, 103, 105, 108, 109, 110, 112
III	6,70–7,98	50, 63, 76, 82(st), 83, 91, 95, 98, 99, 104 (st), 107, 113 (st), 114, 115, 117

Таблица 4

Хозяйственно полезные признаки лучших селекционных номеров озимой пшеницы в контрольном питомнике в 2016–2017 гг.

Селекционный номер	Показатели				
	Урожайность, т/га	± к st	Высота растения, см	Продуктивная кустистость, шт./раст.	Масса 1000 зерен, г
50	7,10	+0,79	105	2,4*	44,2
58	6,54	+0,23	110	1,8	42,6
59	6,32	+0,01	98	1,8	42,1
63	7,00	+0,69	89*	1,9	43,1
76	7,90	+1,59	98	2,6*	46,5*
79	6,64	+0,33	97	1,7	42,8
83	7,80	+1,49	103	2,1	44,9
85	6,30	-0,01	98	1,7	42,3
91	7,28	+0,37	105	1,8	44,4
92	7,60	+1,29	85*	1,8	43,9
95	6,70	+0,39	107	1,5	42,8
98	6,80	+0,49	95	1,7	42,4
99	7,40	+1,09	100	2,1	44,0
100	6,60	+0,21	103	1,7	42,9
107	7,98	+1,67	110	2,5*	46,8*
114	7,66	+1,35	112	2,3	45,1
115	7,52	+1,21	95	2,3	43,7
117	6,98	+0,67	91*	1,9	43,1
st сред.	6,31	–	98	1,6	42,7
HCP ₀₅	–	0,65	–	0,1	2,4

Таблица 5

Биологические признаки лучших селекционных номеров озимой пшеницы
в контрольном питомнике в 2016–2017 гг.

Селекционный номер	Показатели		
	Продолжительность вегетационного периода, дней	Зимостойкость, балл	Интенсивность развития мучнистой росы, %
50	141	5,0	5,6
58	145	4,9	8,9
59	145	4,8	4,2
63	145	5,0	3,3*
76	143	5,0	3,6
79	143	4,9	5,1
83	145	5,0	4,8
85	143	4,8	5,3
91	141	5,0	6,1
92	145	5,0	4,9
95	145	5,0	2,1*
98	141	5,0	6,6
99	141	5,0	2,8*
100	145	5,0	5,6
107	141	5,0	5,9
114	143	5,0	7,1
115	141	5,0	8,3
117	143	5,0	7,1
st cред.	145	4,8	7,8
HCP ₀₅	—	—	1,05

Оценка биологических признаков (табл. 5) показала, что шесть селекционных номеров характеризовались более ранним по сравнению со стандартом (на 4 дня) сроком созревания. Глазомерная балльная оценка состояния растений после возобновления вегетации весной показала, что изучаемые сортообразцы проявляли достаточно высокую устойчивость к условиям перезимовки (5,0–4,8 балла).

Оценка селекционных линий на устойчивость к болезням показала, что в исследуемом году на естественном фоне интенсивность развития мучнистой росы была очень слабой. При этом в меньшей степени поражение мучнистой росой наблюдалось у номеров № 63, 95, 99, в большей степени – у № 58 и 115. Выделенные по хозяйственно-биологическим признакам селекционные номера высеяны в предварительном сортоиспытании под урожай 2018 г. для дальнейшего изучения.

Заключение

Таким образом, в ходе исследований в текущем году был изучен новый селекционный материал озимой пшеницы в гибридном, селекционном и контрольном пи-

томниках. Была проведена внутривидовая гибридизация путем скрещивания, были проанализированы гибриды и потомства по хозяйственно полезным признакам, проведены отборы из гибридных популяций. Дана комплексная оценка сортообразцам в контрольном питомнике для дальнейшей работы в селекционном процессе.

На основании проведенных исследований в 2017 г. сделаны предварительные выводы и получен селекционный материал для дальнейшей работы по созданию новых сортов озимой пшеницы.

Список литературы

- Оразаева И.В. Создание нового селекционного материала озимой мягкой пшеницы с высоким адаптивным и продуктивным потенциалом / И.В. Оразаева, М.И. Павлов // Инновации в АПК: проблемы и перспективы. – 2016. – № 4. – С. 98–105.
- Оразаева И.В. Оценка сортов и линий озимой пшеницы в коллекционном питомнике БелГАУ/ И.В. Оразаева, М.И. Павлов, А.А. Муравьев, И.В. Кулишова // Селекция растений: прошлое, настоящее и будущее: сборник материалов I Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, посвященной 140-летию НИУ «БелГУ» и 100-летию со дня рождения селекционера, ученого и педагога, доктора сельскохозяйственных наук, профессора З.И. Щелоковой (г. Белгород, 24–26 ноября 2016 г.) / под общ. ред. Е.В. Думачевой. – Белгород: ИД «Белгород» НИУ БелГУ, 2017. – 200 с.
- Организационно-технологические нормативы возделывания сельскохозяйственных культур (на примере

Белгородской области) / А.В. Турьянский, В.И. Мельников, Л.А. Селезнева, Н.Р. Асыка, В.Ф. Ужик и др. – Белгород: Изд. Константа, 2014. – 462 с.

4. Методика государственного сортоиспытания полевых культур. – М., 1987. – С. 5–23.

5. Пыльнев В.В. Практикум по селекции и семеноводству полевых культур: учебное пособие / Под ред. профессора Пыльнева В.В. – СПб.: издательство «Лань», 2014. – 448 с.

6. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). – 5-е изд. доп. и перераб. – М.: Агропромиздат, 1985. – С. 271–356.

References

1. Orazava I.V. Sozdanie novogo selekcionnogo materiala ozimoy m'jagkoj pshenicy s vysokim adaptivnym i produktivnym potencialom / I.V. Orazava, M.I. Pavlov // *Innovacii v APK: problemy i perspektivy*. 2016. no. 4. pp. 98–105.

2. Orazava I.V. Ocenka sortov i linij ozimoy pshenicy v kollekcionnom pitomnike BelGAU/ I.V. Orazava, M.I. Pav-

lov, A.A. Murav'ov, I.V. Kulishova // *Selekcija rastenij: proshloe, nastojashhee i budushhee: sbornik materialov I Vserossijskoj nauchno-prakticheskoj konferencii s mezhdunarodnym uchastiem, posvjashhennoj 140-letiju NIU «BelGU» i 100-letiju so dnja rozhdenija selekcionera, uchenogo i pedagoga, doktora selskohoz'jajstvennyh nauk, professora Z.I. Shhelokovoj (g. Belgorod, 24–26 nojabrja 2016 g.)* / pod obshh. red. E.V. Dumachevoj. Belgorod: ID «Belgorod» NIU BelGU, 2017. 200 p.

3. Organizacionno-tehnologicheskie normativy vozdeľyvanija selskohoz'jajstvennyh kultur (na primere Belgorodskoj oblasti) / A.V. Turjanskij, V.I. Melnikov, L.A. Selezneva, N.R. Asyka, V.F. Uzhik i dr. Belgorod: Izd. Konstanta, 2014. 462 p.

4. Metodika gosudarstvennogo sortoispytaniya polevyh kultur. M., 1987. pp. 5–23.

5. Pylnev V.V. Praktikum po selekcii i semenovodstvu polevyh kultur: uchebnoe posobie / Pod red. professora Pylneva V.V. SPb.: izdatelstvo «Lan», 2014. 448 p.

6. Dosp'ehov B.A. Metodika polevogo opyta (s osnovami statisticheskoj obrabotki re-zultatov issledovanij). 5-e izd. dop. i pererab. M.: Agropromizdat, 1985. pp. 271–356.

УДК [633.13+633.16]:631.524.7(571.51)

СОДЕРЖАНИЕ БЕЛКОВ И УГЛЕВОДОВ В ЗЕРНЕ ЯЧМЕНИ И ОВСА СИБИРСКОЙ СЕЛЕКЦИИ

¹Полонский В.И., ²Сумина А.В., ³Шалдаева Т.М.

¹ФГБОУ ВО «Красноярский государственный аграрный университет», Красноярск, e-mail: vadim.polonskiy@mail.ru;

²ФГБОУ ВО «Хакасский государственный университет им. Н.Ф. Катанова», Абакан;

³Центральный сибирский ботанический сад, Новосибирск

К числу основных зерновых культур, возделываемых на сельскохозяйственных землях Юга Сибири, относятся ячмень и овес, на совокупную долю которых приходится более половины посевных площадей. На сегодняшний день актуальным вопросом для сельскохозяйственной науки является изучение сортов на предмет стабильности заданных показателей качества зерна. К таким показателям, наряду с массой 1000 зерен, пленчатостью, можно отнести и химический состав зерна, а именно содержание в нем белков и углеводов. В результате исследования изучено содержание белков и углеводов (сахаров) в зерне пяти пленчатых и голозерных сортов ярового ячменя и овса сибирской селекции. Определено, что у исследуемых образцов ячменя содержание белков имеет значение в диапазоне от 10,4 до 18,6%, у овса – от 8,9 до 20,6%. Содержание белка в зерне овса за исследуемый период по всем пунктам изучения характеризовалось более низкими значениями, в сравнении с ячменем. При изучении образцов по содержанию углеводов (сахаров) было установлено, что их накопление в зерне зависит от культуры, сорта, а также факторов среды. Коэффициент вариации накопления сахаров в зерне изучаемых культур находился в пределах 10,7–29,9%. По содержанию сахаров более высокие значения принадлежат образцам ячменя (3,9–7,8%), для овса данный параметр имеет значения от 3,2 до 7,6%. На основании полученных данных сделан вывод, что формирование вышеперечисленных параметров в большей степени зависит от факторов окружающей среды, в меньшей от сорта.

Ключевые слова: зерно, овес, ячмень, белок, углеводы, сахар, генотип, Красноярский край, Республика Хакасия

PROTEINS AND CARBOHYDRATES CONTENT IN BARLEY AND OATS SEEDS AT SIBERIAN BREEDING

¹Polonskiy V.I., ²Sumina A.V., ³Shaldaeva T.M.

¹Krasnoyarsk State Agricultural University, Krasnoyarsk, e-mail: vadim.polonskiy@mail.ru;

²Khakassia State University named after N.F. Katanov, Abakan;

³Central Siberian Botanical Garden, Novosibirsk

Among the main cereals cultivated at the agricultural lands of the South of Siberia are barley and oats, the cumulative share of which accounts for more than half of the acreage. Today topical issue for agricultural science is the study of varieties for the stability of specified grain quality parameters. Along with the mass of 1000 grains and filmness, one can also include the chemical composition of grain, namely, content of proteins and carbohydrates in it. As a result of study, the content of proteins and carbohydrates (sugars) in grain of five film and huskless grades of summer barley and oats of the Siberian breeding was studied. It was determined that the protein content of the barley samples in question ranged from 10.4 to 18.6%, in oat – from 8.9 to 20.6%. The protein content in the grain of oats during the period under study was characterized by lower values for all points of study, in comparison with barley. When studying the samples for the content of carbohydrates (sugars), it was found that their accumulation in grain depends on the crop, variety, and environmental factors. The index of variation of sugars accumulation in grain of crops under study was within 10.7–29.9%. According to the sugar content, higher values belong to the samples of barley (3.9–7.8%), for oat this parameter has values from 3.2 to 7.6%. Based on the data obtained, it was concluded that the formation of the above-listed parameters, in a larger proportion, depends on environmental factors, less on the variety.

Keywords: grain, oats, barley, protein, carbohydrates, sugar, genotype, Krasnoyarsk Krai, Republic of Khakassia

Белки и углеводы, содержащиеся в растениях, служат основой питания человека и сельскохозяйственных животных [1, 2]. При этом более половины потребности в данных веществах удовлетворяются именно с помощью зерна: при употреблении в пищу в составе продуктов или через скормливание его животным для производства мяса. Поэтому их содержание является одной из важнейших характеристик его ценности [1–3].

Как известно, белки – обязательные вещества, входящие в состав живой

клетки, образующие основу протоплазмы, которые так же, как и липиды, участвуют в создании структуры клеточных мембран и органелл. Именно содержание белков лежит в основе иммунитета организма и способности защищать свою целостность и биологическую индивидуальность. Кроме того, количественные и качественные характеристики белков определяют пригодность зерна в хлебопекарном и макаронном производстве. Количество белков и их аминокислотный состав имеют важнейшее значение для

биологической, пищевой и кормовой ценности любого продукта [4].

Цель данной работы заключалась в изучении содержания белков и сахаров в ячменном и овсяном зерне, выращенном в котловинных условиях Сибири.

Материалы и методы исследования

Объектами изучения были выбраны пять сортов ярового ячменя (*Hordeum vulgare* L.) и овса (*Avenasativa* L.). Из ячменей это сорта: Ача, Биом, Буян, Красноярский 91 и Омский голозерный 1. Первые три образца относятся к разновидности нутанс (*var. nutans*), четвертый к паллидум (*var. pallidum*), пятый к нудум (*var. nudum*) (рис. 1). У овса анализировались сорта Аргумент, Голец, Саян, Сельма, Тубинский. Голец относится к разновидности инермис

(*inermis Kõrn.*), Саян к ауреа (*aurea Kõrn.*), остальные к мутика (*mutica Al.*) (рис. 2). Все образцы, за исключением Омский голозерный 1 и Голец, пленчатые.

Культуры выращивались в течение двух вегетационных периодов в 2015–2016 гг. на государственных сортоиспытательных участках, два из которых расположены на территории Республики Хакасия (Бейский и Ширинский), один на территории Красноярского края (Краснотуранский). Семенной материал был любезно предоставлен сотрудниками учреждений.

Погодные условия различались как по годам, так и по пунктам изучения. Наряду с этим имелись и общие черты в количестве осадков и режимах среднесуточных температур за исследуемый период (рис. 3–6).

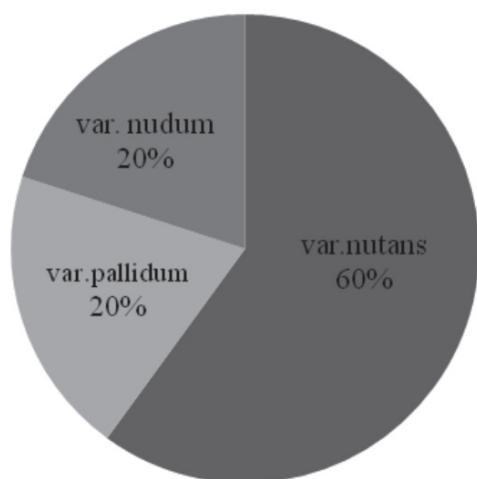


Рис. 1. Распределение исследуемых образцов ячменя по происхождению

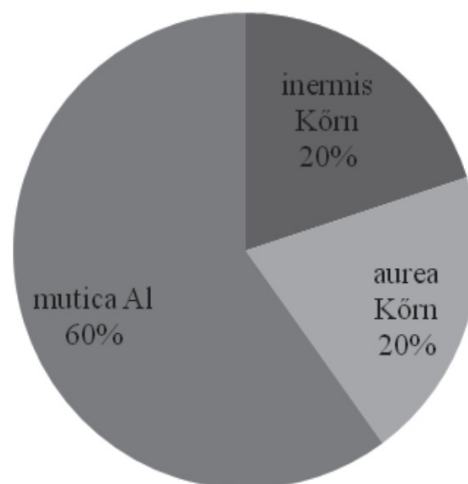


Рис. 2. Распределение исследуемых образцов овса по происхождению

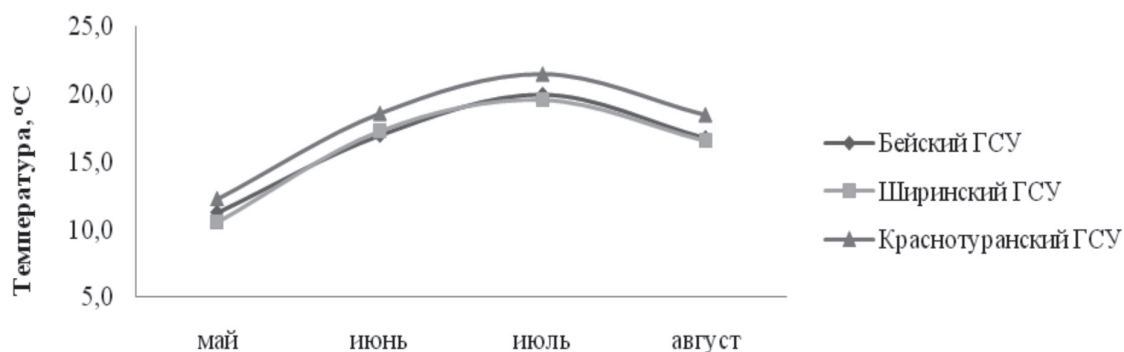


Рис. 3. Среднемесячная температура воздуха по пунктам исследования в 2015 г. (°C)

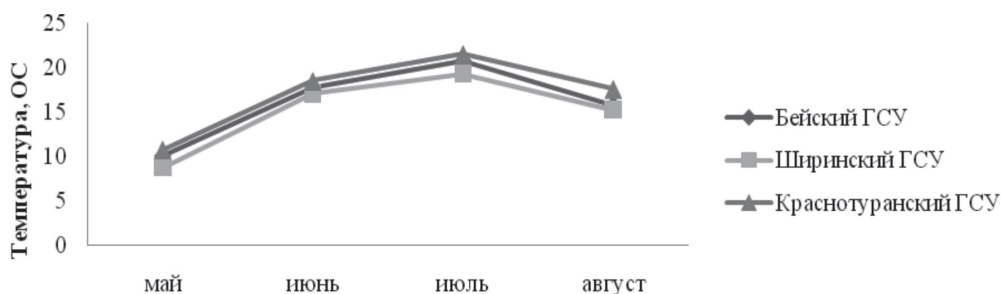


Рис. 4. Среднемесячная температура воздуха по пунктам исследования в 2016 г. (°C)

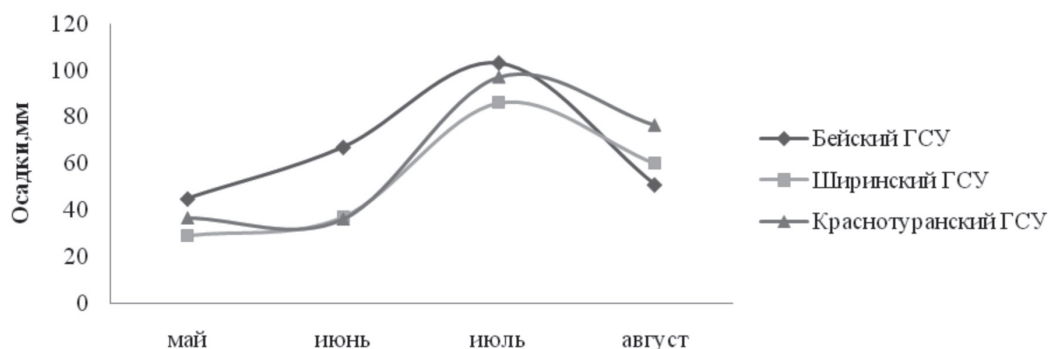


Рис. 5. Количество выпавших осадков в 2015 г. по пунктам исследования (мм)

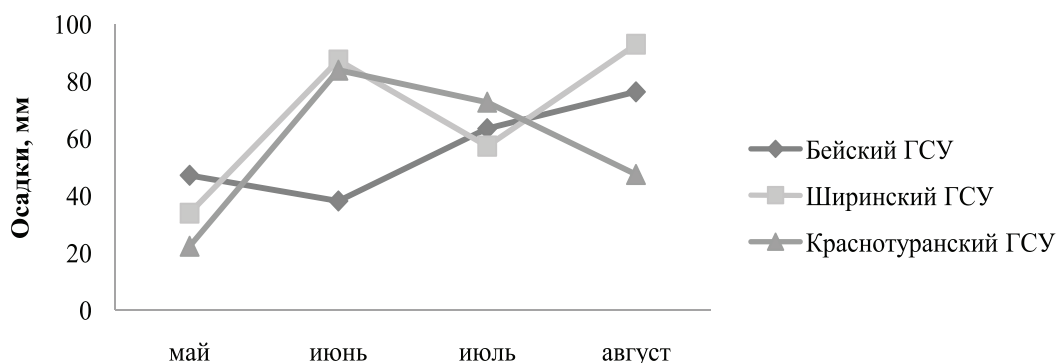


Рис. 6. Количество выпавших осадков в 2016 г. по пунктам исследования (мм)

Можно наблюдать, что показатели средней температуры воздуха за вегетационные периоды 2015–2016 гг. на территории Краснотуранского ГСУ были на несколько градусов выше, чем в других пунктах исследования. В Бейском и Ширинском районах вышеуказанный параметр имел практически равные значения, за исключением мая 2016 г. В данный месяц средняя температура для Бейского ГСУ составила 10,1 °C, а для Ширинского ГСУ – 8,8 °C.

Осадки за исследуемый период по годам не имели общих тенденций, особен-

но в 2016 г. Количество выпавших дождей в мае 2015 г. равномерно распределилось между II и III декадами по всем пунктам изучения. В Бейском и Ширинском ГСУ более половины июньских месячных осадков пришлось на первую декаду, а в Краснотуранском – вторую.

Самым увлажненным месяцем во всех пунктах исследования был июль, при этом наибольшее количество осадков зарегистрировано на территории Бейского ГСУ. В августе основная часть осадков пришла на II и III декаду.

Лабораторные исследования по определению белка и сахаров были проведены на базе ФГБУ ГСАС «Хакасская» по официально утвержденным методикам: ГОСТ 26176-91 «Методы определения растворимых и легкогидролизуемых углеводов», ГОСТ 10846-91 «Зерно и продукты его переработки. Метод определения белка».

Как было отмечено выше, содержание белка – важнейший показатель технологической и пищевой ценности зерна. Согласно данным О.В. Крупновой [5], содержание белковых веществ в зерне ячменя колеблется от 7,7 до 21,8%, в зерне овса оно находится в интервале от 9,6 до 21%. При этом абсолютное содержание азота в крупных и мелких зернах в пределах колоса или отдельного ряда в колосе остается примерно одинаковым. В процентном отношении содержание белка в крупном зерне всегда меньше по сравнению с мелким.

Из исследуемых образцов ячменя наибольшее значение по содержанию белка отмечается у голозерного образца Омский голозерный 1 (рис. 7). Данный факт зарегистрирован по всем пунктам и годам исследования. Из пленчатых сортов высокие значения установлены у Сорта Буян, особенно для участка, расположенного в Краснотуранском районе, что численно выражается следующим образом: 15,8% – 2015 г. и 14,9% – 2016 г. Относительно невысокое содержание белка

было выявлено у образца Красноярский 91. Так, для Бейского ГСУ значение данного показателя за исследуемый период не превышало 12%.

Средние значения содержания белка по пунктам и годам исследования в зерне пленчатых образцов ячменя можно представить следующим образом: Ача – 13,4%, Биом – 13,9%, Буян – 14,4%, Красноярский 91 – 12,6%.

Содержание белка в зерне овса за исследуемый период характеризовалось более низкими значениями (рис. 8). Исключение составил голозерный образец Голец, средние значения белка у которого по годам исследования имели следующие величины: для Бейского ГСУ – 16,6%; для Краснотуранского ГСУ – 16,9%; для Ширинского ГСУ – 16,3%. К примеру, у голозерного ячменя аналогичные показатели имели более низкие значения: 15,1%, 16,8% и 15,8% соответственно. Средние уровни содержания белка по пунктам и годам исследования в зерне пленчатых образцов овса не имели существенных колебаний: Аргумент – 11,1%, Саян – 10,4%, Сельма – 11,2%, Тубинский – 10,9%.

За исследуемые вегетационные периоды (2015–2016 гг.) наибольшим содержанием белка в зерне ячменя характеризовались растения, выращенные на территории Краснотуранского района, наименьшими – на Бейском ГСУ (табл. 1). При этом для первого участка коэффициент вариации составил 11%, для второго – 19,05%.

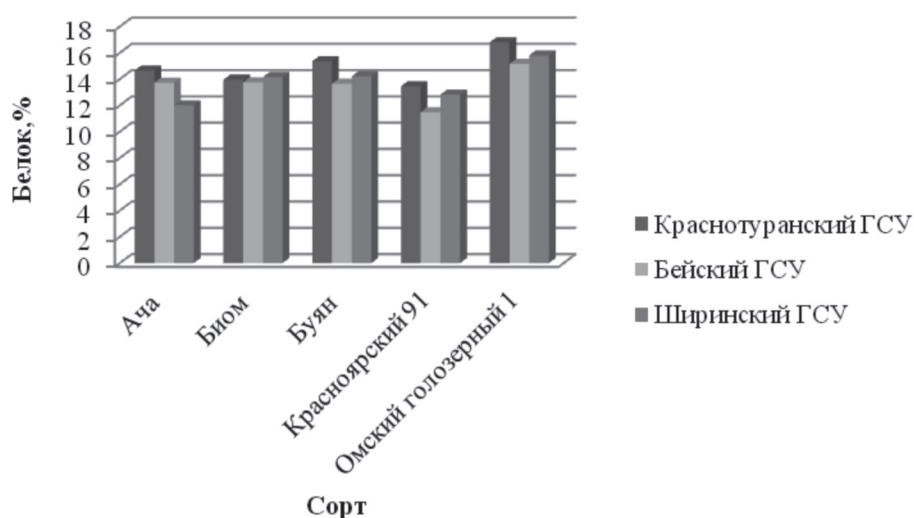


Рис. 7. Средние показатели содержания белка в зерне ячменя, выращенного в 2015–2016 гг. в трех географических точках

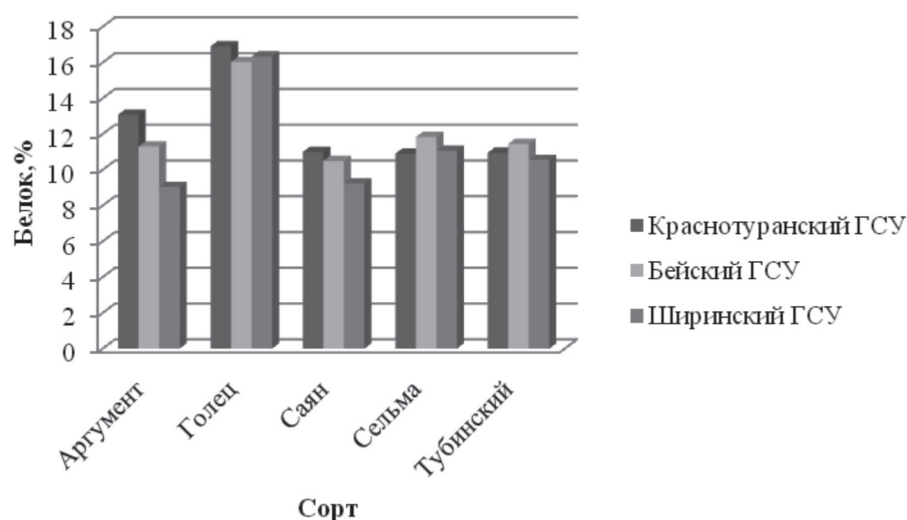


Рис. 8 Средние показатели содержания белка в зерне овса, выращенного в 2015–2016 гг. в трех географических точках

Таблица 1

Содержание белка в зерне ячменя и овса, выращенного в различных географических условиях в 2015–2016 гг.

	Пункт выращивания		
	Краснотуранский ГСУ	Бейский ГСУ	Ширинский ГСУ
Овес			
Среднее	12,6	12,2	10,9
Lim	10,9–20,6	11,4–15,2	8,9–18,6
V, %	25,64	9,84	27,2
Ячмень			
Среднее	14,6	13,6	13,8
Lim	13,1–16,9	10,4–18,6	11,4–15,9
V, %	11,0	19,05	8,4

Образцы овса, выращенные в Ширинском районе, имели более низкие средние значения, что численно соответствует 10,9%. Вместе с тем сорта ячменя с данного участка имели наибольший коэффициент вариации по данному параметру (27,2%). Таким образом, ячмень при возделывании в исследуемых условиях характеризовался большим накоплением белков и относительно высокой стабильностью по способности накопления белков в сравнении с овсом, выращенным в аналогичных условиях.

Несмотря на то, что углеводы очень широко распространены в природе, животные продукты содержат их в небольшом количестве, поэтому основным источником углеводов для человека служит растительная пища. Углеводы составляют три четверти сухой массы растений, они содержатся

в зерновых, фруктах, овощах. В растениях углеводы накапливаются как запасные вещества или играют роль опорного материала. В состав зерен и семян входят различные углеводы, прежде всего крахмал, клетчатка и сахара. Они являются поставщиками энергии для живых организмов, играют важную роль в технологических процессах переработки зерна. Например, сахара необходимы для хлебопечения, они являются питательной средой для дрожжей в тесте [5].

При изучении образцов ячменя и овса по содержанию углеводов (сахаров), было установлено, что их накопление в зерне в зависимости от культуры подвержено изменчивости. Коэффициент вариации накопления сахаров в зерне изучаемых культур находился в пределах 10,7–29,9% (табл. 2).

Таблица 2

Содержание углеводов (сахаров) в зерне ячменя и овса, выращенного в различных географических условиях в 2015–2016 гг.

	Пункт выращивания		
	Краснотуранский ГСУ	Бейский ГСУ	Ширинский ГСУ
Овес			
Среднее	4,2	3,6	4,06
Lim	3,2–7,6	3,2–4,7	3,4–6,0
V, %	29,9	10,7	17,9
Ячмень			
Среднее	4,9	5,2	5,3
Lim	3,9–6,0	4,3–6,4	4,3–7,8
V, %	12,02	12,7	12,2

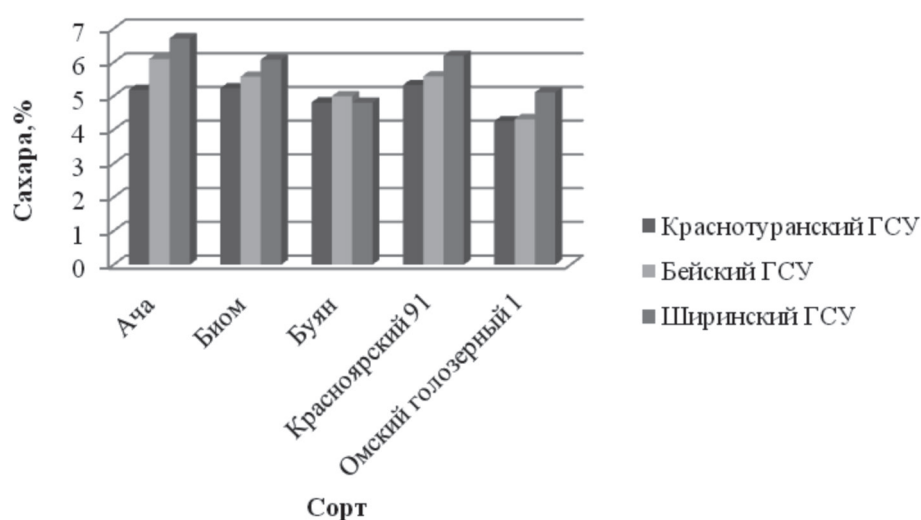


Рис. 9. Средние показатели содержания сахаров в зерне ячменя, выращенного в 2015–2016 гг. в трех географических точках

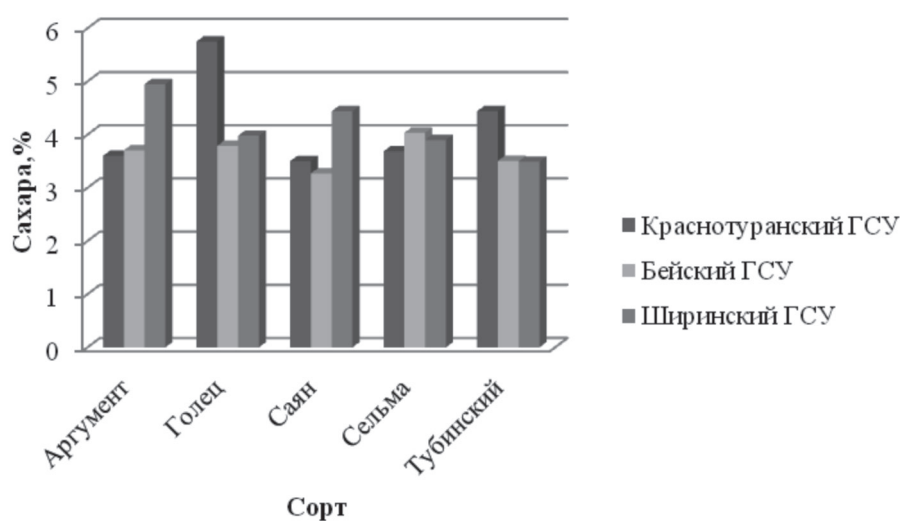


Рис. 10. Средние показатели содержания сахаров в зерне овса, выращенного в 2015–2016 гг. в трех географических точках

Для образцов ячменя наибольшие значения данного показателя были зарегистрированы у пленчатого образца Ача (среднее значение по годам и пунктам составило 6%), а наименьшие – у Омского голозерного 1 (среднее значение – 4,6%) (рис. 9).

В зерне овса содержание сахаров имело обратную картину. Максимальные величины были отмечены у голозерного образца Голец (5,8%), выращенного на Краснотуранском ГСУ, минимальные значения – у пленчатого сорта Саян (3,3%) с Бейского ГСУ (рис. 10). Можно отметить, что содержание сахаров в зерне овса имело более низкие значения по всем образцам и всем пунктам исследования по сравнению с образцами ячменя. Кроме того, рассматриваемый показатель у овса характеризовался более высоким коэффициентом вариации по всем пунктам исследования.

Как известно, чем более приспособлен сорт к условиям внешней среды, тем более стабилен химический состав его зерна. Результаты исследований показали, что большая часть сортов овса и ячменя как по пунктам, так и по годам исследования характеризуется различным содержанием белков и сахаров.

Выводы

1. Исследуемые образцы ячменя по всем точкам выращивания имели более высокое содержание белка в зерне, в сравнении с овсом. Исключение составляет сорт овса Голец, у которого содержание белка составляет 16,9%.

2. Содержание сахаров в зерне имело схожую тенденцию: более высокое значение отмечено у образцов ячменя.

3. Коэффициент вариации изученных параметров для ячменя имел более низкие значения, в сравнении с овсом.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ и Министерства образования Республики Хакасия (грант № 6-44-190763).

Список литературы

1. Yu W., Tan X., Zou W. and etc. Relationships between protein content, starch molecular structure and grain size in barley / W. Yu, X. Tan, W. Zou and etc. // Carbohydrate Polymers. – 2017. – № 155. – P. 271–279.
2. Lin C., Chen X., Jian L. and etc. Determination of grain protein content by near-infrared spectrometry and multivariate calibration in barley / C. Lin, X. Chen, L. Jian and etc. // Food Chemistry. – 2014. – № 62. – P. 10–15.
3. Мясников А.В. Товароведение зерна и продуктов его переработки / А.В. Мясников, Ю.С. Ралль, Л.А. Трисвятский, И.С. Шатилов; под ред. Л.А. Трисвятского. – 3-е изд. перераб. и доп. – М.: Колос, 1978. – 392 с.
4. Янова М.А. Формирование технологических свойств зерна ячменя и овса в условиях Красноярского края / М.А. Янова, О.П. Щербак, Т.И. Иванова // Вестник КрасГАУ. – 2011. – № 12. – С. 234–237.
5. Крупнова О.В. О взаимосвязи урожайности с содержанием белка в зерне у зерновых и бобовых культур / О.В. Крупнова // Сельскохозяйственная биология. – 2009. – № 3. – С. 13–23.

References

1. Yu W., Tan X., Zou W. and etc. Relationships between protein content, starch molecular structure and grain size in barley / W. Yu, X. Tan, W. Zou and etc. // Carbohydrate Polymers. 2017. no. 155. pp. 271–279.
2. Lin C., Chen X., Jian L. and etc. Determination of grain protein content by near-infrared spectrometry and multivariate calibration in barley / C. Lin, X. Chen, L. Jian and etc. // Food Chemistry. 2014. no. 62. pp. 10–15.
3. Mjasnikov A.V. Tovarovedenie zerna i produktov ego pererabotki / A.V. Mjasnikov, Ju.S. Rall, L.A. Trisvjatskij, I.S. Shatilov; pod red. L.A. Trisvjatskogo. 3-e izd. pererab. i dop. M.: Kolos, 1978. 392 p.
4. Janova M.A. Formirovanie tehnologicheskikh svojstv zerna jachmenja i ovsy v uslovijah Krasnojarskogo kraja / M.A. Janova, O.P. Shherbak, T.I. Ivanova // Vestnik KrasGAU. 2011. no. 12. pp. 234–237.
5. Krupnova O.V. O vzaimosvjazi urozhajnosti s soderzhaniem belka v zerne u zernovyh i bobovyh kultur / O.V. Krupnova // Selskhozjajstvennaja biologija. 2009. no. 3. pp. 13–23.

УДК 631.532:635.9:582.846.2

**СПОСОБЫ РАЗМНОЖЕНИЯ ПРЕДСТАВИТЕЛЕЙ РОДА BEGONIA L.
В ПРОЛОНГИРОВАННОЙ КУЛЬТУРЕ****Фершалова Т.Д., Набиева А.Ю.***ФГБУН «Центральный сибирский ботанический сад СО РАН», Новосибирск,
e-mail: fershalova@ngs.ru*

Изучение адаптационного потенциала четырёх таксонов из рода *Begonia* (*B. rockii* Irmscher, *B. sutherlandii* J.D. Hooker, *B. variegata* Y.M. Shui & W.H. Chen, *B. 'Gloire de Lorraine'*) способствовало выделению факторов, влияющих на длительное сохранение коллекции бегоний *in vitro* и *ex vivo* в Центральном сибирском ботаническом саду (ЦСБС). Выявлена взаимосвязь экологических условий произрастания данных бегоний в природе с ритмами роста в условиях оранжерей. Составлены феноспектры, отражающие фазы развития растений, что позволяет организовать необходимые агротехнические мероприятия для бегоний в течение года. Проанализирована продуктивность размножения изученных бегоний различными способами. Изучено влияние различных концентраций экзогенных регуляторов роста и состава питательных сред на регенерационную способность флоральных эксплантов 4 таксонов бегоний для моделирования их пролиферации в культуре *in vitro*. Предложен состав модифицированной среды N₆, включавшей цитокинины TDZ и БАП в концентрациях 0,5 мг/л и 1,0 мг/л соответственно, что позволило получить путем прямого органогенеза многочисленные регенеранты из фрагментов цветков бегоний, относящихся к разным генотипам. Жизнеспособность микрорастений была сохранена при культивировании в коллекции *in vitro* благодаря применению приема чередования питательных сред с различным соотношением макроэлементов и регуляторов роста. Подобраны субстраты для выращивания бегоний в условиях оранжерей и для адаптации микроклонов при переводе их в условия *ex vitro*. Предложенные способы длительного поддержания коллекции представителей рода *Begonia* предполагают сочетание стандартных методик и микроклонального размножения, при применении которых происходит реювенилизация растительного материала.

Ключевые слова: *Begonia*, интродукция, экологическая адаптация, флоральные экспланты, культура *in vitro***WAYS OF PROPAGATION OF GENUS BEGONIA L.
REPRESENTATIVES IN PROLONGED CULTURE****Fershalova T.D., Nabieva A.Yu.***Central Siberian Botanical Garden SB RAS, Novosibirsk, e-mail: fershalova@ngs.ru*

Study of adaptive potential of 4 taxa of *Begonia* genus (*B. rockii* Irmscher, *B. sutherlandii* J.D. Hooker, *B. variegata* Y.M. Shui & W.H. Chen, *B. 'Gloire de Lorraine'*) helped to distinguish the factors affecting the prolonged maintenance of *Begonia* collection *in vitro* and *ex vivo* in the Central Siberian Botanical Garden (CSBG). A correlation of natural ecological conditions of these begonias growing with rhythms of growth under the greenhouses conditions was revealed. The phenospectra representing the phases of the begonias development were made. This allowed to organize the necessary agrotechnical arrangements for begonias during the year. The productivity of different ways of begonias propagation was analyzed. Influence of various concentration of exogenous growth regulators as well as composition of nutrient mediums on regeneration ability of floral explants of 4 taxa of begonias for modeling of their proliferation in culture *in vitro* are studied. A modified medium N₆ was proposed. Its composition includes cytokinins TDZ and BAP in concentrations 0,5 mg/l and 1,0 mg/l, respectively. This allowed to obtain numerous regenerants initiated from *Begonia* flower fragments relating to different genotypes via direct organogenesis. The repeated exposure of *Begonia* plantlets to a sequence of media, containing different balances of macroelements and growth regulators provided the conservation of its viability in the collection *in vitro*. Substrates for growing begonias under greenhouse condition and for adaptation of microclones *ex vitro* were selected. The proposed methods of long-term maintenance of collection of *Begonia* genus representatives involve a combination of conventional propagation procedures and tissue culture technique, which allows rejuvenilization of plant material.

Keywords: *Begonia*, introduction, ecological adaptation, floral explants, culture *in vitro*

Род *Begonia* L. является одним из крупнейших родов цветковых растений, в него входят около 1500 видов и тысячи декоративных гибридов и сортов [1]. Представители рода составляют одну из крупнейших систематических коллекций в фондовых оранжереях Центрального Сибирского ботанического сада СО РАН (около 300 таксонов), где проводится их углубленное изучение по различным научным аспектам. Нами исследуются биологические особенности представителей рода *Begonia*

в оранжерейной культуре и интерьерах, их адаптивные возможности, лекарственные и фитонцидные свойства [2]. Факт обнаружения значительных количеств антоцианов, аскорбиновой кислоты, фенольных соединений в надземной части исследованных видов в ЦСБС позволяет рассматривать их в качестве источников средств лечебного и профилактического назначения, а также для использования в медицинском и экологическом фитодизайне [3]. В рамках научной работы, направленной

на расширение коллекционного фонда растений из рода *Begonia*, нами разрабатывались способы размножения видов и их длительного поддержания *ex vivo* и *in vitro*. Ранее сообщалось о возможности введения бегоний в культуру *in vitro* с использованием разных типов эксплантов [4, 5]. Отмечено, что регенерационная способность более высокая у эксплантов генеративной сферы [4]. Регенерация происходила путем адвентивного побегообразования либо в каллусной культуре.

Цель работы – усовершенствовать методику размножения бегоний *in vitro* и *ex vivo* и изучить факторы, влияющие на длительное поддержание в коллекции данных таксонов.

Материалы и методы исследования

Объектами исследования являлись поликарпические бегонии, имеющие различные жизненные формы и феноритмологические особенности развития, обусловленные экологическими условиями мест их естественного произрастания.

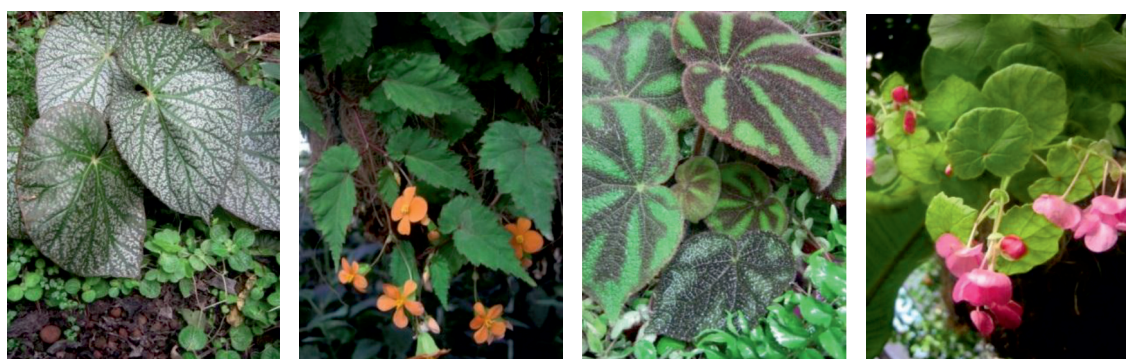
B. rockii из секции *Platycentrum*. Родина – Юго-восточная Азия. Корневищное растение. Ризомы удлинённые, приподнимающиеся над почвой на 10–12 см. Листья треугольно-яйцевидные, 2х8 см, темно-зеленые с белыми пятнами между главными жилками (рис. 1, а). Цветки однополые, белые, 4–5 см в диаметре. Цветет осенью. Произрастает под покровом леса, в ущельях, среди скал на высоте 700–800 м над уровнем моря.

B. sutherlandii из секции *Augustia*. Родина – Южная Африка. Травянистое, клубне-

вое растение, с ярко выраженным периодом покоя, во время которого надземная часть отмирает. Листья асимметричные, зубчатые, зеленые. Размер листовой пластинки: 2х3 см. Цветки однополые, оранжевые, 2–3 см в диаметре. Цветёт летом (рис. 1, б). Произрастает как петрофит на влажных скалах, у водопадов или как эпифит на деревьях на высоте 900–1800 м над уровнем моря.

B. variegata из секции *Coelocentrum*. Родина – Вьетнам. Корневищное травянистое растение, побеги на 1/3 погружены в почву, апикальная часть побега приподнимается над землёй на 3–6 см. Листья размером 10х12 см, тёмно-зелёные, широкоовальные с тёмно-коричневыми полосами вдоль основных жилок, морщинистые (рис. 1, в). Цветки однополые, светло-зелёные, до 1 см в диаметре. Цветёт летом. Растёт на скалистых известняковых склонах или в пещерах, под покровом леса, на высоте 100–300 м над уровнем моря.

B. 'Gloire de Lorraine' является гибридом, полученным в результате скрещивания *Begonia socotrana* J.D. Hooker с *Begonia dregei* Otto end A. Dietrich. В природных условиях эти два вида растут в сезонном климате. *B. 'Gloire de Lorraine'* унаследовала некоторые черты от каждой из родительских форм: розовые цветки, зимнее время цветения – явные признаки *B. socotrana*, продолжительность цветения унаследована от *B. dregei*. В исследование сорт был включен благодаря обильному и продолжительному цветению в зимнее время, что является редким явлением в условиях закрытого грунта Западной Сибири (рис. 1, г).



а

б

в

г

Рис. 1. Бегонии из коллекции ЦСБС: а – *B. rockii*, б – *B. sutherlandii*, в – *B. variegata*, г – *B. 'Gloire de Lorraine'*

В качестве материала для введения в культуру *in vitro* были использованы фрагменты цветков данных видов бегоний, находящиеся в соцветии в закрытом состоянии. Перед стерилизацией экспланты промывали проточной водой (15 мин), затем 1 % раствором фундазола в смеси с 3 % раствором жидкого мыла (30 мин). Экспланты помещали на модифицированную среду N_6 (mN_6), содержащую 40 мг/л аденин сульфат, 3 % сахарозу, 0,6 % агар и регуляторы роста (варианты 2, 3, 4), а также на среду mN_6 без регуляторов роста (вариант 1). Для роста и мультпликации побегов микроклоны переносили на среду МС, содержащую 0,2 мг/л БАП. Для укоренения была использована среда Кнудсена без регуляторов роста. Время одного пассажа составляло 3 недели. Индукцию и культивирование эксплантов проводили при температуре $24 \pm 2^\circ\text{C}$, 16-часовом фотопериоде при искусственном освещении $40 \text{ мкмоль} \cdot \text{м}^{-2} / \text{сек}^{-1}$. Эксперименты *in vitro* повторялись трижды, в каждом варианте было 30 эксплантов. Для создания феноспектров использовали данные 15-летних наблюдений не менее 10 растений каждого из 4 таксонов рода *Begonia*. Полученные результаты обрабатывали с помощью компьютерной программы Excel лицензионного пакета Microsoft Office 2007. В таблицах приведены средние арифметические и стандартные ошибки средних, статистически значимыми различия считали при $p \leq 0,05$.

Результаты исследования и их обсуждение

Для каждого из исследованных видов мы выделили некоторые экологические факторы, влияющие на их рост и развитие. У представителей тропического климата *B. rockii* и *B. variegata* нет выраженного периода покоя, что видно из феноспектра (рис. 2). Поэтому на их развитие оказывают влияние экзогенные факторы, в данном случае температура воздуха. При её понижении рост растений не прекращается, но заметно приостанавливается. Размножение этих бегоний в ЦСБС осуществляется делением корневищ и листовыми черенками. В условиях выращивания у *B. variegata* семена не вызревают, а у *B. rockii* семена мы получаем, но их всхожесть низкая и составляет 20 %. Вегетативные части для размножения вышеописанных бегоний можно брать в любое время года. При соблюдении оптимального температурного и влажностного режима период получения диаспор из листовых черенков составляет у *B. rockii*

20–60 дней, а у *B. variegata* – 50–150 дней. Самый короткий период формирования диаспор наблюдался в весенне-летний период, а наиболее продолжительный – в осенне-зимний. Другой способ размножения, позволяющий получить у данных видов за год 3–4 новых экземпляра, – это деление корневища. Для выращивания вышеописанных видов подобран субстрат, исходя из условий произрастания этих бегоний в природе. Он состоит из следующих компонентов: листовая земля, песок, торф в пропорции 2:1:1.

У *B. sutherlandii* вступление в состояние покоя жестко детерминировано эндогенной ритмикой: после цветения, даже при благоприятных микроэкологических условиях, происходит торможение ростовых процессов и отмирание надземной части (рис. 2). Растение несколько месяцев сохраняется в виде клубня. Поэтому для культивирования *B. sutherlandii* в коллекции ЦСБС были созданы условия, приближенные к таковым в местах естественного произрастания вида по водному и температурному режиму. Для культивирования таксона разработана водно-воздухопроницаемая почвосмесь, состоящая из листовой земли, песка, мелкой гальки, торфа, сосновой коры в пропорции 2:1:1:1:1, не позволяющая загнить корневой системе. Размножение данного вида проводилось путем черенкования побегов и выводковыми почками, т.к. семена при интродукции не завязываются, а размножение с помощью листовых черенков неэффективно. У ‘Gloire de Lorraine’ нет выраженного периода покоя: в самые жаркие месяцы лета растение продолжает вегетировать, но цветение прекращается (рис. 2). Наиболее эффективным агротехническим приемом в летний период является обрезка растения на 2/3 и укоренение стеблевых черенков в течение 20–30 дней. Отмечено, что листовых черенков. Субстрат для выращивания данного сорта состоит из листовой земли, песка, торфа, мелкого керамзита в пропорции 2:1:1:0,5. Для выявления оптимальных сроков размножения бегоний как *ex vivo*, так и *in vitro* нами составлены феноспектры, в которых отражены ритмы развития вегетативной и генеративной сферы у исследованных таксонов (рис. 2). Из представленных феноспектров видно, что у *B. sutherlandii* и *B. variegata* цветение наблюдается 4 летних месяца, самый короткий период цветения у *B. rockii* – 3 месяца, тогда как у *B. ‘Gloire de Lorraine’* – ценного представителя зимнецветущих растений – цветение продолжается 10 месяцев.

<i>Begonia</i>	Вегетативное развитие											
<i>rockii</i>												
<i>sutherlandii</i>												
<i>variegata</i>												
‘Gloire de Lorraine’												
	Генеративное развитие											
<i>rockii</i>												
<i>sutherlandii</i>												
<i>variegata</i>												
‘Gloire de Lorraine’												
Месяц	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12

Условные обозначения:

	Бутонизация		Интенсивное цветение		Завершение цветения
	Отсутствие цветения		Умеренная вегетация		Интенсивная вегетация
	Отмирание наземной части		Отрастание побегов		Плодоношение

Рис. 2. Феноспектры изученных бегоний

Описанные выше бегонии относятся к разным феноритмологическим группам и являются модельными объектами для отработки методики микроклонального размножения.

При введении в культуру *in vitro* эксплантов, изолированных из вегетативных органов бегоний (листьев, черешков) отмечена их высокая контаминация, что требовало более жестких условий стерилизации по сравнению с флоральными эксплантами. Для получения стерильных эксплантов – фрагментов женских и мужских цветков бегоний, находящихся в соцветии в закрытом состоянии, были применены 2 варианта стерилизации:

- 1) 70 %-ный C_2H_5OH (30 сек) + 0,1 %-ный раствор $HgCl_2$ (10 мин);
- 2) 0,1 % раствор $AgNO_3$ (15 мин).

Выяснено, что наиболее оптимальным агентом для стерилизации фрагментов цветков бегоний, относящихся к 4 различным таксонам, является 0,1 % раствор $AgNO_3$ (экспозиция 15 мин), при использовании которого жизнеспособность флоральных эксплантов достигала 86,6 %. Для индукции адвентивного побегообразования была выбрана среда N_6 как наиболее универсальная для получения регенерантов бегоний из флоральных эксплантов. Процесс прямого морфогенеза побегов в культуре изолированных фрагментов цветков всех 4 геноти-

пов бегоний более интенсивно происходил под действием 0,5 мг/л тидиазурона (ТДЗ), в сочетании с 0,5 мг/л бензиламинопурина (БАП) и 0,2 мг/л индолилмасляной кислоты (ИМК) (4 вариант среды mN_6) (рис. 3, г). Количество эксплантов, образовавших адвентивные побеги, различалось в зависимости от генотипа и регуляторов роста, вносимых в питательную среду (табл. 2).

Зафиксированы единичные случаи индукции флорального морфогенеза некоторых бегоний при введении в среду mN_6 0,2 мг/л цитокинина БАП (рис. 3, а, б). Проллиферации каллуса способствовало добавление в состав среды ТДЗ либо БАП в концентрации более 1 мг/л (рис. 3, в). В вариантах среды mN_6 число регенерировавших побегов составило от 4 до 35. Авторами отмечено, что для лучшего роста и мультипликации побегов бегоний, полученных путем индукции адвентивных почек флоральных эксплантов, целесообразно заменять питательную среду mN_6 с высоким содержанием макроэлементов на среду МС, включавшую более низкие дозы макроэлементов и цитокинина БАП (0,2 мг/л). Для укоренения была использована среда Кнудсена без регуляторов роста. Спустя 3 недели, укорененные регенеранты перемещали для адаптации к условиям *ex vitro* в закрытые пленкой контейнеры со стерильным песком (рис. 3, д, е).

Таблица 1

Действие режимов стерилизации на получение жизнеспособных эксплантов бегоний

Объекты	Жизнеспособность эксплантов, %	
	Вар. 1	Вар. 2
<i>B. variegata</i>	43,33 ± 7,30	58,66 ± 4,80
<i>B. rockii</i>	56,00 ± 2,40	67,00 ± 2,40
<i>B. sutherlandii</i>	64,20 ± 4,80	85,00 ± 2,40
<i>B. 'Gloire de Lorraine'</i>	65,00 ± 2,40	86,60 ± 5,60

Таблица 2

Интенсивность адвентивного побегообразования на флоральных эксплантах бегоний в зависимости от концентрации регуляторов роста и генотипа

Объекты	Число эксплантов (%), образовавших адвентивные побеги в 1-4 вариантах среды мN ₆			
	1, без регуляторов роста	2, ТДЗ (0,5 мг/л) + ИМК (0,2 мг/л)	3, БАП (1,0 мг/л) + ИМК (0,2 мг/л)	4, БАП (0,5 мг/л) + ТДЗ (0,5 мг/л) + ИМК (0,2 мг/л)
<i>B. variegata</i>	0,00 ± 0,00	36,00 ± 2,17	3,73 ± 0,38 6	54,00 ± 2,17
<i>B. rockii</i>	0,00 ± 0,00	47,00 ± 6,50	35,00 ± 7,37	78,00 ± 4,85
<i>B. sutherlandii</i>	0,00 ± 0,00	26,00 ± 4,24	3,57 ± 0,55	38,00 ± 3,84
<i>B. 'Gloire de Lorraine'</i>	0,00 ± 0,00	72,00 ± 5,66	63,00 ± 6,85	83,00 ± 2,64

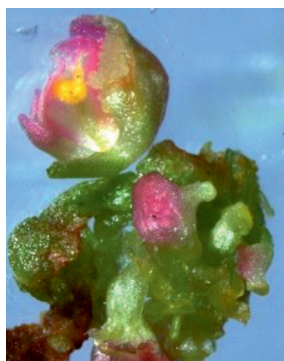
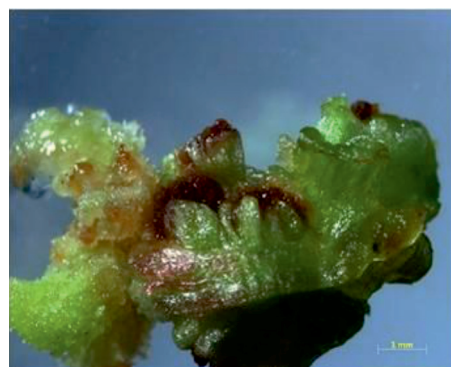
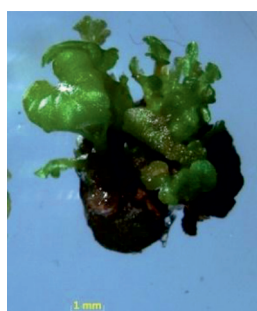
а) Образование флоральных элементов (*B. 'Gloire de Lorraine'*)б) Флоральный морфогенез in vitro (*B. sutherlandii*)в) Инициация почек в каллусной культуре (*B. 'Gloire de Lorraine'*)г) Прямой органогенез микропобегов (*B. 'Gloire de Lorraine'*)д) Укоренение микропозеток in vitro (*B. 'Gloire de Lorraine'*)е) Регенеранты перед высадкой ex vitro (*B. 'Gloire de Lorraine'*, *B. rockii*)

Рис. 3. Индукция различных путей морфогенеза флоральных эксплантов бегоний и этапы их культивирования в культуре in vitro

Спустя 4 недели адаптированные растения пересаживали на почвенные субстраты соответственно их экологической приуроченности. Микророзетки менее 2 см в диаметре культивировали на среде ½ МС с добавлением 30 мг/л аденин сульфата, что способствовало их длительному поддержанию в культуре *in vitro*. При замедлении роста регенерантов (примерно год спустя) их листья изолировали и помещали на среду МС, содержащую 50 мг/л аденин сульфата и 0,5 мг/л ТДЗ, что позволило получить от одного экспланта до 10–25 микрорастений в зависимости от генотипа. Другими авторами также отмечено, что при микроразмножении бегоний внесение ТДЗ либо БАП в индукционную среду способствует образованию адвентивных побегов [5], а низкие концентрации регуляторов роста позволяют получить регенеранты путем прямого и непрямого органогенеза [6].

Отмечено, что у растений-регенерантов 4 таксонов бегоний при их пассаже со среды Кнудсена на среду МС с добавлением 50 мг/л аденин сульфата и 0,5 мг/л ТДЗ в результате ювенилизации нивелируются ритмологические особенности, присущие данным генотипам. Вследствие чего изменением ростовой активности бегоний в процессе их культивирования *in vitro* возможно управлять, чередуя питательные среды различного состава.

Выводы

На основе анализа ритмов роста и развития 4 таксонов рода *Begonia* разработаны различные способы их вегетативного размножения в условиях оранжерей и в культуре *in vitro*. Фенологические наблюдения явились основой для выявления оптимальных сроков размножения бегоний и проведения агротехнических приемов, а также усовершенствования методики микроклонального размножения, что позволяет существенно повысить коэффициент размножения бегоний. В условиях проведенного эксперимента органогенез адвентивных побегов из флоральных эксплантов бегоний происходил преимущественно прямым путем, а регенерационная способность зависела от генотипа и применяемых регуляторов роста. Для того чтобы длительно поддерживать бегонии в коллекции *in vitro*, необходимо

пролиферирующие культуры переносить на среды с различным содержанием регуляторов роста и макроэлементов, уменьшая их содержание перед высадкой *ex vitro*. Полученные результаты могут быть использованы для сохранения и эффективного размножения ценных генотипов рода *Begonia*.

Работа выполнена в рамках государственного задания Центрального сибирского ботанического сада СО РАН при частичной поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект r а № 17-44-540601). При подготовке публикации использовались материалы биоресурсной научной коллекции ЦСБС СОРАН «Коллекции живых растений в открытом и закрытом грунте», УНУ № USU 44053.

Список литературы

1. Tebbit M.C. Begonias: cultivation, natural history, and identification / M.C. Tebbit. – Portland: Timber Press, 2005. – 272 p.
2. Фершалова Т.Д. Интродукция бегоний в оранжереях и интерьерах / Т.Д. Фершалова, Е.В. Байкова, отв. ред. акад. РАН И.Ю. Коропачинский. – Новосибирск: Гео, 2013. – 157 с.
3. Антимикробная активность и содержание флавоноидов у некоторых представителей рода *Begonia* L., используемых в фитодизайне / Е.А. Карпова [и др.] // Вопросы биологической, медицинской и фармацевтической химии. – 2011. – № 1. – С. 8–16.
4. Effect of adenine, sucrose and plant growth regulators on the indirect organogenesis and on in vitro flowering in *Begonia x hiemalis* Fotsch / A. Asmah [et al.] // Australian Journal of Crop Science. – 2013. – Vol. 7. № 5. – P. 691–698.
5. Micropropagation of *Begonia rex* Putz. by 6-benzyladenine and α -naphthalene acetic acid / K.D. Behzad [et al.] // International Journal of Biosciences. – 2015. – Vol. 6. № 5. – P. 8–15.
6. Kumari A., Baskaran P., Van Staden J. In vitro regeneration of *Begonia* homonyma – a threatened plant // South African Journal of Botany. – 2017. – Vol. 109. – P. 174–177.

References

1. Tebbit M.C. Begonias: cultivation, natural history, and identification / M.C. Tebbit. Portland: Timber Press, 2005. 272 p.
2. Fershalova T.D. Introdukcija begonij v oranzherejah i intererah / T.D. Fershalova, E.V. Bajkova, отв. red. akad. RAN I.Ju. Koropachinskij. Novosibirsk: Geo, 2013. 157 p.
3. Antimikrobnaja aktivnost i sodержanie flavonoidov u nekotoryh predstavitelej roda *Begonia* L., ispolzuemyh v fitodizajne / E.A. Karpova [i dr.] // Voprosy biologicheskoy, medicinskoj i farmacevticheskoy himii. 2011. no. 1. pp. 8–16.
4. Effect of adenine, sucrose and plant growth regulators on the indirect organogenesis and on in vitro flowering in *Begonia x hiemalis* Fotsch / A. Asmah [et al.] // Australian Journal of Crop Science. 2013. Vol. 7. no. 5. pp. 691–698.
5. Micropropagation of *Begonia rex* Putz. by 6-benzyladenine and α -naphthalene acetic acid / K.D. Behzad [et al.] // International Journal of Biosciences. 2015. Vol. 6. no. 5. pp. 8–15.
6. Kumari A., Baskaran P., Van Staden J. In vitro regeneration of *Begonia* homonyma a threatened plant // South African Journal of Botany. 2017. Vol. 109. pp. 174–177.

УДК 630*524.2

ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ПРОГРАММНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА НА БАЗЕ ГИС FIELD-MAP ПРИ РАЗРАБОТКЕ ТАБЛИЦ ОБЪЕМОВ СТВОЛОВ В ГОРОДСКИХ УСЛОВИЯХ

Шевелина И.В., Суслов А.В., Нуриев Д.Н., Нагимов З.Я., Марковцева А.Н., Дунаев И.С.

ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет», Екатеринбург,
e-mail: ishevelina@gmail.com

В статье приведены результаты оценки точности определения различных таксационных показателей растущих деревьев при помощи программно-измерительного комплекса на базе ГИС Field-Map. Установлено, что точность определения высоты деревьев по данным комплекса удовлетворяет самым строгим требованиям: относительные отклонения высоты от истинного значения этого показателя варьируют в пределах от 0,11 до 5,79%, систематическая ошибка измерений составляет 1,02%, среднеквадратическая – $\pm 3,06\%$, а средняя по всем учетным деревьям – $\pm 0,65\%$. Ошибки в определении диаметров ствола на разных высотных отметках закономерно повышаются по мере увеличения высоты измерения. В нижней подкроновой части ствола они находятся во вполне допустимых пределах. Средние ошибки измерения диаметров по всем учетным деревьям во всех случаях меньше $\pm 3\%$. На основе измерения с помощью программно-измерительного комплекса диаметров на разных фиксированных высотных отметках с приемлемой для таксационных работ точностью определяется объем стволов растущих деревьев. Выявлено, что точность заметно повышается при определении объема путем суммирования объемов секций, на которые может быть разделен ствол по результатам измерения диаметров. Средняя ошибка составляет $\pm 1,33\%$. С помощью функции программно-измерительного комплекса объем определяется с меньшей точностью, средняя ошибка составляет $\pm 2,07\%$. Результаты исследования свидетельствуют, что программно-измерительный комплекс на базе ГИС Field-Map может эффективно применяться при разработке таблиц объемов стволов без рубки деревьев в городских условиях.

Ключевые слова: городские озеленительные посадки, объемные таблицы, таксационные показатели, программно-измерительный комплекс на базе ГИС Field-Map

ESTIMATION OF USING FIELD-MAP TECHNOLOGY IN DEVELOPMENT OF THE STEM VOLUME TABLES IN URBAN ENVIRONMENT

Shevelina I.V., Suslov A.V., Nuriev D.N., Nagimov Z.Ya., Markovtseva A.N., Dunaev I.S.

Ural State Forest Engineering University, Ekaterinburg, e-mail: ishevelina@gmail.com

Accuracy estimation results of determining various taxation parameters of trees using Field-Map technology are given in the article. It was established that the accuracy determining of the trees height using the technology meets the most severe requirements. The relative deviation of the height vary in the range from 0,11 to 5,79%. The systematic error of the measurements is – 1,0%, standard error is $\pm 3,06\%$, and the mean error for all trees is $\pm 0,65\%$. Errors in determining the stem diameter at different elevations increase regularly with increasing the height of measurement. The errors at the bottom undercrown part of the stem are in acceptable limits. The mean measurement errors of diameters for all trees is less than $\pm 3\%$ in all cases. Diameters measured with Field-Map technology on different fixed heights allow us to determine the stem volume of standing tree with acceptable taxation accuracy. Accuracy increases significantly when determining the volume by summing the volumes of sections, on which stem can be divided according to the results of measurement of the diameters. The mean error is $\pm 1,33\%$. Using function of the Field-Map complex the volume is determined with less accuracy, the mean error is $\pm 2,07\%$. The results of the study indicate that Field-Map technology can be effectively applied in the development of stem volume tables of standing trees in the urban environment.

Keywords: urban plantings, volume tables, taxation parameters, Field-Map technology

В современных условиях глобальной урбанизации неуклонно растет роль городских зеленых насаждений. На фоне повышения численности населения, масштабного загрязнения окружающей среды они призваны обеспечить благоприятную экологическую обстановку и комфортное проживание людей в крупных населенных пунктах. Хозяйственные мероприятия в городских лесах в первую очередь направлены на сохранение и улучшение средообразующих, санитарно-гигиенических, оздоровительных и рекреационных функций насаждений. Для повышения эффек-

тивности этих мероприятий недостаточно глазомерной оценки зеленых насаждений, а необходимо иметь актуальную и точную информацию об их количественных и качественных показателях. Такая информация может быть получена только с использованием специальной нормативной базы, разработанной для оценки деревьев и насаждений, произрастающих в условиях города. В настоящее время при ведении зеленого хозяйства используются в основном традиционные лесотаксационные нормативы, составленные для сомкнутых естественных насаждений. Корректность их применения

для оценки городских зеленых насаждений весьма сомнительна, так как рост и развитие деревьев в условиях города и сомкнутого насаждения резко отличаются. Отсутствие нормативов, в частности объемных и сортиментных таблиц, для городских насаждений связано в первую очередь с тем, что для их составления требуется большое количество данных, которые можно было получить только у срубленных деревьев. Это в условиях города практически невозможно. Следует также отметить, что видовой состав зеленых насаждений города, как правило, более разнообразный, чем лесных насаждений в данной местности. Это объясняется введением в систему озеленения интродуцентов, для которых в большинстве случаев отсутствуют и традиционные лесотаксационные нормативы.

В последние годы в лесотаксационную практику активно внедряются программно-измерительные комплексы, позволяющие получать необходимую информацию, в том числе о растущих деревьях [1–3]. Однако вопрос о возможности их использования для составления лесотаксационных нормативов (объемных и сортиментных таблиц) остается открытым.

Цель исследования

Оценить точность определения таксационных показателей растущих деревьев программно-измерительным комплексом (ПИК) на базе геоинформационной системы Field-Map и возможность его применения при разработке таблиц объемов стволов для городских насаждений.

Материалы и методы исследования

Объектом исследований послужили деревья разных пород, произрастающие на различных участках городских лесов г. Екатеринбурга, на которых проводились хозяйственные мероприятия с рубкой деревьев.

Методической предпосылкой работы явилось использование ПИК на базе геоинформационной системы Field-Map для определения таксационных показателей растущих деревьев, в частности объема ствола. В его состав входят планшет Getac T800 с установленной ГИС Field-Map, дальномер-высотомер Laser Technology TruPulse 360°В и мерная вилка Masser BP Caliper. ПИК является автоматической системой сбора данных, позволяющей дистанционно определять расстояние до дерева, его высоту, параметры кроны (диаметр и протяженность), диаметры ствола на разных высотах

и ряд других показателей. Все измеряемые показатели деревьев в автоматическом режиме в реальном времени передаются в программу Field-Map на планшет Getac T800 по каналу связи Bluetooth и сохраняются в базе данных.

Для достижения поставленной цели с использованием ПИК у каждого отобранного для рубки дерева определялись его высота (Н) и диаметр ствола на разных высотах от основания дерева.

Согласно общепринятой в лесной таксации методике для определения основных таксационных показателей отдельного (срубленного) дерева, в частности его формы, объема и товарной структуры, диаметр ствола определяется на следующих высотных отметках: на высоте 1,3 м ($D_{1,3}$), на 1/4 высоты ($D_{1/4}$), 1/2 высоты ($D_{1/2}$), 3/4 высоты ($D_{3/4}$) и серединах одно- (при высоте дерева до 10–12 м) или двухметровых (при большей высоте дерева) секций, на которые может быть разделен ствол [4]. Эта методика обмера деревьев положена и в основу наших исследований. Однако у растущих деревьев развитие и габитус кроны не всегда позволяли измерить диаметр ствола строго на серединах таких секций. Измерения производились на тех высотных отметках, на которых от пункта наблюдения четко просматривался ствол. При таком положении ствол оказывался разделенным на секции разной длины: в нижней хорошо просматриваемой части ствола в большинстве случаев длина секций была короче одного (двух) метров, в верхней кроновой части, наоборот, длиннее. Причем измерения производились таким образом, чтобы общее количество секций всегда было не меньше, чем при делении ствола на секции одинаковой длины по указанной выше методике. Такой подход вполне оправдан, так как в нижней половине ствола сосредоточено около 80 % древесины. В этой связи более детальная оценка этой зоны ствола, безусловно, повысит точность определения объема.

После рубки дерева производились соответствующие обмеры ствола по общепринятой в лесной таксации методике. В частности, на стволе рулеткой отмечались 1,3 м, относительные высоты (Н, Н, Н), середины одно- или двухметровых секций, на которых мерной вилкой измерялись диаметры с точностью 0,1 см. Определялись также длина срубленного дерева и его возраст.

В ходе исследования по вышеизложенной методике проведена таксация 24 учет-

ных деревьев трех пород (сосны, березы, осины). Все расчетные и графические работы производились в программе MS Office Excel.

Результаты исследования и их обсуждение

В специальной литературе [5, 6] выделяют два основных направления, служащих теоретической основой математических методов определения объема ствола деревьев:

– математическое выражение образующей древесного ствола, при вращении которой вокруг оси симметрии образуется тело, равное по объему искомому стволу и имеющее аналогичную с ним форму;

– приравнивание формы ствола и его частей к форме тех или иных тел вращения.

Таким образом, в обоих направлениях ствол дерева рассматривается как тело вращения. Поэтому погрешности, возникающие при определении объема различными стереометрическими приемами, зависят от степени отклонения ствола или его частей от формы правильных тел вращения. В этой связи для повышения точности определения объема ствола он делится на короткие отрезки – секции, которые по своей форме в большей степени приближаются к формам усеченных тел вращения. В этом случае погрешности в определении объема ствола зависят в основном от точности определения площадей сечений (диаметров) и количества высотных отметок, на которых они измерены.

В соответствии с целевой установкой для оценки точности определения таксационных показателей ствола программно-измерительным комплексом производилось сопоставление соответствующих данных, полученных ПИК с результатами таксации срубленного дерева. При этом таксационные показатели, определенные при обработке срубленного дерева, принимались за истинные. На первом этапе исследований производилось сопоставление образующих ствола учетных деревьев, построенных по данным измерения диаметров ПИК и с использованием вышеописанной методики таксации срубленных деревьев. Такое сопоставление на примере учетного дерева № 3 на третьем объекте исследований (порода – береза, возраст – 35 лет, диаметр 9,3 см, высота – 12,50 м) показано на рисунке. Выявляется, что представленные на этом рисунке образующие очень близки по форме. Положения и взаимные пересечения их на разных высотах ство-

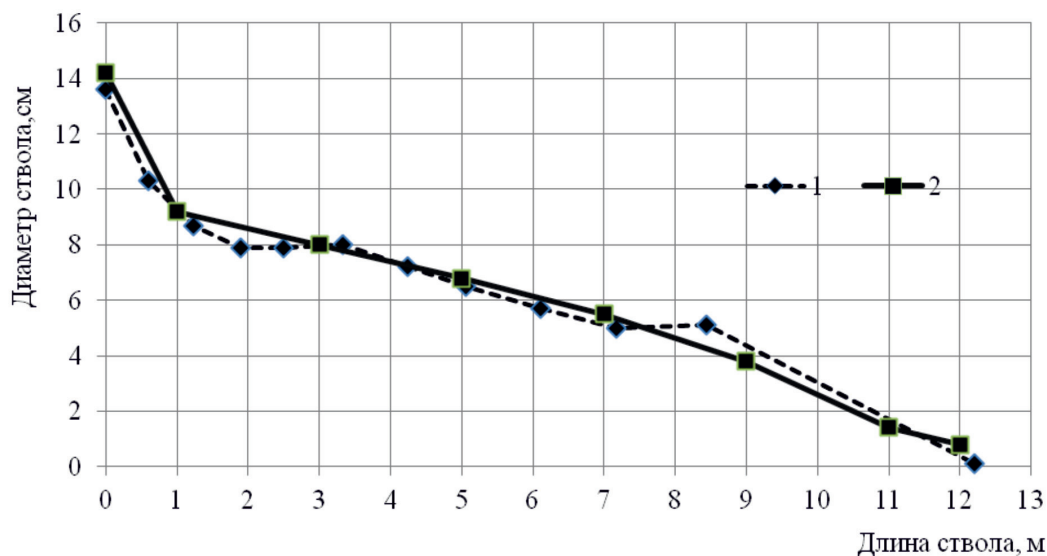
ла позволяют констатировать отсутствие серьезных систематических отклонений между образующими, построенными по данным ПИК и таксации срубленного дерева. Аналогичные результаты были получены по остальным учетным деревьям. Таким образом, результаты измерения диаметра ствола указанным комплексом дают достаточно точное представление о сбеге и форме стволов.

Точность определения объема ствола зависит от точности измерения его диаметров на соответствующих высотных отметках и высоты. Причем при одинаковой относительной точности измерения диаметра и высоты величина погрешности в объеме от погрешности измерения диаметра в два раза больше, чем от погрешности измерения высоты [4].

Поэтому с учетом того, что на точность определения объема влияют многие факторы (применяемые методы определения, число измерений и т.д.), ошибка в определении этого показателя, вызываемая неточностью измерения диаметров ствола, должна быть сведена к минимуму.

В этой связи вторым этапом исследований явилась оценка точности измерения диаметра ствола растущего дерева ПИК на конкретных высотных отметках. Для этого производилось сопоставление диаметров ствола, измеренных данным комплексом, с диаметрами (истинными), определенными после рубки дерева. Оно сопровождалось вычислением систематических и среднеквадратических ошибок. Были определены ошибки измерения ПИК диаметров ствола $D_{1/4}$, $D_{1/2}$ и $D_{3/4}$. Ход и результаты этих исследований на примере $D_{1/4}$ представлены в табл. 1. Анализ данных табл. 1 показывает, что относительные отклонения $D_{1/4}$ измеренного ПИК, от истинного значения этого показателя варьируют в достаточно широких пределах – от 0,05 до 17,53%. Причем подавляющее большинство измерений (около 67%) имеет отклонения, не превышающие $\pm 5\%$. Рассчитанные на основе данных табл. 1 систематическая ошибка измерений составляет – 1,09%, а среднеквадратическая – $\pm 6,56\%$.

Следует отметить, отклонения по двум учетным деревьям (дерево № 3 на объекте № 2 и дерево № 5 на объекте № 3) существенно превышают отклонения по другим деревьям. Если эти отклонения признать грубыми и исключить из дальнейших расчетов, то среднеквадратическая ошибка измерений составит всего $\pm 4,38\%$.



Образующие ствола, построенные по данным: 1 – программно-измерительного комплекса, 2 – таксации срубленного дерева

Таблица 1

Вычисление ошибок измерения $D_{1/4}$ ПИК

№ участка	№ дерева	$D_{1/4}$ (см) измеренный		Расчет ошибок измерения, %		
		на срубленном дереве	на растущем дереве ПИК	отклонения	отклонения исправленные	квадраты отклонений
2	1	18,4	18,6	1,04	2,14	4,57
2	2	18,6	18,5	-0,84	0,25	0,06
2	3	14,43	16,89	17,03	18,12	328,36
2	4	24,7	27,2	9,97	11,07	122,47
2	5	17,7	18,1	2,15	3,24	10,52
2	6	12,3	11,7	-5,32	-4,22	17,84
2	7	21,4	21,9	2,42	3,51	12,35
3	6	25,8	26,4	2,31	3,40	11,56
3	7	25,3	25,3	0,05	1,14	1,30
3	8	21,2	20,1	-5,19	-4,10	16,77
3	9	17,4	17,9	2,65	3,75	14,04
3	10	20,2	20,8	2,73	3,82	14,60
1	6	26,0	25,6	-1,38	-0,29	0,08
3	1	15,5	14,7	-4,76	-3,66	13,41
3	2	14,4	14,1	-2,58	-1,49	2,22
3	3	7,9	8,0	0,64	1,73	3,00
3	4	15,6	15,8	1,29	2,39	5,69
3	5	7,76	6,40	-17,53	-16,44	270,22
4	1	17,2	16,5	-4,03	-2,93	8,60
4	2	51,7	48,1	-6,94	-5,85	34,25
4	3	14,8	14,0	-5,62	-4,53	20,54
4	4	14,4	13,0	-9,78	-8,69	75,49
4	5	37,7	36,9	-2,12	-1,03	1,06
4	6	12,7	12,4	-2,42	-1,33	1,76
		Итого:	-	-68,52	-54,56	990,79
			+	42,29	54,56	

Таблица 2

Ошибки измерений $D_{1/4}$, $D_{1/2}$ и $D_{3/4}$ ПИК

Показатель	Ошибки измерений, %		
	систематическая	среднеквадратическая	средняя
$D_{1/4}$	-1,17	$\pm 4,38$	$\pm 0,93$
$D_{1/2}$	-3,65	$\pm 7,55$	$\pm 1,58$
$D_{3/4}$	0,36	$\pm 11,82$	$\pm 2,52$

Подобные исследования были проведены также по диаметрам, измеренным на 1/2 высоты ($D_{1/2}$) и 3/4 высоты ($D_{3/4}$). Результаты их приведены в табл. 2.

Анализируя данные, приведенные в табл. 2, можно отметить следующее. При измерении диаметра ствола ПИК систематические ошибки незначительны. Их величины удовлетворяют самым высоким требованиям. Среднеквадратическая ошибка измерений диаметра ствола закономерно повышается по мере продвижения вверх по стволу. В первую очередь это связано с условиями визирования, которые в верхней части ствола заметно ухудшаются из-за слабой его просматриваемости в кроновой части. Следует отметить, что указанная особенность изменения точности измерения диаметров ствола не может оказать существенного влияния на точность определения объема: в нижней половине ствола, объем которой составляет более 80% от общего, погрешности определения диаметров вполне удовлетворяют таксационным требованиям. Средняя ошибка измерений по всем учетным деревьям во всех случаях меньше 3%.

Следующий этап исследований был посвящен оценке точности измерения ПИК высоты ствола растущих деревьев. Работа производилась по алгоритму, использованному при оценке точности измерения диаметров. Выявлено, что относительные отклонения высоты, измеренной программным комплексом, от истинного значения этого показателя варьируют в достаточно узком диапазоне – от 0,11 до 5,79%. Точность измерения высоты соответствует самым строгим требованиям: систематическая ошибка составляет 1,02%, среднеквадратическая $\pm 3,06\%$, а средняя по всем учетным деревьям всего $\pm 0,65\%$. Таким образом, высота деревьев измерительным комплексом определяется значительно точнее, чем диаметры на различных высотных отметках.

Погрешности в измерении диаметров ствола на разных высотных отметках и высоты деревьев обуславливают ошибки в определении их объемов. Поэтому на заключительном этапе нами произведена оценка точности определения ПИК объема стволов. С этой целью для каждого учетного дерева определялись объемы ствола тремя способами: по секциям на основе измерения диаметров ствола растущего дерева измерительным комплексом, по специальной функции ПИК, позволяющей в автоматическом режиме определять объем и по секционной формуле Губера после рубки дерева.

При первом способе объем ствола определялся так же, как и по формуле Губера, – суммированием объемов секций. Однако секции были разной длины. Поэтому в камеральных условиях находились их середины, на которых определялись диаметры методом интерполяции. С учетом того, что секции были небольшой длины, особенно в нижней половине ствола, такой подход вполне оправдан. Объем отдельно взятой секции определялся умножением ее длины на площадь поперечного сечения на середине. При оценке точности определения объема ствола первыми двумя способами за истинные принимались объемы, определенные после рубки дерева по сложной формуле Губера. Результаты соответствующих расчетов приведены в табл. 3.

Данные табл. 3 свидетельствуют, что объемы стволов значительно точнее определяются первым способом – суммированием секционных объемов, определяемых на основе диаметров, измеренных ПИК. Определение объема этим способом обеспечивает вполне приемлемые результаты: систематическая ошибка составляет всего 2,83%, среднеквадратическая – $\pm 6,54\%$, а средняя ошибка по 24 учетным деревьям – $\pm 1,33\%$. В целом значения этих ошибок очень близки к ошибкам измерения диаметров стволов в нижней их половине при помощи ПИК.

Таблица 3

Ошибки определения объема ствола ПИК

Показатель	Ошибки измерений, %		
	систематическая	среднеквадратическая	средняя
Объем по секциям на основе измерения диаметров ствола ПИК	–2,83	± 6,54	± 1,33
Объем ствола по специальной функции ПИК	–5,22	± 10,11	± 2,07

С использованием функции ПИК объемы стволов определяются с меньшей точностью. Обращает на себя внимание величина систематической ошибки (–5,22%), которая свидетельствует о значительном систематическом преуменьшении объемов. Значения среднеквадратической и средней ошибок заметно выше, чем при первом способе. Причиной этого, на наш взгляд, является отсутствие универсального уравнения, точно передающего характер образующих древесных стволов. Известно, что вследствие влияния на форму древесных стволов большого числа факторов, их образующие непостоянны и неправильны, на всем протяжении ствола не могут быть представлены одной аналитической кривой.

Заключение

Результаты проведенного исследования позволили оценить точность определения различных таксационных показателей растущих деревьев при помощи ПИК. Установлено, что точность определения высоты деревьев удовлетворяет самым строгим требованиям: относительные отклонения высоты от истинного значения этого показателя варьируют в пределах от 0,11 до 5,79%, систематическая ошибка измерений составляет 1,02%, среднеквадратическая – ± 3,06%, а средняя по всем учетным деревьям – ± 0,65%.

Ошибки в определении диаметров ствола на разных высотных отметках закономерно повышаются по мере увеличения высоты измерения. В нижней подкроновой части ствола они находятся во вполне допустимых пределах. Средние ошибки измерения диаметров по всем учетным деревьям во всех случаях меньше ± 3%.

На основе измерения с помощью ПИК диаметров на разных фиксированных высотных отметках с приемлемой для таксационных работ точностью определяется объем стволов растущих деревьев. Причем точность заметно повышается при определении объема путем суммирования объемов секций, на которые может быть разделен ствол по результатам измерения диаметров. Систематическая ошибка составляет всего 2,83%. С помощью функции

ПИК объем определяется с меньшей точностью, величина систематической ошибки составляет 5,22%, что свидетельствует о систематическом занижении объемов. В целом приведенные материалы свидетельствуют, что ПИК может эффективно применяться при разработке таблиц объемов стволов без рубки деревьев. Это обстоятельство, безусловно, расширяет перспективы создания нормативной базы для таксации и инвентаризации городских насаждений.

Список литературы

1. Букша И.Ф. Применение полевой ГИС-технологии Field-Map в ландшафтном строительстве для инвентаризации и картирования городских зеленых насаждений / И.Ф. Букша, В.П. Пастернак, Т.С. Пивовар, М.И. Букша // Современное состояние и перспективы применения ГИС-технологий и аэрокосмических методов в лесном хозяйстве и садово-парковом строительстве. Особенности преподавания данных дисциплин в высших и средних учебных заведениях: сб. статей. – Йошкар-Ола: Марийский гос. техн. ун-т, 2008. – С. 93–100.
2. Вишневецкий В.С. Полевые испытания ГИС Field-Map / В.С. Вишневецкий // Оборудование и инструмент для профессионалов. – 2009. – № 5–6. – С. 74–75.
3. Черны М. Передовые технологии для полевого сбора данных в лесном хозяйстве / М. Черны, И.Ф. Букша, М.И. Букша // Оборудование и инструмент для профессионалов. – 2009. – № 2. – С. 62–65.
4. Захаров В.К. Лесная таксация: учебник для специальности «Лесное хоз-во» высших учебных заведений / В.К. Захаров. – 2-е изд., испр. и доп. – М.: Лесная промышленность, 1967. – 406 с.
5. Кофман Г.Б. Рост и форма деревьев: моногр. / Г.Б. Кофман. – Новосибирск: Наука, 1986. – 210 с.
6. Кузьмичев В.В. Закономерности динамики древостоев: принципы и модели: моногр. / В.В. Кузьмичев. – Новосибирск: Наука, 2013. – 207 с.

References

1. Buksha I.F. Primenenie polevoj GIS-tehnologii Field-Map v landshaftnom stroitelstve dlja inventarizacii i kartirovaniya gorodskih zelenyh nasazhdenij / I.F. Buksha, V.P. Pasternak, T.S. Pivovarov, M.I. Buksha // Sovremennoe sostojanie i perspektivy primeneniya GIS-tehnologii i ajerokosmicheskikh metodov v lesnom hozjajstve i sadovo-parkovom stroitelstve. Osobennosti prepodavaniya dannyh disciplin v vysshih i srednih uchebnyh zavedenijah: sb. statej. – Yoshkar-Ola: Marijskij gos. tehn. un-t, 2008. pp. 93–100.
2. Vishnevskij V.S. Polevyje ispytaniya GIS Field-Map / V.S. Vishnevskij // Oborudovanie i instrument dlja professionalov. 2009. no. 5–6. pp. 74–75.
3. Cherny M. Peredovye tehnologii dlja polevogo sbora dannyh v lesnom hozjajstve / M. Cherny, I.F. Buksha, M.I. Buksha // Oborudovanie i instrument dlja professionalov. 2009. no. 2. pp. 62–65.
4. Zaharov V.K. Lesnaja taksacija: uchebnik dlja specialnosti «Lesnoe hoz-vo» vysshih uchebnyh zavedenij / V.K. Zaharov. 2-e izd., ispr. i dop. M.: Lesnaja promyshlennost, 1967. 406 p.
5. Kofman G.B. Rost i forma derev: monogr. / G.B. Kofman. Novosibirsk: Nauka, 1986. 210 p.
6. Kuzmichev V.V. Zakonomernosti dinamiki drevostoev: principy i modeli: monogr. / V.V. Kuzmichev. Novosibirsk: Nauka, 2013. 207 p.

УДК 504.054(265.54)

**АНАЛИЗ ЗАГРЯЗНЕНИЯ АКВАТОРИИ ЗАЛИВА ПЕТРА ВЕЛИКОГО
(ЯПОНСКОГО МОРЯ) МИКРОПЛАСТИКОМ****¹Блиновская Я.Ю., ²Якименко А.Л.**¹*ФГАОУ ВО «Дальневосточный федеральный университет», Владивосток,
e-mail: blinovskaya@hotmail.com;*²*ФГБОУ ВО «Морской государственный университет им. адм. Г.И. Невельского», Владивосток*

Доступность, низкая стоимость, возможность использования практически в любых сферах промышленного производства и быту привели к тому, что пластик стал не только повсеместно используемым материалом, но и в силу своей специфичной структуры стал создавать проблему, связанную с загрязнением окружающей среды. В статье рассматривается проблема загрязнения прибрежно-морских акваторий залива Петра Великого (Японское море) микропластиком. Активные исследования микропластика в морской среде проводятся с 2014 г. на юге Дальнего Востока специалистами Морского государственного и Дальневосточного федерального университетов. В районе работ выделено 13 постоянных пунктов мониторинга микропластика, различающихся по гидродинамическим и антропогенным характеристикам. Ежегодно отмечается расширение географии исследования. В нескольких пунктах, омывающих Владивосток, регулярно встречаются загрязняющие частицы. Пробы отбираются методом траления на протяжении 1 мили нейстонной сетью (сетью Апштейна) на малом ходу (2,5–3 узла), что обеспечивает удовлетворительный обзор и возможность фиксации загрязнения. Объем прокачанной через сеть морской воды в каждом пункте составляет около 10 м³. Качественный анализ образцов показал, что микропластик представлен преимущественно полиэтиленом, полипропиленом, частицами целлюлозы. Обнаружено некоторое количество метилфениламина, формальдегида, монокарбонидов. Все это дает основание утверждать о пагубном влиянии микропластика на качество морской воды и на состояние морской биоты. В водах российского Дальнего Востока микропластик встречается в незначительном количестве. Тем не менее острота проблемы в соседних регионах обуславливает необходимость более глубокого изучения природы микропластика, его распределения в прибрежно-морских акваториях и воздействия на окружающую среду.

Ключевые слова: залив Петра Великого, микропластик, мониторинг, прибрежно-морские акватории, загрязнение, траление

**THE WATER AREA POLLUTION ANALYSIS OF PETER THE GREAT BAY
(SEA OF JAPAN) BY MICROPLASTIC****¹Blinovskaya Ya.Yu., ²Yakimenko A.L.**¹*Far Eastern Federal University, Vladivostok, e-mail: blinovskaya@hotmail.com;*²*Maritime State University named after admiral G.I. Nevelskoy, Vladivostok*

Their availability, low cost, applicability in virtually any industrial sector and any household have not only resulted in plastics becoming an everywhere used material, but owing to its specific structure resulting in an issue pertaining to environmental pollution. The pollution problem by microplastic at the Peter the Great Gulf waters (Sea of Japan) is considered in the article. Active research into microplastics in southern Russian Far East marine environment has been done by the Maritime State University and Far Eastern Federal University experts since 2014. There are 13 monitoring stations within research area to include recreational and industrial areas differing in hydrodynamic behavior. The research geography is being expanded yearly. At some of washing Vladivostok points plastic items are encountered on a regular basis. Sample taking is conducted by trawling for 1 mile with Neuston net (Apstein net) at a slow speed (2.5–3 knots), thus providing for a satisfactory observation and possibility to record pollution. The volume of the sea water pumped through the net at each site is about 10 cu.m. It has been found that the quality constitution of the samples studied is represented mostly by polyethylene, polypropylene, parts of cellulose. A certain amount of methylaniline, formaldehydes, and monocarbonylides was detected. All the said gives ground for ascertaining harmful influence of microplastics not only on sea water quality but on the state of marine biota. Microplastics is encountered in insignificant quantity in the Russian Far East waters. Nevertheless, the problem acuteness in the neighboring regions causes need of deeper studying of the microplastic nature, his distribution for coastal and sea water areas and impacts on the environment.

Keywords: Peter the Great gulf, microplastic, monitoring, coastal waters, pollution, sweeping

Оценка распределения микропластика в прибрежно-морских акваториях и его влияние на окружающую среду – важные экологические задачи, изучением которых занимаются специалисты в различных регионах мира. Россия не является исключением. Активные исследования микропластика в морской среде проводятся с 2014 г. на юге Дальнего Востока. Как показывают исследования, за последние сорок лет загрязнение Мирового океана пластиком до-

стигло таких масштабов, что этот материал уже стал частью рациона морских обитателей, а вслед за ними и частью рациона человека [1, 2]. Одной из ярко проявляющихся проблем загрязнения пластиком является гибель морских обитателей и птиц, которые легко принимают разноцветные кусочки пластика за нечто съедобное, пластиковые частицы заполняют желудочно-кишечный тракт, в результате чего особь погибает от голода.

До недавнего времени считалось, что отходы пластика формируют неблагоприятный эстетический эффект. Но исследования последних лет показали, что воздействие пластика сказывается и на безопасности мореплавания, и рекреационной деятельности [3]. Помимо механического воздействия существенным является и воздействие химическое. Экспериментальным путем установлено, что пластмассы относительно быстро разлагаются в морской среде под действием природно-климатических факторов [4]. Их структура способна разрушаться в результате гидролиза, фотолиза и других процессов, что ускоряет процессы деформации и выветривания. Таким образом в течение нескольких лет возможно образование фрагментов различной размерности, в том числе и микропластика, число которого ежегодно увеличивается практически во всех акваториях Мирового океана.

Появление микропластика в морской среде происходит преимущественно двумя способами: непосредственно со сбрасываемыми сточными водами (частицы могут содержаться в различных потребительских товарах: косметических скрабах, синтетических абразивах и т.д.), либо при выветривании макропластика. Проведенные японскими учеными эксперименты, в которых пластик подвергался естественным температурным и гидродинамическим процессам [2], показали, что, например, полистирол фрагментируется через год, и при его разложении в воде диагностируются опасные вещества (например, бисфенол А, циркулирующий углеводород и другие), влияющие на эндокринную систему и приводящие к онкологическим заболеваниям.

Помимо перечисленных встречаются и иные составляющие, такие как поливинилхлорид, полиметилметакрилат, фенопласты, аминокласты и поликарбонаты. Хотя все эти составляющие и относятся к группе полимеров, но при их разложении в морской среде выделяются различные вещества, по-разному влияющие на физиологические, морфологические и даже генетические свойства организма. Например, при распаде полистирола выделяется собственно стирол и бутадиев, который обладает сильным канцерогенным и мутагенным эффектом [4, 5]. При деградации поликарбонатов выделяется бисфенол А, который считается одним из самых опасных веществ, влияющих на репродуктивную способность.

Концентрация загрязняющих веществ и источники их поступления в прибрежно-морскую среду в России и других регионах

существенно различаются. И то, что микропластик является международной проблемой жители России даже и не подозревают, акцентируя внимание лишь на относительно крупных пластиковых объектах. Также следует отметить, что в России нет специального законодательства, рассматривающего вопросы мусора в прибрежно-морской зоне и в морских акваториях в целом, в отличие, например, от стран Юго-Восточной Азии, где загрязнение пластиком поверхности, толщи и донных субстратов регулируется на государственном уровне.

Побережье Дальнего Востока России имеет относительно невысокую освоенность. Небольшая плотность населения, развитие преимущественно добывающего сектора выделяют регион среди ближайших соседей. Однако неблагоприятное экологическое состояние характерно для его южной части. Залив Петра Великого выделяется не только как уникальный природно-климатический регион, где сочетаются виды умеренных и субтропических широт, но и как достаточно загрязненная акватория, особенно в своей северной части. Многочисленные источники загрязнения, сбрасывающие условно очищенные воды в залив, приносят в том числе и пластиковые частицы.

Подобная ситуация (с разной степенью напряженности) характерна для всех портовых акваторий. В связи с чем с целью разработки стратегии управления поверхностным загрязнением первоочередной задачей является формирование методической базы, а именно разработки методики мониторинга плавающего мусора. При этом основной задачей мониторинга выступает определение основных закономерностей появления, миграции мусора и мест его скопления. Регулярность процесса позволит констатировать источники загрязнения и определить перемещение мусора, а значит, оптимизировать систему очистных операций.

В соответствии с этим в заливе Петра Великого (Японское море) выделено 13 пунктов мониторинга, куда включены рекреационные и промышленные районы, различающиеся по гидродинамическому режиму, в пяти из которых регулярно встречаются пластиковые образцы [6]. География исследования в российских масштабах пока невелика, но ежегодно отмечается ее расширение. На рис. 1 указаны реперные пункты мониторинга микропластика в северной части залива Петра Великого. В образцах, поступающих из пролива Босфор Восточный и бухты Золотой Рог, регулярно

встречаются частицы микропластика размером около 2–3 мм. В открытых районах Уссурийского и Амурского заливов микропластик практически не представлен. Анализ условий окружающей среды в районах обнаружения элементов позволяет предположить, что наиболее вероятными источниками поступления загрязнителя являются береговые источники.

На рис. 2 приведен пример найденных в водах, омывающих Владивосток, фрагментов микропластика. Практически все частицы представлены полиэтиленом и полипропиленом. Максимальный размер идентифицированного образца составляет 11 мм (в бухте Улисс).

Отбор проб микропластика производился с парусно-моторной яхты планктонными сетями (Сеть Апштейна малая 67 мкм со стаканом 100 мл, размер конуса $d110 \times 200 \times d250 \times 400 \text{ мм} \times 45 \text{ мм}$) на небольшой скорости (2,5–3 узла), что позволило осуществить равномерный отбор проб. Объем прокачанной через сеть морской воды в каждом пункте составил около 10 м^3 . Благодаря наличию на конце сети металлического стакана с краном стало возможным оценить среднюю концентрацию содержащихся в исследуемой толще частиц. Процесс пробоотбора на акватории залива Петра Великого представлен на рис. 3.

Качественный анализ проб проводится с использованием методов масс-

спектрометрии и инфракрасной микроскопии. С помощью ИК-микроскопа Shimadzu AIM-8800 стало возможным не только получение ИК-спектров и изображения образцов, но и анализ многослойных объектов.

Данный подход является современным неразрушающим методом анализа в ИК-области спектра, который позволяет получать исчерпывающую информацию из микроскопического образца. В сочетании с ИК-спектрометром формируется мощная система, незаменимая для исследования твердых проб.

Среди всех синтетических материалов однозначным лидером считается полиэтилен – вещество, получаемое путем полимеризации молекул этилена при соблюдении определенных технологических процессов. Полиэтилен используется не только в качестве упаковочного материала, но и в строительной индустрии. Что касается целлюлозы, то она характеризуется полиморфическими свойствами и используется для производства искусственных волокон, что также обуславливает широкие возможности для ее применения как в быту, так и в производстве, что повышает вероятность ее появления в морской среде. В образцах, отобранных у северного побережья о. Русский в районе мыса Поспелова, часто встречались частицы полиэтилена и целлюлозы. На рис. 4 представлены результаты лабораторной обработки материалов.

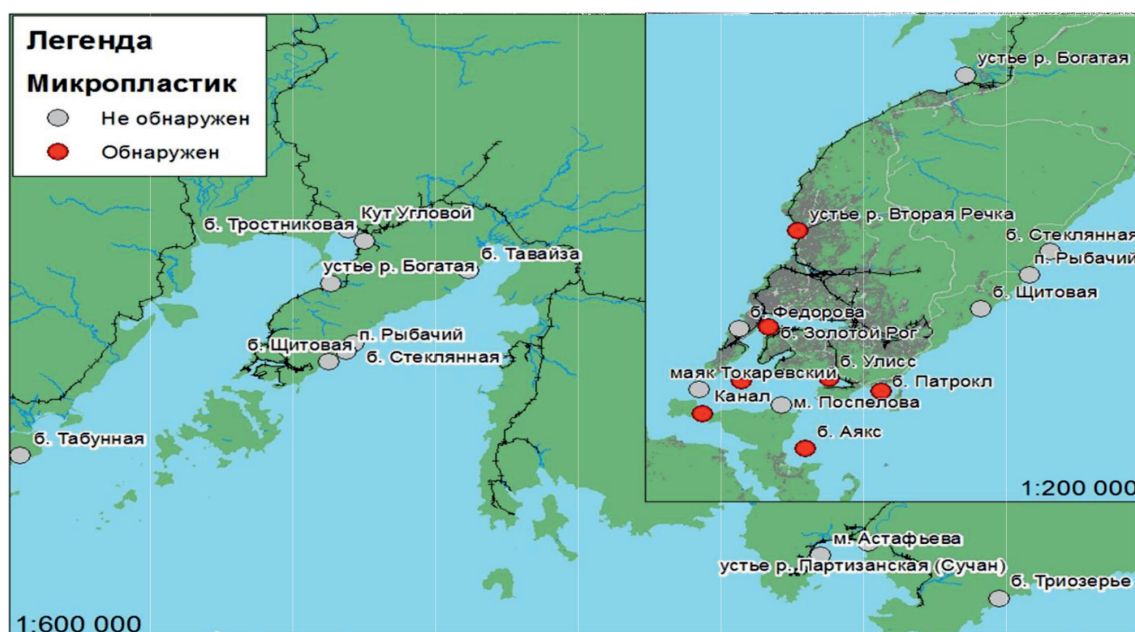
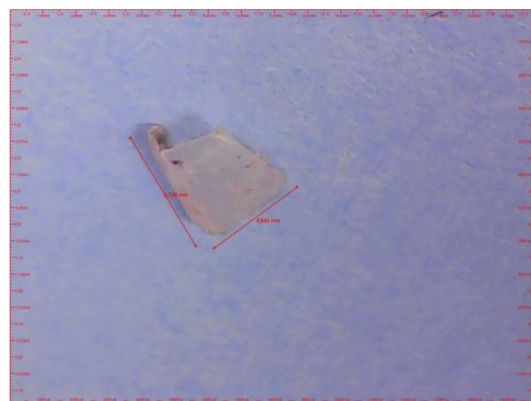


Рис. 1. Пункты мониторинга микропластика в литоральной зоне



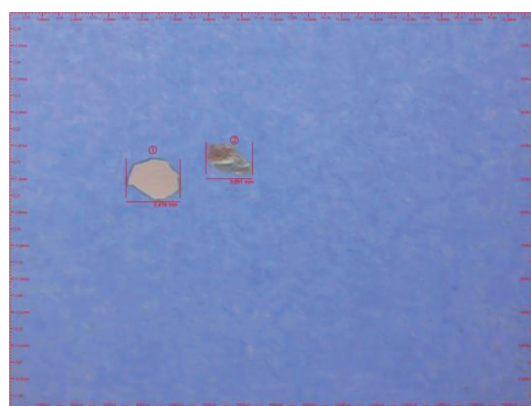
Бухта Улисс



Бухта Патрокл



Бухта Аякс



Канал (о. Русский)

Рис. 2. Фрагменты микропластика в пробах



Рис. 3. Отбор микропластика на акватории

Таким образом, следует констатировать, что большинство обнаруженных частиц микропластика включают опасные для окружающей среды соединения. Как уже отмечалось ранее, в образцах, полу-

ченных из бухт Аякс и Улисс, наиболее часто встречается полипропилен, который является одним из наиболее востребованных полимеров. Это связано с его характеристиками, обусловленными раз-

нообразными способами получения и обработки. Получают его непосредственно из газообразного пропилена путем полимеризации. Этот полимер чаще всего используется для изготовления одноразовой посуды, которая составляет почти 90 % рекреационных отходов. Рассматривая структуру макропластика, встречаемого в данных районах, следует отметить, что источником поступления этих поллютантов в морскую среду является именно рекреационная деятельность (в районе бухты Улисс располагается крупная стоянка яхтенного флота, в районе бухты Аякс – центр досуга и отдыха горожан).

Маршруты полевой съемки регулярно корректируются в соответствии с гидродинамическими факторами, однако в наиболее вероятных районах распределения микропластика в приповерхностной толще они остаются стабильными. На рис.

5 представлен регулярный маршрут пробоотбора в прибрежных водах Владивостока. По результатам данного прохода в начале сезона 2016 г. частицы микропластика были обнаружены не во всех пунктах, что, вероятно, связано с активным выносом частиц в открытую часть залива.

Получаемый объем данных значителен, поэтому для их обработки, интерпретации и последующей визуализации используются программные средства из семейства геоинформационных систем (ArcGIS). ГИС-технологии также позволяют автоматизировать некоторые этапы мониторинга во время последующих наблюдений. Особенности ГИС позволяют разрабатывать карты динамики загрязнения, проводить сравнительный анализ, а имеющаяся статистическая база данных становится значимым инструментом в процессе принятия решений по очистке акватории.

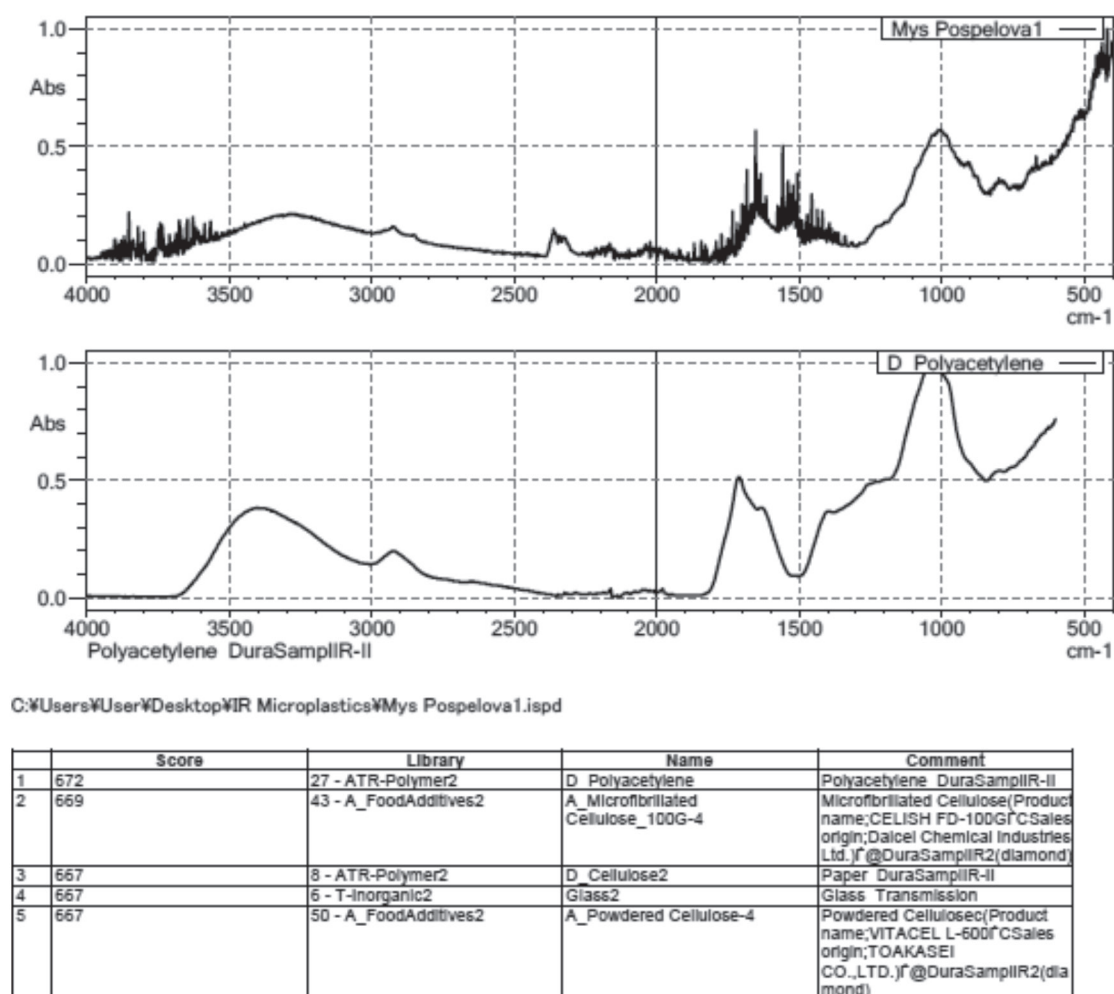


Рис. 4. Полиэтилен и целлюлоза в образцах у м. Поспелова (о. Русский)

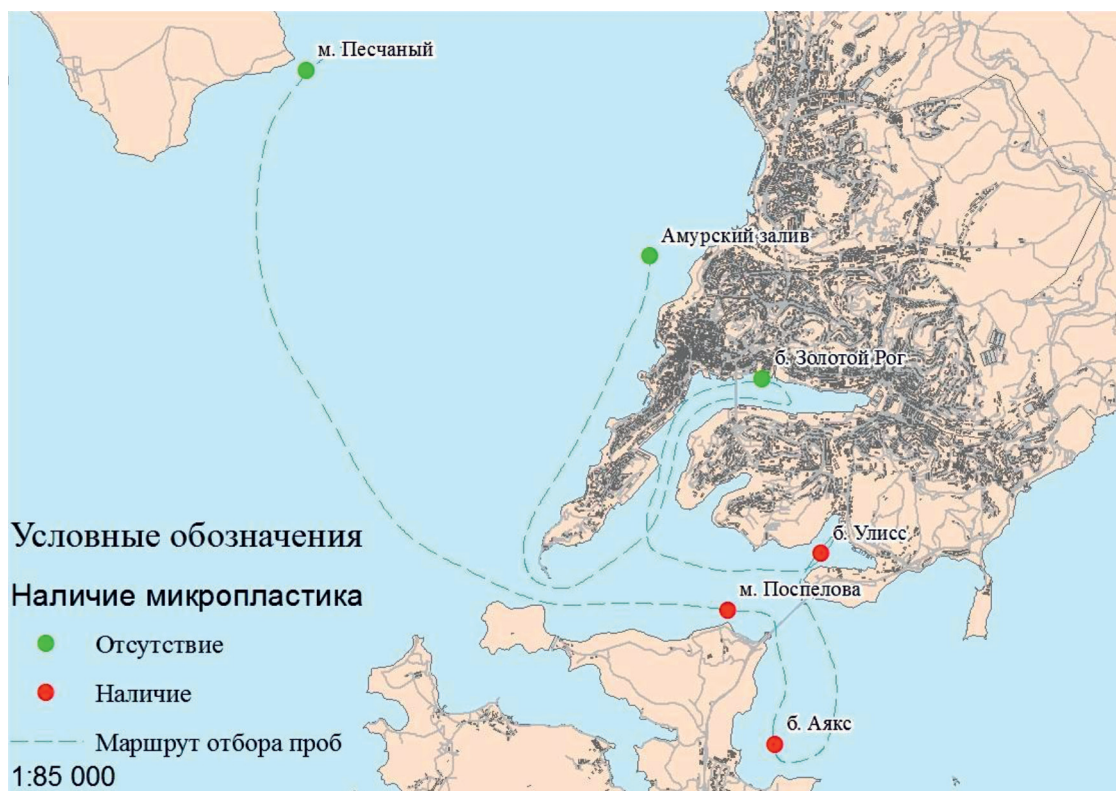


Рис. 5. Маршрут отбора проб микропластика

Проведенные наблюдения дают основание утверждать, что микропластик регулярно встречается в акватории залива Петра Великого. Качественный анализ полученных образцов позволяет предположить, что этот вид загрязнителя способен пагубно отразиться на качестве морской воды и состоянии морской биоты. Для оценки тенденций загрязнения и воздействия микропластика на основные компоненты экосистем исследования в данном направлении будут продолжены.

Список литературы

1. Казмирук В.Д., Казмирук Т.Н. Об определении микропластика в донных отложениях // Материалы научной конференции с международным участием «Современные проблемы гидрохимии и мониторинга качества поверхностных вод». Часть 2. – Ростов-на-Дону, 8–10 сентября 2015. – С. 18–22.
2. Козловский Н.В., Блиновская Я.Ю. Микропластик – макропроблема мирового океана // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2015. – № 10–1. – С. 159–162.
3. Выsockая М.В. Оценка факторов экологической безопасности при организации морской рекреации в Приморском крае / М.В. Выsockая, В.Э. Охоткина // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2015. – № 4. – С. 85–89.
4. Пластиковый мусор разлагается в океане до ядовитых соединений: [Электронный ресурс] // Информационное агентство «ХимОнлайн». – 2010. URL: http://www.himonline.ru/news/?cat_id=1&id=171273 (дата обращения: 22.11.2017).

5. Shah A.A., Hasan F., Hameed A., Ahmed S. Biological degradation of plastics: a comprehensive review. *Biotechnol. Adv.* – 2008. – № 26 (3). – P. 246–265.

6. Якименко А.Л. Микропластик в Японском море // Российский студент – гражданин, личность, исследователь [Электронный ресурс]: Материалы X Всероссийской научно-практической конференции. – Нижний Новгород: Нижегород. гос. техн. ун-т им. Р.Е. Алексеева, 2015. – С. 322–323.

References

1. Kazmiruk V.D., Kazmiruk T.N. Ob opredelenii mikroplastika v donnyh otlozhenijah // Materialy nauchnoj konferencii s mezhdunarodnym uchastiem «Sovremennye problemy gidrohimii i monitoringa kachestva poverhnostnyh vod». Chast 2. Rostov-na-Donu, 8–10 sentjabrja 2015. pp. 18–22.
2. Kozlovskij N.V., Blinovskaja Ja.Ju. Mikroplastik makroproblema mirovogo okeana // Mezhdunarodnyj zhurnal prikladnyh i fundamentalnyh issledovanij. 2015. no. 10–1. pp. 159–162.
3. Vysockaja M.V. Ocenka faktorov jekologicheskoj bezopasnosti pri organizacii morskoy re-kreacii v Primorskom krae / M.V. Vysockaja, V.E. Ohotkina // Mezhdunarodnyj zhurnal prikladnyh i fundamentalnyh issledovanij. 2015. no. 4. pp. 85–89.
4. Plastikovyj musor razlagaetsja v okeane do jadovityh soedinenij: [Jelektronnyj resurs] // Informacionnoe agentstvo «HimOnline». 2010. URL: http://www.himonline.ru/news/?cat_id=1&id=171273 (data obrashhenija: 22.11.2017).
5. Shah A.A., Hasan F., Hameed A., Ahmed S. Biological degradation of plastics: a comprehensive review. *Biotechnol. Adv.* 2008. no. 26 (3). pp. 246–265.
6. Jakimenko A.L. Mikroplastik v Japonskom more // Rossijskij student grazhdanin, lich-nost, issledovatel [Jelektronnyj resurs]: Materialy H Vserossijskoj nauchno-prakticheskoj konferencii. Nizhnij Novgorod: Nizhegorod. gos. tehn. un-t im. R.E. Alekseeva, 2015. pp. 322–323.

ТЕРАВАТТНОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ В ЗАДАЧАХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ

¹Бурнашов А.В., ¹Ошлаков В.К., ¹Иглакова А.Н., ^{1,2}Бабушкин П.А.

¹Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, Томск, e-mail: bvaleksey@iao.ru;

²Томский государственный университет, Томск, e-mail: bvaleksey@iao.ru

Одним из ведущих научных институтов в России по изучению динамики атмосферы с точки зрения оптических и микрофизических характеристик является Институт оптики атмосферы СО РАН. Одним из главных направлений является изучение распространения оптических волн и дистанционное зондирование. В рамках данного направления ведутся работы по определению характеристик выбросов с предприятий атомной и нефтехимической промышленности, что актуально, так как вблизи находятся Сибирский химический комбинат (СХК, Росатом) и Томский нефтехимический завод (ТНХК, ТВЭЛ). Также важными можно считать исследования оптических и микрофизических характеристик перистой облачности, так как вклад от нее сопоставим с вкладом парниковых газов в парниковый эффект, под воздействием которого крупный айсберг откололся от Антарктиды. Третьей областью исследований следует выделить изучение взаимодействия мощного тераваттного излучения с компонентами естественного и искусственного происхождения, с атмосферой и ее составляющими с целью обеспечения дальнего распространения оптического излучения и разработки новых методов зондирования и определения необходимых характеристик различных сред. Это стало возможным благодаря бурному развитию лазерной техники и уменьшению блоков лазерных систем. Это позволило иметь относительно компактные лазерные системы, генерирующие мощные фемтосекундные лазерные импульсы. Применение лазерных технологий в настоящее время и их дальнейшее развитие, новые знания в физике атмосферы – все это позволит уменьшить негативное влияние деятельности человека на окружающую среду. Были проведены серии натурных и численных экспериментов с целью определения возможности использования мощного тераваттного фемтосекундного излучения для дистанционного зондирования атмосферы. На основе анализа полученных результатов сделан вывод о возможности и перспективности использования фемтосекундного излучения в задачах зондирования.

Ключевые слова: зондирование, фемтосекундный импульс, суперконтинуум, лидар, коническая эмиссия, филамент, лазерное излучение

TERAWATT RADIATION IN THE CASE OF REMOTE SENSING

¹Burnashov A.V., ¹Oshlakov V.K., ¹Iglakova A.N., ^{1,2}Babushkin P.A.

¹Institute of Atmospheric Optics, Tomsk, e-mail: bvaleksey@iao.ru;

²Tomsk State University, Tomsk, e-mail: bvaleksey@iao.ru

One of the leading scientific institutes in Russia on the study of atmospheric dynamics from the point of view of optical and microphysical characteristics is the Institute of Atmospheric Optics of the SB RAS. One of the main directions is the study of the propagation of optical waves and remote sensing. In this direction, work is underway to determine the characteristics of emissions from enterprises of the nuclear and petrochemical industries, which is important, as the Siberian Chemical Combine (SCHC, Rosatom) and Tomsk Petrochemical Combine (TPChC, TVEL) are close to it. Also important is the study of optical and microphysical characteristics of cirrus clouds, since the contribution from it is comparable to the contribution of greenhouse gases to the greenhouse effect, under the influence of which a large iceberg from Antarctica has been separated. The third area of research should be the study of the interaction of high-power terawatt radiation with components of natural and artificial origin, with the atmosphere and its components in order to ensure the long-range propagation of optical radiation and the development of new methods for sensing and determining the necessary characteristics of various media. This became possible due to the rapid development of laser technology and the reduction of blocks of laser systems. This has allowed relatively compact laser systems that generate powerful femtosecond laser pulses. The use of laser technologies at present and their further development, new knowledge in atmospheric physics will all reduce the negative impact of human activities on the environment. A series of natural and numerical experiments were conducted to determine the possibility of using a powerful terawatt femtosecond radiation for remote sensing of the atmosphere. Based on the analysis of the results obtained, a conclusion is made about the possibility and prospects of using femtosecond radiation in probing problems.

Keywords: remote sensing, femtosecond pulse, supercontinuum, lidar, conical emission, filament, laser radiation

Одной из главных задач атмосферной оптики является корректная интерпретация характеристик атмосферы и различных атмосферных образований [1–3] как экспериментально, так и теоретически и попытка их обобщения для дальнейшего использования. С развитием лазерных технологий все большее внимание стало уделяться возможности зондирования атмосферы лидарными

методами с использованием лазеров, генерирующих мощное тераваттное и мультитераваттное излучение [4–9]. На первых этапах численного моделирования рассеяния света рассматривается излучение на длине волны 0,55 мкм, например [10–14], и в дальнейшем в зависимости от поставленных задач включаются, например, различные длины волн, поляризация излучения, тур-

булентность атмосферы и т.д. Отдельной задачей стоит зондирование окружающей среды предельно короткими (по отношению к длине волны зондирования) импульсами. Создаются системы зондирования на основе лазеров, излучающих импульсы длительностью от нескольких десятков фемтосекунд, проводятся эксперименты по исследованию окружающей среды (атмосферы, водной и земной поверхности, растительного покрова, облачности) с целью регистрации сигналов флуоресценции, определения состава атмосферы на трассах до десятков километров, высвечиваемых излучением «суперконтинуума», возникающего в результате спектрального и временного уширения зондирующего импульса [4–9]. За счет эффектов фемтосекундной нелинейной оптики спектр трансформированного излучения расширяется на несколько спектральных октав – от ультрафиолетовой до средней и даже дальней инфракрасных областей. Параметры излучения СК остаются в пределах параметров лазерного излучения. И, как следствие, излучение СК признано перспективным для лазерного зондирования атмосферы.

Материалы и методы исследования

Основная цель данной работы – изучение возможности применения сверхкоротких лазерных импульсов в задачах зондирования. Методической основой проекта является комплексность исследований, сочетающая в себе натурные, лабораторные, численные эксперименты, использование современной материальной базы.

Основной метод, используемый в экспериментальной части данной работы, – метод лазерного зондирования окружающей среды и различных трасс распространения (включая более плотные, чем воздух, образования различной природы) мощными фемтосекундными импульсами (регулируемая энергия импульса от 10 до 100 мДж длительностью несколько десятков фемтосекунд). Применение данного активного метода зондирования по изучению распространения мощного тераваттного фемтосекундного импульса базируется на использовании фемтосекундной лазерной системы Института оптики атмосферы СО РАН [5, 6]. Основные подходы в экспериментальной части работы при использовании мощного тераваттного излучения фемтосекундного Ti-Sa лазера будут следующие:

1) использование различных схем лазерного зондирования (излучатель и при-

емник располагаются либо в одном месте, либо разнесены в одной горизонтальной плоскости);

2) в качестве зондирующего излучения в режиме генерации суперконтинуума будут использоваться длины волн 785–815 нм (длительность 20 фс, энергия 10–100 мДж, мощность 0,5–5 тВт);

3) использование второй и третьей гармоники.

Еще одной составляющей при выполнении данного проекта предполагается использование метода статистического и численного моделирования. В частности, использование разработанной программы в ИОА СО РАН при непосредственном участии членов научного коллектива [10–14] на основе метода геометрической оптики. Данный программный продукт позволяет решить задачу по рассеянию света на ледяных кристаллах перистой облачности, что дает возможность объяснить получаемые экспериментальные данные при дистанционном зондировании атмосферных трасс с учетом наличия на них ледяных кристаллических частиц, а также перистой облачностью. Комплексный подход по исследованию характеристик распространения мощного фемтосекундного лазерного излучения, например оптоакустических, геометрических, физических, колориметрических, позволяет получить более точную информацию об особенностях распространения тераваттного излучения в атмосфере. Численное решение уравнения лазерного зондирования с различными начальными характеристиками делает возможной интерпретацию полученных результатов.

Результаты исследования и их обсуждение

В данной работе зондирование слоя облачности проводилось под углом 30° относительно горизонта (рис. 1). Для выделения излучения обратного рассеяния в спектре СК был установлен фильтр СЗС 23.

Спектральный диапазон его работы практически совпадает с полосой пропускания используемого ФЭУ, что позволило регистрировать обратное рассеяние от СК на длинах волн 0,35–0,65 мкм и 1–1,1 мкм. При проведении зондирования установленный фильтр толщиной 2 мм полностью не пропускал рабочую (лазерную) длину волны. На рис. 1 представлен спектр обратного рассеяния от слоя облачности.

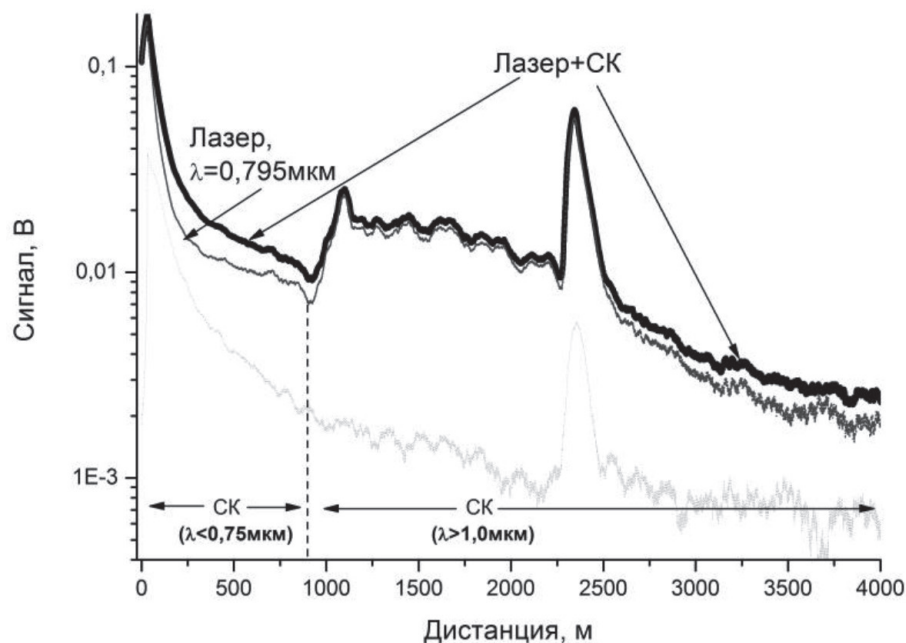


Рис. 1. Запись лидарного сигнала от слоя облачности при зондировании на наклонной трассе:
 черный – излучение обратного рассеяния на сумме длин волн лазерная + СК;
 темно-серый – обратное рассеяние на лазерной длине волны 0,8 мкм;
 светло-серый – обратное рассеяние на длинах волн СК

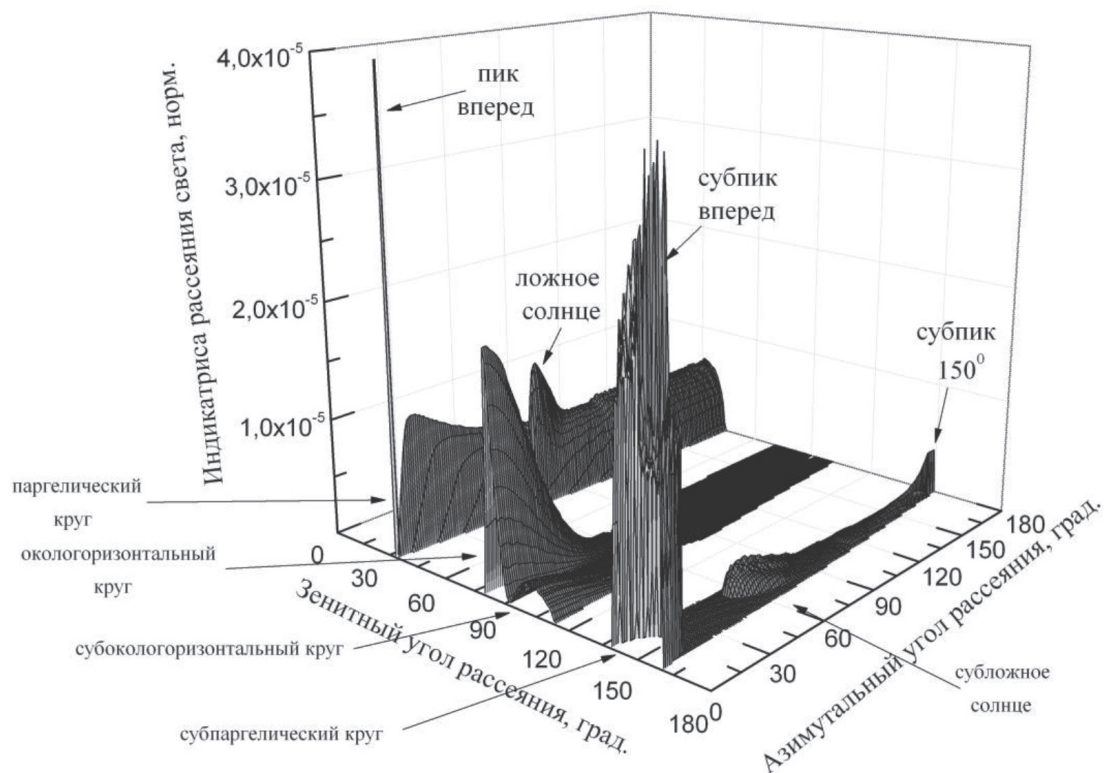


Рис. 2. Сфера направлений рассеяния света при длине волны 0,55 мкм на ледяных кристаллических пластинчатых кристаллах перистой облачности при угле падения 30° относительно зенита

По данным зондирования был оценен показатель ослабления лазерного излучения вдоль трассы. Судя по его высотному распределению и протяженности слоя облачности можно предположить, что на участке 450–600 м находилась слоистая облачность, высота основания которой обычно составляет 0,1–0,7 км, а толщина слоя – от 0,2 до 0,8 км. На участке 1150–1250 м – слоисто-кучевая облачность. Высота основания составляет 0,5–1,5 км, толщина слоя – от 0,2–0,8 км.

Вторая часть работы заключалась в численном моделировании рассеяния света на длине волны 0,55 мкм на примере наиболее распространенных ледяных кристаллов перистой облачности, гексагональных пластинок и столбиков (рис. 2).

Отметим, что актуальность проводимых исследований подтверждается тем, что, во-первых, натурные измерения влияния перистой облачности показывают, что вклад в парниковый эффект от ее наличия в атмосфере сопоставим с вкладом от парниковых газов, образующихся от жизнедеятельности человечества. Во-вторых, фемтосекундную систему ИОА СО РАН можно использовать для изучения перистых облаков как 0,55 мкм, так и с помощью волнового пакета. Дальнейшая модификация численного алгоритма для расчета на других длинах волн позволит установить основные закономерности изменений в матрице Мюллера.

Несмотря на то, что данная задача была частично рассмотрена [10–14], следует уделить отдельное внимание задаче рассеяния света на горизонтально и преимущественно ориентированных гексагональных пластинках при различных начальных параметрах. Во-первых, потому что, как уже было отмечено, формы данных кристаллических частиц являются наиболее распространенными. Во-вторых, ледяные гексагональные пластинки вносят главенствующий вклад в образование наиболее часто встречаемых гало, например, таких как паргелический круг (Parhelic circle), субпаргелический круг (Subparhelic circle), ложное солнце (Sundog) паргелий 120° (Parheliion 120°). В-третьих, последние исследования по лидарному зондированию перистой облачности показали [15], что для определения наличия ориентированных гексагональных кристаллов предпочтительным является использование сканирующего лидара и выбора наиболее информативного элемента по поляризационным характеристикам. А от ориентации кристаллов, ее частоты существования за-

висит зеркальное отражение солнечного излучения, которое дает вклад в парниковый эффект.

Исходя из анализа геометрии пучков в кристаллах, были сделаны следующие выводы. В соответствии с законом Снеллиуса ($\theta = \arcsin(n_2/n_1)$), если присутствует полное внутреннее отражение, то энергия пучка без потерь остается в пучке в данной среде распространения. При этом линейная поляризация света остается линейной с возможным наклоном. Круговая поляризация образуется лишь, когда присутствует полное внутреннее отражение. Как было показано ранее, если углы падения света на шестигранники пластинчатых кристаллов лежат промежутке $\pi/2 - \theta^* < \theta_0 < \theta^*$, где $\theta^* \approx 58^\circ$ [11–13], то можно утверждать, что присутствует эффект полного внутреннего отражения. Вследствие геометрии наиболее распространенных кристаллов перистых облаков получим при параметре формы 0,4 с учетом, что угол между вертикалью и направлением распространения излучения будет примерно 34 градуса, будет присутствовать траектория с сохранением энергии излучения внутри кристалла. При уменьшении относительных размеров частицы рассмотренная траектория будет видоизменяться путем добавления дополнительных траекторий с дополнительными полными отражениями от шестиугольных граней. И, как следствие, будет происходить постепенное увеличение доли рассеянной компоненты M_{44} .

Таким образом, было показано, что на основе анализа поведения рассеянного на кристаллах излучения можно сделать вывод об относительных размерах частиц. Дальнейшая модификация алгоритма предполагает как лабораторные исследования процесса распространения излучения, например, фемтосекундной длительности уже в различных кристаллах, так и натурные эксперименты на основной длине волны Ti:Sapphire лазера и конической эмиссии суперконтинуума. Совместные исследования атмосферы широким диапазоном спектра КЭ СК и TomSky позволят дать более детальную информацию о состоянии и динамике атмосферы.

Заключение

Результаты проведенных экспериментов позволили сделать вывод, что зондирование можно проводить как на основной длине волны лазера, так и на второй, третьей и даже четвертой гармонике. Для реализа-

ции гармоник, отличных от лазерной, могут быть использованы преобразователи частоты в виде нелинейных кристаллов или перестраиваемый лазер.

В экспериментальной части работы использовалась уникальная фемтосекундная система, характеристики которой кратко описаны выше, в совокупности с телескопом конструкции Ньютона с диаметром главного зеркала 30 см и фокусным расстоянием 80 см. Были получены результаты по распределению энергии тераваттного излучения между приосевой частью лазерного излучения и конической эмиссии суперконтинуума.

В численной части на основе метода геометрической оптики было исследовано поведение элементов матрицы рассеяния и определен наиболее чувствительный элемент для идентификации размеров частиц на длине волны 0,55 мкм. С одной стороны, полученные данные могут быть использованы в интерпретации получаемых обратных сигналов. С другой стороны, модификация численного алгоритма позволит сделать расчеты как для других длин волн, в частности для основной длины волны Ti:Sapphire лазера 0,8 мкм, так и для других кристаллических структур.

На основе полученных данных был сделан вывод о перспективности применения фемтосекундного излучения для широкого круга исследований вследствие отсутствия необходимости перестройки лазера на одной длине волны и возможности получения экспериментальных данных сразу на совокупности длин волн, что повышает оперативность получения информации в широком спектральном диапазоне и позволяет более точно определять разнообразные характеристики зондируемой атмосферы.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 16-35-00173 мол_а и РНФ № 16-17-10128.

Список литературы

1. Kolotkov G.A., Penin S.T. Computation of radiation power from standard radioactive emissions of radiochemical plant at frequencies of 1420 and 1665–1667 MHz // *Atmospheric and Oceanic Optics*. – 2014. – vol. 27. – № 4. – P. 320–323.
2. Колотков Г.А., Пенин С.Т. Физико-химические характеристики искусственно ионизированных образований в атмосфере // *Известия высших учебных заведений. Физика*. – 2016. – Т. 59, № 12–3. – С. 37–40.
3. Kolotkov G., Penin S. Remote monitoring of emission activity level from NPP using radiofrequencies 1420, 1665, 1667 MHz in real time // *Journal of Environmental Radioactivity*. – 2013. – vol. 115. – P. 69–72.
4. Множественная филаментация лазерных пучков различного диаметра в воздухе на трассе длиной 150 м / Д.В. Апекумов [и др.] // *Оптика атмосферы и океана*. – 2016. – Т. 29, № 01. – С. 51–55.
5. Постфиламентационные световые каналы в воздухе / Д.В. Апекумов [и др.] // *Оптика атмосферы и океана*. – 2017. – Т. 30, № 04. – С. 291–295.
6. Гейнц Ю.Э., Землянов А.А. Филаментация пучка ультракоротких лазерных импульсов в воздухе // *Оптика атмосферы и океана*. – 2017. – Т. 30, № 12. – С. 1001–1007.
7. Филаментация фемтосекундных ИК и УФ импульсов при фокусировке в воздухе / А.А. Дергачев [и др.] // *Квантовая электроника*. – 2013. – Т. 43, № 1. – С. 29–36.
8. Shipilo D.E., Panov N.A., Sunchugasheva E.S., Mokrousova D.V., Shutov A.V., Zvorykin V.D., Ustinovskii N.N., Seleznev L.V., Savel'ev A.B., Kosareva O.G., Chin S.L., Ionin A.A. Fifteen meter long uninterrupted filaments from sub-terawatt ultraviolet pulse in air // *Optics Express*. – 2017. – vol. 25. – № 21. – P. 25386–25391.
9. Polynkin P. Multi-pulse scheme for laser-guided electrical breakdown of air // *Appl. Phys. Lett.* – 2017. – vol. 111. – № 161102. – P. 161102-1–161102-5.
10. Бурнашов А.В., Боровой А.Г. Рассеяние света горизонтально ориентированными столбиками // *Оптика атмосферы и океана*. – 2008. – Т. 21, № 11. – С. 922–930.
11. Бурнашов А.В., Боровой А.Г. Рассеяние света горизонтально ориентированными ледяными пластинками. II. Матрица рассеяния // *Оптика атмосферы и океана*. – 2007. – Т. 20, № 11. – С. 966–972.
12. Borovoi A.G., Burnashov A.V., Oppel U.G. Scattering matrices for horizontally oriented ice crystals // *JQSRT*. – 2008. – vol. 109. – № 15. – P. 2648–2655.
13. Бурнашов А.В., Боровой А.Г. Рассеяние света горизонтально ориентированными ледяными пластинками. I. Интенсивность рассеянного света // *Оптика атмосферы и океана*. – 2007. – Т. 20, № 07. – С. 583–592.
14. Бурнашов А.В., Коношонкин А.В. Матрица рассеяния света на усеченном пластинчатом докстале, ориентированном преимущественно в горизонтальной плоскости // *Оптика атмосферы и океана*. – 2012. – Т. 25, № 12. – С. 1043–1050.
15. Коношонкин А.В. Моделирование сигнала сканирующего лидара от монодисперсного облака квазигоризонтально ориентированных частиц / А.В. Коношонкин // *Оптика атмосферы и океана*. – 2016. – Т. 29, № 12. – С. 1053–1060.

References

1. Kolotkov G.A., Penin S.T. Computation of radiation power from standard radioactive emissions of radiochemical plant at frequencies of 1420 and 1665–1667 MHz // *Atmospheric and Oceanic Optics*. 2014. vol. 27. no. 4. pp. 320–323.
2. Kolotkov G.A., Penin S.T. Fiziko-himicheskie karakteristiki iskusstvenno ionizirovannykh obrazovaniy v atmosfere // *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenij. Fizika*. 2016. T. 59, no. 12–3. pp. 37–40.
3. Kolotkov G., Penin S. Remote monitoring of emission activity level from NPP using radiofrequencies 1420, 1665, 1667 MHz in real time // *Journal of Environmental Radioactivity*. 2013. vol. 115. pp. 69–72.
4. Mnozhestvennaya filamentacija lazernyh puchkov razlichnogo diametra v vozduhe na trasse dlinoj 150 m / D.V. Apeksimov [i dr.] // *Optika atmosfery i okeana*. 2016. T. 29, no. 01. pp. 51–55.
5. Postfilamentacionnye svetovye kanaly v vozduhe / D.V. Apeksimov [i dr.] // *Optika atmosfery i okeana*. 2017. T. 30, no. 04. pp. 291–295.
6. Gejnc Ju.Je., Zemljanov A.A. Filamentacija cuga ultrakorotkih lazernyh impulsov v vozduhe // *Optika atmosfery i okeana*. 2017. T. 30, no. 12. pp. 1001–1007.

7. Filamentacija femtosekundnyh IK i UF impulsov pri fokusirovke v vozduhe / A.A. Dergachev [i dr.] // Kvantovaja elektronika. 2013. T. 43, no. 1. pp. 29–36.
8. Shipilo D.E., Panov N.A., Sunchugasheva E.S., Mokrousova D.V., Shutov A.V., Zvorykin V.D., Ustinovskii N.N., Seleznev L.V., Savelev A.B., Kosareva O.G., Chin S.L., Ionin A.A. Fifteen meter long uninterrupted filaments from sub-terawatt ultraviolet pulse in air // Optics Express. 2017. vol. 25. no. 21. pp. 25386–25391.
9. Polynkin P. Multi-pulse scheme for laser-guided electrical breakdown of air // Appl. Phys. Lett. 2017. vol. 111. no. 161102. pp. 161102-1–161102-5.
10. Burnashov A.V., Borovoj A.G. Rassejanie sveta gorizontarno orientirovannymi stolbikami // Optika atmosfery i okeana. 2008. T. 21, no. 11. pp. 922–930.
11. Burnashov A.V., Borovoj A.G. Rassejanie sveta gorizontarno orientirovannymi ledjanymi plastinkami. II. Matrica rassejanija // Optika atmosfery i okeana. 2007. T. 20, no. 11. pp. 966–972.
12. Borovoi A.G., Burnashov A.V., Oppel U.G. Scattering matrices for horizontally oriented ice crystals // JQSRT. 2008. vol. 109. no. 15. pp. 2648–2655.
13. Burnashov A.V., Borovoj A.G. Rassejanie sveta gorizontarno orientirovannymi ledjanymi plastinkami. I. Intensivnost rassejannogo sveta // Optika atmosfery i okeana. 2007. T. 20, no. 07. pp. 583–592.
14. Burnashov A.V., Konoshonkin A.V. Matrica rassejanija sveta na usechenom plastinchatom drokstalle, orientirovannom preimushhestvenno v gorizontальной ploskosti // Optika atmosfery i okeana. 2012. T. 25, no. 12. pp. 1043–1050.
15. Konoshonkin A.V. Modelirovanie signala skanirujushhego lidara ot monodispersnogo oblaka kvazigorizontarno orientirovannyh chastic / A.V. Konoshonkin // Optika atmosfery i okeana. 2016. T. 29, no. 12. pp. 1053–1060.

УДК 556.3:550.4(479.2)

ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ КАРБОНАТНЫХ РАВНОВЕСИЙ В ВОДАХ ЗОНЫ КАТАГЕНЕЗА ПРЕДКАВКАЗЬЯ

Волков В.Н.

ФГАОУ ВО «Южный федеральный университет», Ростов-на-Дону, e-mail: vnvvnv1952@gmail.com

Объектом термодинамического рассмотрения были глубокозалегающие хлоридные натриевые и кальциево-натриевые подземные воды Предкавказья с минерализацией от 20 до 340 г/кг, находящиеся в условиях температур – 100–200 °С и давлений – 10–100 МПа, а предметами изучения – карбонатные равновесия. На основе приложений равновесной термодинамики произведена количественная оценка миграционных форм макрокомпонентов в водоносных комплексах подмайокопского гидрогеологического этажа Предкавказья. Все воды характеризуются полным отсутствием свободных сульфатных ионов, а при минерализации более 70 г/кг – гидрокарбонатных. Степень образования комплексных ионов с участием кальция и магния составляет 10–60% от аналитических концентраций (значения ионных сил менее 3–4) и достигает максимума (100%) в рассолах с минерализацией более 250–300 г/кг. Выполнены расчеты по оценке степени насыщенности глубокозалегающих вод Предкавказья карбонатами кальция и магния. При значениях минерализации свыше 70 г/кг все изученные воды недонасыщены по карбонатам (кальциту, доломиту и магнезиту). Максимальными индексами насыщенности характеризуется система кальцит – соленые воды и слабые рассолы карбонатных отложений. Степень насыщенности вод карбонатами снижается с ростом минерализации и возрастает с увеличением щелочности водного раствора и температуры. Установлена недонасыщенность исследуемых вод по магнезиту, а также невозможность образования катагенетического доломита в современных условиях глубоких зон Предкавказья. Представляется наиболее вероятным, что доломитизация известняков началась в диагенезе и завершилась в период катагенеза, когда температуры мезозойских отложений достигли 100–110 °С, а значения a_{Mg}^{+2}/a_{Ca}^{+2} снизились до величин 4–6. Высокие концентрации кальция в глубокозалегающих водах Предкавказья объясняются направленным изменением форм его миграции в жестких термобарических условиях катагенеза, отсутствием свободных гидрокарбонатных и сульфатных ионов, возрастанием количеств водорастворенной уголекислоты.

Ключевые слова: гидрогеология, гидрогеохимия, Предкавказье, глубокозалегающие подземные воды, карбонатные равновесия, доломитизация, формы миграции, термодинамический анализ

THERMODYNAMIC ANALYSIS OF THE CARBONATE EQUILIBRIUM CONDITION IN THE WATERS OF THE CATAGENESIS ZONE OF THE PRE-CAUCASUS

Volkov V.N.

Southern Federal University, Rostov-on-Don, e-mail: vnvvnv1952@gmail.com

The object of thermodynamic analysis are the deep-lying sodium chloride and calcium-sodium waters of Pre-Caucasus with mineralization from 20 to 340 g/kg, in conditions of temperatures between 100 and 200 °C and pressure between 10 and 100 MPa, and the subject matter is the carbonate equilibrium. Based on applications of equilibrium thermodynamics, a quantitative assessment of the migration forms of macrocomponents in deep-lying complexes within Premaykopskiy hydrogeological floor of the Pre-Caucasus. All waters are characterized by a complete absence of free sulfate ions, and with mineralization more than 70 g/kg of hydrocarbonate ions. The degree of complex formation with participation of calcium and magnesium is 10 to 60% of analytical concentrations (ionic strengths less than 3 to 4) and reaches its maximum (100%) in brines with mineralization more than 250–300 g/kg. Calculations were performed to assess the degree of saturation of deep-lying waters the Pre-Caucasus with calcium and magnesium carbonates. At mineralization values over 70 g/kg, all studied waters are undersaturated with carbonates (calcite, dolomite and magnesite). The maximum saturation index is characteristic for the system of calcite-saline waters and weak brines of carbonate deposits. The degree of carbonate saturation of the waters decreases with increasing mineralization and rises with increasing alkalinity of the aqueous solution and temperature. Under-saturation of the investigated waters with magnesite was discovered, as well as the impossibility of catagenetic dolomite formation in the present conditions of deep zones of the Pre-Caucasus. It seems most likely that limestone dolomitization started in diagenesis and completed in catagenesis, when the temperature of Mesozoic deposits reached 100–110 °C, and the values a_{Mg}^{+2}/a_{Ca}^{+2} decreased to values 4–6. High concentrations of calcium in deep-lying waters of the Pre-Caucasus are explained by a directional change in the forms of migration of chemical components under severe thermobaric catagenetic conditions, the absence of free hydrocarbonate and sulfate ions, the increasing quantities of water-soluble carbonic acid.

Keywords: hydrogeology, hydrogeochemistry, Pre-Caucasus, deep-lying waters, carbonate equilibrium, dolomitization, forms of migration, thermodynamic analysis

Изучение катагенетических процессов является одной из актуальнейших задач гидрогеологической и литологической науки. С ее решением связаны многие дискуссионные проблемы литологии и гидрогеологии глубоких горизонтов осадочных бассейнов.

Объектом термодинамического рассмотрения были глубокозалегающие подземные воды Предкавказья, находящиеся в жестких термобарических условиях (температуры – 100–200 °С, давления – 10–100 МПа), являющиеся одним из ведущих факторов литогенеза, а предмета-

ми изучения – карбонатные равновесия. Последние относятся к важнейшим процессам системы порода – вода – газ, а их исследование позволяет получать информацию о направленности и масштабах катагенетического карбонатообразования и механизмах метаморфизации глубокозалегающих вод.

В процессе исследований решались следующие задачи:

1. Оценка степени насыщенности вод зоны катагенеза Предкавказья карбонатами кальция и магния.
2. Установление направленности и масштабов процессов катагенетического карбонатообразования, в том числе реакций доломитизации.
3. Выяснение гидрогеологических и литологических следствий катагенетического минералообразования.

Материалы и методы исследования

Термодинамическому рассмотрению предшествовал анализ сведений о пространственных гидрохимических закономерностях и генетических особенностях подземных вод [1, 2].

Для термодинамической оценки более чем из 1000 химических анализов были выбраны 250 самых представительных определений. При этом учитывались способ отбора проб, время хранения, вероятность загрязнения составляющими глинистого раствора и продуктами соляно-кислотной обработки. Химический состав изученных

вод представлен на рис. 1 и 2 в виде корреляционных полей отдельных компонентов.

Решение поставленных задач базировалось на положениях равновесной термодинамики и их приложениях к изучению термоминеральных вод [3–6].

Оценка степени насыщенности вод карбонатами производилась в соответствии с положениями теории активности и комплексообразования. Концентрация веществ рассматривалась как функция электростатических взаимодействий и процессов, обуславливающих связывание ионов в комплексные соединения. Учитывая степень (20–340 г/кг) и характер минерализации (исследуемые воды относятся к хлоридным натриевым и хлоридным кальциево-натриевым), коэффициенты активности определялись по уравнению Дебая – Хюккеля в форме третьего приближения:

$$\lg \gamma = \frac{-Az^2 \sqrt{J}}{J + dB \sqrt{J}} + CJ, \quad (1)$$

где γ – коэффициент активности иона, J – ионная сила раствора ($J = \frac{1}{2} \sum c_i z_i^2$), z – валентность иона, d – эффективный диаметр иона, A и B – термодинамические константы, C – коэффициент, зависящий от диэлектрической проницаемости воды, степени гидратации ионов и факторов, обуславливающих высаливающий эффект. Параметры d , A , B взяты из справочника [7]. Значения константы C экспериментально определены Г.К. Хелгесоном. При температурах 25, 100, 175 °C они соответственно равны – 0,041; 0,046; 0,05.

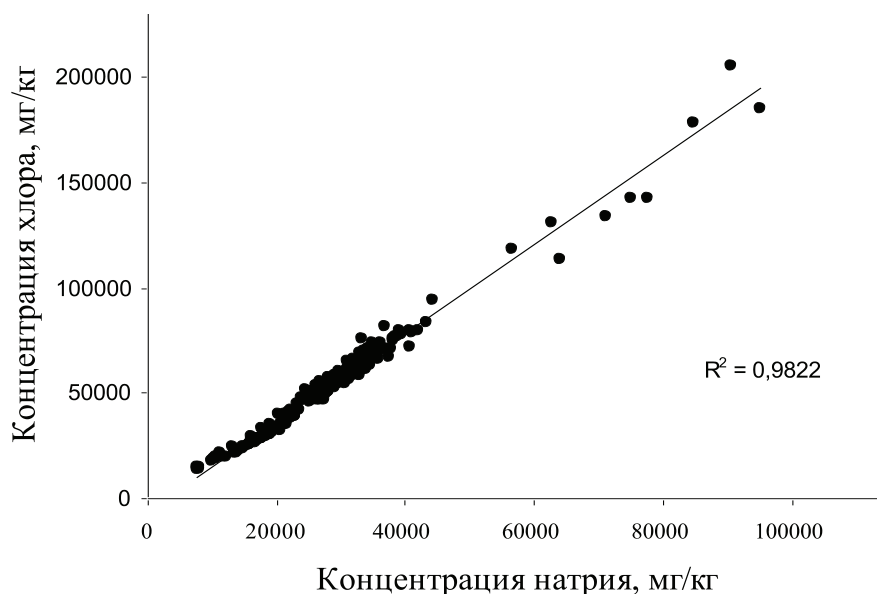


Рис. 1. Корреляционное поле натрия и хлора (R^2 – степень аппроксимации)

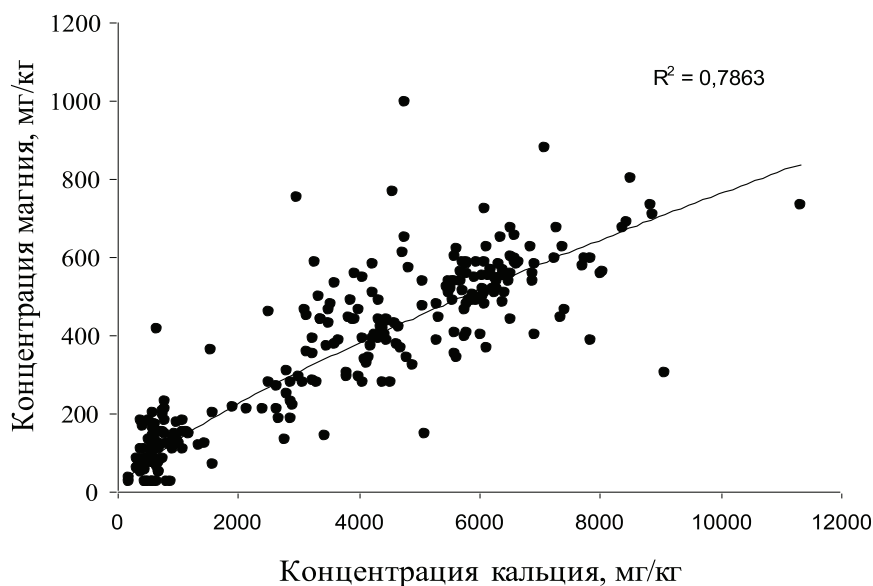


Рис. 2. Корреляционное поле кальция и магния

Эффекты комплексообразования оценивались по расчетному содержанию следующих ионных пар: CaCl_2^0 , CaCl^+ , CaHCO_3^+ , CaSO_4^0 , MgCl_2^0 , MgCl^+ , MgHCO_3^+ , MgSO_4^0 , NaCl^0 , NaHCO_3^0 . Оптимальные соотношения между концентрациями частиц в растворе и активностью ионов достигались на основе итерации. Расчеты степени насыщенности вод производились по формуле

$$R = \frac{a\text{Me} \times a\text{HCO}_3^- \times K_2}{a\text{H}^+ \times L\text{MeCO}_3}, \quad (2)$$

где R – степень насыщенности воды карбонатами кальция (магния, стронция); $a\text{Me}$ – активность иона кальция (магния); $a\text{HCO}_3^-$, $a\text{H}^+$ и $a\text{CO}_2$ активности гидрокарбонатного иона, протия и углекислого газа; L – термодинамическая константа растворимости соответствующего карбоната (кальцита, магнезита, доломита); K_2 – константа диссоциации угольной кислоты второй ступени. Значения термодинамических констант, коэффициентов активности углекислоты и воды взяты из опубликованных источников [3, 7], а в отдельных случаях вычислены по величинам свободных энергий образования веществ.

Результаты исследования и их обсуждение

Расчеты миграционных форм показали, что соотношения между простыми, сложными и комплексными ионами существенно изменяются в зависимости от минерализации и термобарических условий.

Установлено, что в водах с минерализацией до 40–50 г/кг 60–80% хлора мигрирует в форме простого иона Cl^- . В рассолах с минерализацией свыше 200 г/кг в условиях температур 140–160°C основными формами миграции хлора являются ионные пары NaCl^0 , CaCl_2^0 , CaCl^+ , а активность простого иона снижается до 15–20%.

Все изученные воды характеризуются полным отсутствием свободных сульфатных ионов, которые мигрируют в виде ионных пар CaSO_4^0 и MgSO_4^0 .

Для гидрокарбонатных ионов (рис. 3) максимальная активность (35–60% от аналитических концентраций) установлена в соленых водах майкопской серии и верхнего мела с минерализацией до 30–40 г/кг (ионные силы растворов менее 0,7). С ростом минерализации их активность снижается до 5–25% (воды с минерализацией 40–50 г/кг) и практически отсутствует при солености вод свыше 50–60 г/кг (значения ионных сил 0,75–1,0), где основными формами миграции являются ионные пары CaHCO_3^+ и NaHCO_3^0 .

Для катионогенных компонентов характерен более сложный тип связи ионной силы раствора и активности (рис. 4 и 5) с максимумом при значениях ионных сил 1,5–3,0 (минерализация 80–180 г/кг). При этом минимальные значения активности ионов устанавливаются как в крепких рассолах, так и в соленых гидрокарбонатно-хлоридных водах первого типа (по Алекину) майкопской серии верхнего и нижнего мела.

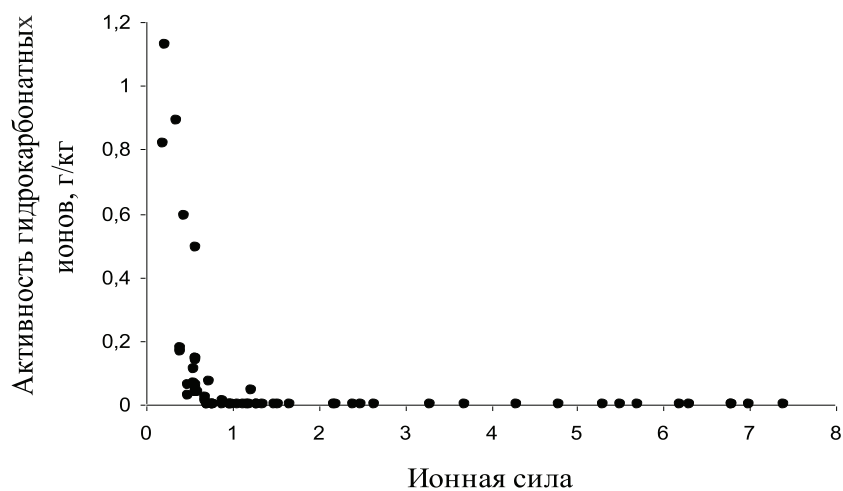


Рис. 3. Корреляционное поле ионной силы раствора – активность гидрокарбонатных ионов, г/кг

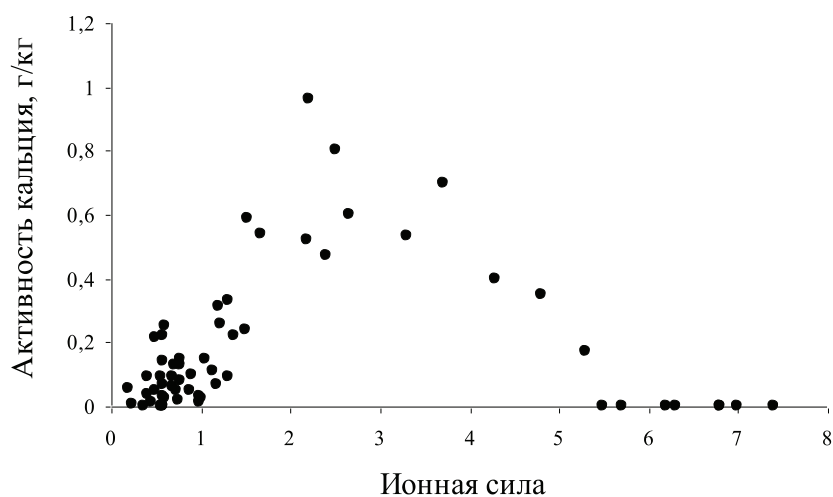


Рис. 4. Корреляционное поле ионной силы раствора – активность иона кальция, г/кг

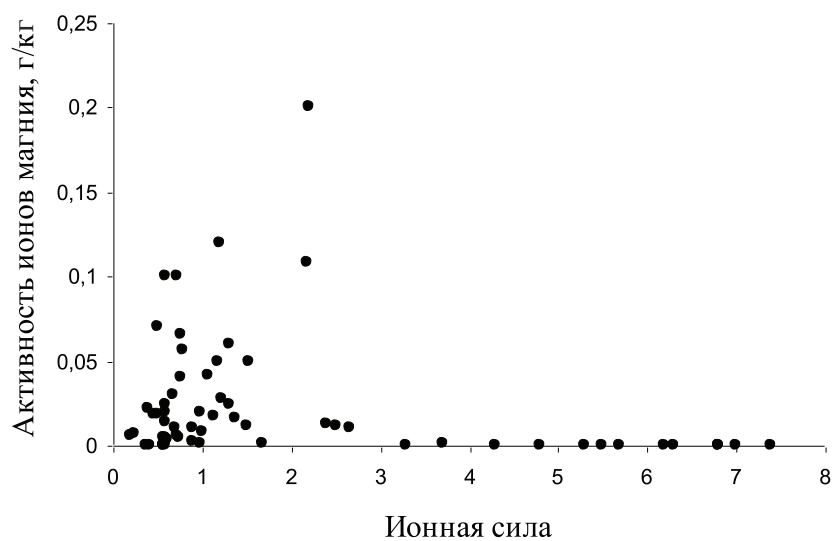


Рис. 5. Корреляционное поле ионной силы раствора – активность иона магния, г/кг

Формами миграции натрия являются ион натрия, ионные пары NaCl^0 и NaHCO_3^0 (соленые воды и слабые рассолы) и исключительно NaCl^0 (крепкие рассолы).

Степень комплексообразования с участием кальция и магния существенно выше, чем у натрия и изменяется в пределах 10–60% (значения ионных сил менее 3–4), достигая максимума (100%) в рассолах с минерализацией более 250–300 г/кг, где отмечаются их максимальные аналитические концентрации. Формы миграции существенно меняются. В соленых водах и весьма слабых рассолах доминируют ионные пары CaHCO_3^+ , MgHCO_3^+ , в крепких рассолах – CaCl_2^0 , CaCl^+ , MgCl_2^0 , MgCl^+ .

Учитывая установленные закономерности распределения миграционных форм, расчеты по оценке степени насыщенности по уравнению (2) были выполнены только для вод с минерализацией 24–70 г/кг.

Расчеты показали, что максимальными величинами насыщенности по кальциту, доломиту характеризуются воды карбонатных отложений верхнего мела, неокома, верхней юры и триаса, которые, как правило, перенасыщены в 8–100 раз кальцитом, в 3–10 раз доломитом. Практически все воды зоны катагенеза Предкавказья недонасыщены по магнезиту. Высокие величины перенасыщения, вероятно, объясняются неучтенностью в расчетах органоминеральных комплексов. Выполненные расчеты показали, что максимально возможные количества кальцита, отлагающегося из 1 дм^3 воды, не превышают 0,5–1,3 мг.

Выполнялась оценка доломитизирующей способности подземных вод, близких к насыщению и перенасыщенных кальцитом и доломитом. В качестве термодинамического критерия использовалось уравнение, отражающее равновесные условия водного раствора с кальцитом и доломитом:

$$\frac{a_{\text{Mg}^{+2}}}{a_{\text{Ca}^{+2}}} = \frac{L_{\text{дол}}}{L_{\text{кал}}^2}, \quad (3)$$

где, $a_{\text{Ca}^{+2}}$ и $a_{\text{Mg}^{+2}}$ – активные концентрации ионов кальция и магния; $L_{\text{дол}}$ и $L_{\text{кал}}$ – константы растворимости доломита и кальцита. Доломитизация считается термодинамически выгодной, если отношение активных концентраций превышает величину отношения термодинамических констант [3]. Значения отношений термодинамических констант растворимости доломита и кальцита (в квадрате) в диапазоне температур 100–200 °C изменяются в пределах 4–6,5. Абсолютное большинство подземных вод Предкавказья характеризуется значениями

магний кальциевых отношений менее единицы (среднее значение – 0,26), что свидетельствует о невозможности протекания процесса доломитизации известняков в современных условиях.

В геологическом разрезе мезозоя Предкавказья доломиты присутствуют в отложениях нижнего мела (берриас-валанжин) верхней юры и триаса, кроме того, достаточно широко распространены в разной степени доломитизированные известняки. Следовательно, можно говорить об образовании доломитов на ранних стадиях литогенеза – диагенез, ранний катагенез. Если принять во внимание неизменность состава воды океана с начала палеозоя, то отношения активных концентраций магния и кальция в мезозойских палеоморях изменялись: 5,5–7,0 – нормальная океаническая соленость; 9–10 – стадии осаждения гипса; 140–180 – при кристаллизации галита. Сопоставление этих величин со значениями отношений термодинамических констант свидетельствует о возможности доломитизации известняков при взаимодействии с талассогенными водами нормальной солености в условиях температур свыше 90–100 °C, с рассолами стадии осаждения гипса – свыше 60 °C. Рассолы высоких стадий сгущения океанической воды (начиная с галитовой) обладают доломитизирующей способностью при 10–25 °C.

Приведенные данные свидетельствуют о термодинамической обусловленности реакций метасоматической доломитизации известняков как на стадии диагенеза (при взаимодействии с рассолами высоких стадий сгущения), так и в условиях катагенеза.

Следует учитывать, что мезозойские породы в пределах рассматриваемых тектонических элементов находятся в условиях катагенеза многие миллионы лет – в течение времени несоизмеримого с длительностью протекания химических реакций. Представляется наиболее вероятным, что процессы доломитизации известняков с наибольшей интенсивностью проявились на стадии диагенеза и завершились в период катагенеза, когда температуры мезозойских отложений достигли 100–110 °C, а значения $a_{\text{Mg}^{+2}}/a_{\text{Ca}^{+2}}$ снизились до величин 4–6.

Выводы

1. На миграцию компонентов в исследуемых водах существенное влияние оказывают процессы комплексообразования, интенсивность которых растет с увеличением минерализации и температуры.

2. Степень насыщенности вод карбонатами кальция и магния снижается с ростом минерализации и возрастает с увеличением щелочности водного раствора и температуры. Максимальными величинами насыщенности по кальциту, доломиту характеризуются соленые воды и слабые рассолы карбонатных отложений. При значениях минерализации свыше 70 г/кг все изученные воды недонасыщены по карбонатам (кальциту, доломиту и магнезиту).

3. Глубокозалегающие воды мезозойских отложений Предкавказья характеризуются низкими значениями a_{Mg}^{+2}/a_{Ca}^{+2} и не обладают способностью к доломитизации известняков.

4. Процессы метасоматической доломитизации с наибольшей интенсивностью протекали на стадии раннего литогенеза, и их роль в формировании современного геохимического облика подземных вод не представляется очевидной. Наиболее вероятно, что она заключалась в удалении из раствора ионов магния.

5. Высокие концентрации кальция в глубокозалегающих водах Предкавказья объясняются направленным изменением форм его миграции в жестких термобарических условиях катагенеза, отсутствием свободных гидрокарбонатных и сульфатных ионов, возрастанием количеств водорастворенной углекислоты.

Список литературы

1. Волков В.Н. Особенности распространения и формирования гидрогеологических инверсий в глубокозалегающих водонапорных системах Предкавказья // Вопросы геологии и освоения недр юга России: сб. науч. ст. / гл. ред. Н.Н. Погребнов. – Ростов н/Д.: Изд-во ЮНЦ РАН, 2007. – С. 172–179.
2. Волков В.Н., Сианисян Э.С., Тарасов М.Г. Вертикальная гидрогеологическая зональность мезозойской водонапорной системы Восточного Предкавказья // Фундаментальные и прикладные вопросы гидрогеологии нефте-

газоносных бассейнов: материалы III всерос. конф. с межд. участ. / науч. ред Л.А. Абукова. – М.: ГЕОС, 2015. – С. 30–34.

3. Драйвер Дж. Геохимия природных вод. – М.: Мир, 1985. – 440 с.

4. Крайнов С.Р., Рыженко Б.Н., Швеи В.М. Геохимия подземных вод. Теоретические, практические и экологические аспекты / под ред. академика Н.П. Лаврова. Издание второе. – М.: ЦентрЛитНефтеГаз, 2012. – 672 с.

5. Рыженко Б.Н. Химический состав природных вод и рассолов как результат гидрогеохимических процессов в системе вода-порода-газ // В кн. Геологическая эволюция взаимодействия воды с горными породами. – Томск: Изд-во НТЛ, 2012. – С. 36–48.

6. Рыженко Б.Н., Черкасова Е.В. Гидрогеохимические процессы в закрытых и открытых системах вода-порода / Б.Н. Рыженко, Е.В. Черкасова // Петрология. – 2011. – Т. 19, № 1. – С. 27–34.

7. Наумов Г.Б., Рыженко Б.Н., Ходаковский И.Л. Справочник термодинамических величин. – М.: Атомиздат, 1971. – 240 с.

References

1. Volkov V.N. Osobennosti rasprostraneniya i formirovaniya gidrogeologicheskikh inverzij v glubokozalagajushhih vodonapornyh sistemah Predkavkazja // Voprosy geologii i osvoeniya neдр юга Rossii: sb. nauch. st. / gl. red. N.N. Pogrebnov. Rostov n/D.: Izd-vo JuNC RAN, 2007. pp. 172–179.
2. Volkov V.N., Sianisjan Je.S., Tarasov M.G. Vertikalnaja gidrogeologicheskaja zonalnost mezozojskoj vodonapornoj sistemy Vostochnogo Predkavkazja // Fundamentalnye i prikladnye voprosy gidrogeologii neftegazonosnyh bassejnov: materialy III vseros. konf. s mezhd. uchast. / nauch. red L.A. Abukova. M.: GEOS, 2015. pp. 30–34.
3. Driver Dzh. Geohimija prirodnyh vod. M.: Mir, 1985. 440 p.
4. Krajnov S.R., Ryzhenko B.N., Shvec V.M. Geohimija podzemnyh vod. Teoreticheskie, prakticheskie i ekologicheskie aspekty / pod red. akademika N.P. Laverova. Izdanie vtoroe. M.: CentrLitNefteGaz, 2012. 672 p.
5. Ryzhenko B.N. Himicheskij sostav prirodnyh vod i rassolov kak rezultat gidrogeohimicheskikh processov v sisteme voda-poroda-gaz // V kn. Geologicheskaja jevoljucija vzaimod-ejstvija vody s gornymi porodami. Tomsk: Izd-vo NTL, 2012. pp. 36–48.
6. Ryzhenko B.N., Cherkasova E.V. Gidrogeohimicheskie processy v zakrytyh i otkrytyh sistemah voda-poroda / B.N. Ryzhenko, E.V. Cherkasova // Petrologija. 2011. T. 19, no. 1. pp. 27–34.
7. Naumov G.B., Ryzhenko B.N., Hodakovskij I.L. Spravochnik termodinamicheskikh velichin. M.: Atomizdat, 1971. 240 p.

УДК 556(571.53)

**СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ВОДОТОКОВ В УСТЬЕВЫХ ОБЛАСТЯХ
ВОСТОЧНОГО ПОБЕРЕЖЬЯ ОЗЕРА БАЙКАЛ****¹Воробьева И.Б., ^{1,2}Белозерцева И.А., ¹Власова Н.В., ¹Янчук М.С.**¹ФАНО ФГБУН «Институт географии им В.Б. Сочавы» СО РАН, Иркутск, e-mail: iene@irigs.irk.ru;²ФГБОУ ВПО «Иркутский государственный университет», Иркутск

Озеро Байкал испытывает на себе воздействие множества рек и ручьев, которые впадая, приносят в его экосистему как большое количество вещества биологической направленности, так и высокие содержания химических элементов. Дренируя территории, окружающие побережье Байкала, и находясь под воздействием подстилающих пород, почв, растительности, атмосферных осадков и антропогенных источников, водотоки формируют особый гидрохимический состав речных вод. Специфические процессы происходят в устьевых участках, где происходит взаимодействие двух водных масс с разными физическими, химическими и биологическими свойствами. Создающиеся при данном взаимодействии потоки вещества хорошо отражают природные режимы и выявляют интенсивность антропогенного воздействия прибрежной зоны. В основу статьи положены результаты экспедиционных исследований 2017 г., проведенных на восточном побережье Среднего Байкала. Исследования проводились в устьевых частях рек и озер, находящихся вблизи оз. Байкала. Установлено, что устьевые участки достаточно сильно отличаются содержанием свободных ионов водорода, азотсодержащих веществ, хлорид-иона и гидрокарбонатов, как между собой, так и от показаний, полученных в верхнем течении каждого из них. Процессы химической трансформации поступающих веществ уступают физическому переносу, что оказывает неблагоприятное воздействие на экосистемы русловых частей водотоков и прибрежной части озера Байкал. Озера, расположенные на изучаемой территории, представляют собой уникальные биогеоценозы, которые развиваются и живут в собственных гидрохимических условиях. Практически во всех озерах было отмечено изменение кислотно-щелочной среды, водоемы различаются по содержанию хлорид-иона, гидрокарбонатов и показателю в водах азотсодержащих веществ.

Ключевые слова: устьевые области, притоки, Байкал, гидрохимические показатели**CURRENT STATE OF WATERCOURSES IN THE ESTUARINE AREAS
OF THE EASTERN COAST OF LAKE BAIKAL****¹Vorobeva I.B., ^{1,2}Belozertseva I.A., ¹Vlasova N.V., ¹Yanchuk M.S.**¹V.B. Sochava Institute of Geography SB RAS, Irkutsk, e-mail: iene@irigs.irk.ru;²Irkutsk State University, Irkutsk

Lake Baikal is affected by many rivers and streams, which indulge, bring in its ecosystem a large number of substances, such as biology and high content of chemical elements. Drenarea areas surrounding the coast of lake Baikal and being under the influence of the underlying rocks, soils, vegetation, precipitation and anthropogenic sources, watercourses form a special hydrochemical composition of river waters. Specific processes occur in estuaries, where the interaction of two water masses with different physical, chemical and biological properties. Created by the interaction of the substance flows reflect natural regimes and reveal the intensity of anthropogenic impact in the coastal zone. The article is based on the results of expeditionary investigations of 2017, held on the East coast of the middle basin of lake Baikal. The studies were conducted in the estuarine parts of rivers and lakes near the lake. Of lake Baikal. It is established that estuarine areas are quite different the content of free hydrogen ions, nitrogen-containing substances, chloride ion and bicarbonate, both among themselves and from the testimony received in the upper reaches of each of them. The processes of chemical transformation of the incoming substances are inferior to physical transfer that has a negative impact on ecosystems fluvial parts of rivers and coastal area of lake Baikal. Lakes located in the study area represent unique ecosystems that develop and live in their own hydrochemical conditions. Almost all the lakes was marked by the change of the acid-alkaline environment, the water bodies are different, and the content of chloride ion, and bicarbonate indicator in waters of nitrogen-containing substances.

Keywords: estuarine area, tributaries, lake Baikal, hydrochemical indicators

Устьевая зона реки – это особенный географический объект, охватывающий область впадения реки в озеро, подверженный воздействию речных и озерных факторов и имеющий особенный специфический комплекс, структура и формирование которого регулируются устьевыми процессами: динамическим взаимодействием и смешением вод реки и озера, отложением и переотложением речных и частично озерных наносов. В устьях рек взаимодействуют две различные по своим

физическим, химическим и биологическим свойствам водные массы – речная и озерная. Устьевые экосистемы рек – одни из самых ранимых водных объектов, так как все естественные и антропогенные изменения режима и состояния реки и прибрежной зоны отражаются в этой области. Цель исследования – дать характеристику современного состояния водотоков в устьевых областях и озер восточного побережья Среднего Байкала по гидрохимическим показателям.

Материалы и методы исследования

Территория исследования расположена в центральной экологической зоне Байкальской природной территории (БПТ), где находится особая экономическая зона (ОЭЗ) «Байкальская гавань», которая создана постановлением правительства России в 2007 г. ОЭЗ расположена в 110 км от Улан-Удэ, занимает более 3,5 тыс. га на левом побережье Байкала и включает 5 участков: «Турка», «Пески», «Гора Бычья», «Бухта Безымянная» и «Горячинск». Приоритетными выбраны участки «Турка» и «Пески», с площадью 434,04 га. Туристско-рекреационная зона создается с целью развития лечебно-оздоровительного, экологического, горнолыжного, экскурсионного, круизного видов туризма [1].

Все байкальское приморье согласно районированию М.Н. Мельхеева [2] разделено на одиннадцать физико-географических районов, в границах четырех из них проводились исследования устьевых областей. Усть-Баргузинский физико-географический район охватывает побережье двух больших заливов – Чивыркуйского и Баргузинского и нижнюю часть Баргузинской долины. Для этого района характерны большая расчлененность береговой линии, рельеф прибрежной полосы сглаженный, хребты удалены от берега, а приближающиеся к берегу отроги невысоки. Здесь начинается обширная межгорная впадина – долина р. Баргузин. Устьевая часть р. Баргузин, левый берег, сложен песками. В приустьевом районе широко распространены сосновые и сосново-березовые леса на песчаных почвогрунтах. Южный берег Чивыркуйского залива низменный, заболоченный, сложенный из наносных отложений песчано-галечного состава, выпрямленный, однообразно протянувшийся на 13 км. Здесь расположен перешеек, отделяющий Чивыркуйский залив от Баргузинского, шириною до 10 км, с однообразно низменной, заболоченной поверхностью, покрытой лесом из лиственных, березы и кустарников. В центре перешейка находится озеро Арангатуй. Здесь же находится бессточное озеро Большое Бормашовое, теплое, минерализованное. Климат сравнительно прохладный и умеренно влажный. Баргузинский физико-географический район расположен в пределах межгорной впадины байкальского типа, по долине р. Баргузина. Почти половина территории Баргузинской долины представлена пойменными участками и низкими террасами р. Баргузина, которые заняты

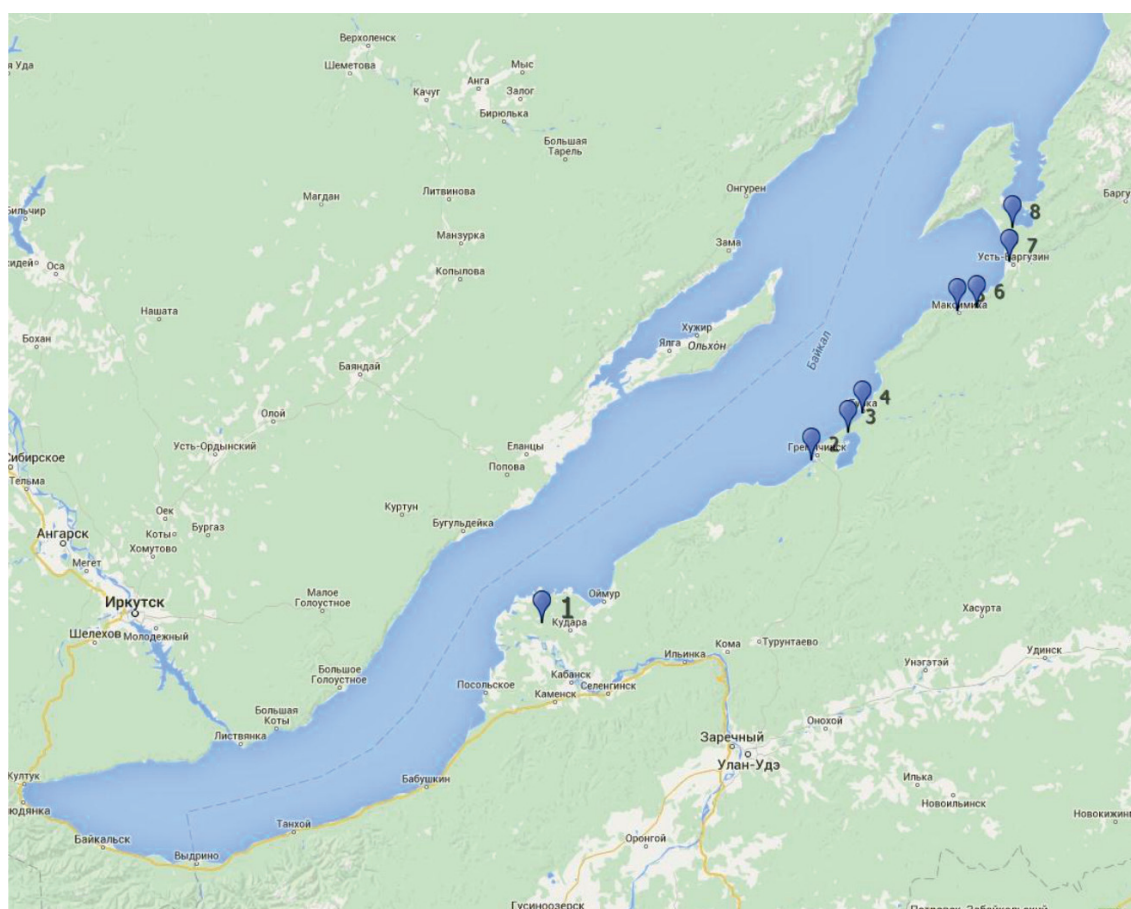
луговыми, лугово-кустарниковыми сообществами на аллювиальных темногумусовых, аллювиальных торфянисто-глеевых и других почвах. По левому берегу реки Баргузин отмечаются включения заболоченных участков, в то же время правый берег представлен степными ассоциациями [2].

Побережье от мыса Крестового до мыса Сухинский с отрогами хребтов Голондинского, Улан-Бургасы и Морского относятся к Среднебайкальскому району. Район обладает мягкими чертами рельефа, сравнительно теплым и умеренно влажным климатом. На территории района расположены прибрежные озера – Котокельское, Дикое, Большое и Малое Духовое. Растительность – хвойная и смешанно-лесная. Обширная Безымянно-Горячинская аккумулятивная равнина сложена озерными и речными отложениями, покрыта смешанным сосново-березовым лесом. Равнина заканчивается низменными песчано-галечными, без растительного покрова, небольшими мысами и островками. На берегах Байкала насчитывается множество горячих источников. Побережье представляет собой низменный песчаный берег с открытыми песками. В межгорном понижении расположено озеро Котокельское. Оно окружено горно-лесным ландшафтом, а на северо-востоке имеет топкое низменное побережье, открытое в сторону долины р. Турки [2]. Усть-Селенгинский физико-географический район побережья тянется от бассейна р. Большой Сухой до бассейна р. Боярской (включительно), углубляясь в сушу до склонов хребтов Морского и Хамар-Дабана, разделенных тектоническим разломом по долине р. Селенги, заполненного озерно-аллювиальными и дельтовыми отложениями.

Климат территории резко континентальный, с холодной зимой и теплым летом, хотя исследователями отмечаются отличия по сезонам года в разных частях района. Центральное место в районе принадлежит огромной Кударинской степи. По ней протекает крупнейшая река района Селенга. Дельта реки занимает значительную территорию района. Она сильно заболочена с множеством линз мелких озер и пронизана многочисленными протоками. Низкая дельта представлена лугово-болотными ассоциациями. Кроме Селенги, в отрогах хребта Хамар-Дабан берут свое начало питающие Байкал реки Снежная, Переемная, Мысовка, Мантуриха и другие [2]. Формирование речного стока в озеро Байкал отличается большим разнообразием из-за различий физико-географических условий

в отдельных частях его бассейна и происходит в основном среди слабо выщелачиваемых изверженных и метаморфических пород архея протерозоя. Это обуславливает схожесть гидрохимических характеристик поверхностных вод водосборного бассейна и самого озера. Согласно классификации О.А. Алейкина основная часть водотоков относится к первому типу гидрокарбонатно-кальциевых вод – по соотношению ионов и имеют низкую общую минерализацию (до 150 мг/л). Незначительное количество рек, протекающих по районам распространения осадочных карбонатных пород, относятся ко второму типу гидрокарбонатно-кальциевых вод и имеют несколько большую минерализацию (до 400 мг/л) [3]. Отбор проб воды проводился в июле 2017 г. в стеклянные емкости в объеме до 3 л по стандартизованным и общепринятым методикам с учетом требований ГОСТ (Сан-ПиН 2.1.4.1175-02, ГОСТ 31861-2012 и др.). Всего отобрано более 80 проб. Химические анализы проводились на месте отбора проб

воды с помощью полевой лаборатории и в лабораторных условиях ИГ СО РАН в течение нескольких дней после отбора. Значение pH в воде измерялось потенциометрическим методом [ПНД Ф14.1:2:3:4,121-97]. Содержание гидрокарбонатов в воде – титрометрическим методом [РД 52.24.493-2006]. Массовая концентрация нитритов – фотометрическим методом с реактивом Грисса [ПНД Ф 14.1:2:4.3-956]. Содержание хлоридов – аргентометрическим методом [РД 52.24.407-06]. Концентрация нитритов фотометрическим методом с салициловой кислотой [ПНД Ф 14.1:2:4.4-95]. Содержание ионов аммония – фотометрическим методом с реактивом Несслера [ПНД Ф 14.1:2:1-95]. Концентрация фосфатов – фотометрическим методом с восстановлением аскорбиновой кислотой [ПНДФ 14.1:2.112-97]. Массовая концентрация растворенного кислорода – йодометрическим методом [РД 52.24.419-2005]. Нефтепродукты в воде определены на флюорате [ГН 2.1.5.1315-03].



Условные обозначения: – местоположение площадки; 1–8 номера площадок

Рис. 1. Ключевые участки отбора проб воды

Величина pH, содержание нефтепродуктов и основных ионов в воде рек и озер Средней котловины оз. Байкал, 2017 г.

№ точки	pH	HCO ₃ ⁻	O ₂ мг/дм ³	Cl ⁻	NO ₂ ⁻	NO ₃ ⁻	NH ₄ ⁺	PO ₄ ³⁻	Сумма ионов	Нефтепродукты, мг/дм ³
1	7,5	61	9,6	1,60	0,012	н/о	0,007	0,001	62,63	—
4	8,4	61	10,0	2,32	0,024	0,01	0,090	0,001	63,46	0,008
8	7,3	92	9,3	1,61	0,002	0,01	0,012	0,002	93,65	0,004
12	8,3	58	12,3	1,60	0,020	0,45	0,014	0,001	60,10	—
13	7,2	61	5,6	2,10	0,029	н/о	0,031	0,001	63,17	—
14	8,3	31	13,3	2,32	0,024	0,10	0,007	0,001	34,25	0,005
17	9,1	68	17,4	2,10	0,012	н/о	0,010	0,001	70,13	0,013
18	8,3	82	9,7	1,88	0,012	0,01	0,007	0,010	83,93	0,018
19	8,4	70	10,0	2,59	0,016	0,01	0,012	0,010	72,66	0,005
20	9,7	24	13,3	2,86	0,101	1,15	0,011	0,001	28,14	0,002
21	8,5	101	8,6	2,51	0,016	0,01	0,010	0,001	103,60	0,004
2	9,2	12	12,0	2,10	0,016	н/о	0,013	0,014	14,15	0,004
3	8,9	552	11,2	52,50	0,048	0,90	0,020	0,001	1205,47	0,004
6	9,3	н/о	14,1	1,60	0,053	н/о	0,260	0,001	1,92	—
10	7,7	92	10,5	1,60	0,029	н/о	0,028	1,869	95,54	—

Примечание. «—» не определялся, «н/о» — не обнаружено. Место отбора проб: 1 — р. Кика; 2 — оз. Котокельское; 3 — оз. Б. Бармашовое; 4 — оз. Байкал, Чивыркуйский залив; 6 — оз. Арангутай; 8 — р. Баргузин; 10 — оз. Духовое; 12 — р. Максимиха; 13 — ручей без названия (Горячинск); 14 — р. Турка; 17 — р. Селенга, протока Харауз; 18 — р. Селенга протока Лобановская; 19 — р. Селенга (выше Селенгинского целлюлозно-бумажного комбината); 20 — р. Селенга (ниже комбината); 21 — р. Селенга, основная протока.

Результаты исследования и их обсуждение

Материалом данного исследования являются данные химического анализа проб вод, отобранных в 2017 г. (рис. 1). Для гидрохимической характеристики устьевых водотоков и прибрежных озер были выбраны следующие показатели: pH, количество взвешенных веществ, растворенного кислорода, хлоридов, сульфатов, аммония, нитритов, нитратов, фосфатов, нефтепродуктов. По результатам исследований, проведенных в летний период 2017 г., выявлены особенности гидрохимических изменений в устьевых зонах рек восточного побережья Среднего Байкала (таблица).

Выявлено, что в реках, втекающих в Среднюю котловину оз. Байкал кислотно-основные свойства изменяются от 7,3 (р. Баргузин, Кика) до 8,5 (р. Турка, Максимиха, Селенга) значений pH. Концентрации свободных ионов водорода в воде разных проток р. Селенги отличаются между собой. Так, в протоке Харауз и основном русле р. Селенги ниже по течению после расположения Селенгинского целлюлозно-бумажного комбината значения pH от 9,1 до 9,7. О степени и времени заражения воды продуктами жизнедеятельности человека можно судить по присутствию, ко-

личеству и соотношению в воде азотсодержащих соединений. Недопустимо содержание нитратов вместе с аммиаком.

Установлено, что в р. Максимихе и Селенге (ниже Селенгинского целлюлозно-бумажного комбината) содержание нитрат-иона превышает фоновые значения для Байкала в 5–10 раз, с количеством аммоний-иона в пределах фона, что свидетельствует о давнем органическом (возможно, фекальном) загрязнении воды [4, 5]. В воде Чивыркуйского залива озера Байкал (прибрежная зона) обнаружено содержание аммиак-иона выше фоновых в 4 раза, что указывает на недавнее загрязнение и близость источника загрязнения (коммунальные очистные сооружения, отстойники промышленных предприятий, фермерские хозяйства, азотные удобрения, поселения и др.).

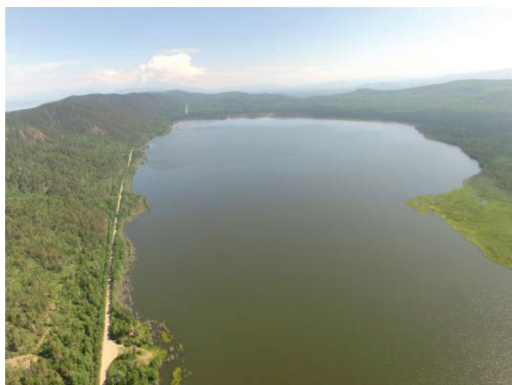
В водах рек Среднего Байкала установлено повышенное относительно фоновых значений для вод Байкала, содержание хлорид-ион (Cl⁻) — в 4–7 раз. Поскольку хлориды обладают высокой миграционной способностью благодаря хорошей растворимости, то большие количества хлоридов могут поступать в речные воды из недостаточно очищенных промышленных и бытовых стоков [6, 7]. В ионном составе рек Среднего Байкала

ведущее положение в абсолютных величинах занимают гидрокарбонаты и хлориды. Обнаружено, что содержание хлорид-иона (Cl^-) в устьевой зоне всегда превышает его содержание в верховьях, что согласуется с данными К.К. Вотинцева [8], П.Ф. Бочкарева [9], Л.М. Сорокиной и др. [10]. По данным К.К. Вотинцева [8] в воде р. Селенги нитраты присутствуют почти всегда, что соответствует исследованиям П.Ф. Бочкарева [9] и нашим. В речной воде ниже расположения Селенгинского целлюлозно-бумажного комбината обнаружено количество нитратов, значительно превышающее их содержание в основном русле.

Содержание растворенного кислорода в байкальской воде составляет в среднем в поверхностных слоях 11–14 мг/дм³. В реках Среднего Байкала содержание кислорода довольно высокое – 8,6–17,4 мг/дм³ (р. Селенга, основное русло, и протока Лобановская соответственно). В реках Кика, Максимиха и Турка содержание кислорода 9,6, 12,2 и 13,3 мг/дм³ соответственно. Полученные значения по со-

держанию кислорода в водотоках Среднего Байкала согласуются с данными К.К. Вотинцева и П.Ф. Бочкарева [8, 9].

На восточном побережье Средней котловины оз. Байкал были проведены гидрохимические исследования вод озер Котокельское, Б. Бармашовое, Арангатуй и Духовое (рис. 2). Между оз. Байкал и подножиями хребтов (Баргузинского, Хамар-Дабанского и Улан-Бургасы) в прибрежной 20-километровой полосе имеет место сложный рельеф с чередованием возвышенных участков и понижений. Наиболее интересны озера *прибрежных низкогорий*, занимающие днища малых впадин и грабенов. Здесь заняли территории Духовое и Лосинное озера, а также ряд озер у устья р. Кика, самое крупное из прилегающих к Байкалу оз. Котокель. В береговой зоне Байкала широко распространены *соровые озера*. Самые крупные соровые озера на Восточном побережье – Арангатуй и М. Арангатуй, Светлое и Б. Бармашовое расположены на восточном побережье [11].



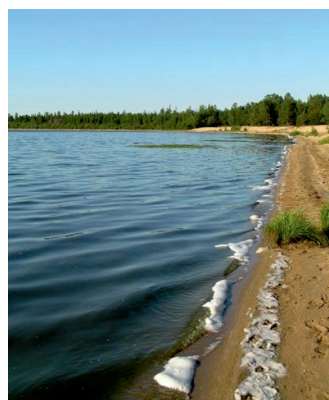
а



б



в



г

Рис. 2. Озера Духовое (а), Котокельское (б), Арангатуй (в), Б. Бармашовое (г) (съемка с квадрокоптера, С.А. Макаров, июль 2017 г., высота 400, 205 и 305 м соответственно)

Озеро Котокельское (Котокель) находится в двух километрах от берега Байкала. Общая площадь озера составляет около 70 км². Озеро является мелководным. Средняя глубина озера составляет 3,5 м [12]. Озера Арангатуй и Б. Бармашовое расположены на Баргузинско-Чивыркуйском перешейке, который находится на северо-востоке Центральной котловины Байкала. Площадь водного зеркала оз. Арангатуй 50,6 км², глубина 1–2 м, дно выровненное, заиленное, оно связано протокой с Чивыркуйским заливом, что способствует транспортировке биогенных веществ с водными потоками. Как показали исследования, вода оз. Котокель и Арангатуй отличается повышенными значениями pH – 9,2–9,3 (соответственно), что может быть связано с эвтрофностью вод в летний период, что также может свидетельствовать и о нарушении биологического равновесия в водоеме. Установлено, что в воде озера присутствуют нитрит-ионы и ионы аммония, что указывает на недавнее загрязнение воды органическими веществами. Количество хлорид-ион (Cl⁻) превышает фоновые значения для Байкала в 5 раз (Котокель) и 4 раза (Арангатуй).

Площадь зеркала оз. Б. Бармашовое 1,3 км², средняя глубина 2,2 м. Питание водоема осуществляется атмосферными осадками и грунтовыми водами современных и верхнечетвертичных отложений. Озеро не проточное, а разгрузка озерных вод происходит за счет испарения. Уровень воды ниже уровня Байкала на 0,5 м [13]. Здесь имеются отложения сапропеля. Средняя мощность грязевой залежи 0,64 м, максимальная – 1,5 м [14]. В формировании водно-солевого режима озера Б. Бармашово принимают участие атмосферные осадки и грунтовые воды современных и верхнечетвертичных отложений. Поступление основных микроэлементов и установление солевого баланса в озере происходит за счет грунтовых вод, которые пополняют их запасы, в том числе и сульфатов. Достаточно высокое содержание хлорид-иона (52,5 мг/дм³). Установлено, что в воде присутствуют нитриты, нитраты и ионы аммония, что служит показателем более давнего органического, возможно, фекального загрязнения воды.

Заключение

В результате проведенных исследований в устьях рек восточного побережья Средней котловины оз. Байкал выявлено, что одним из основных источников поступлений за-

грязняющих веществ является их перенос с речным стоком. Процессы модификации вещества по скорости уступают физическому переносу многих ингредиентов, что способствует поступлению большого количества вещества в устьевые участки водотоков. Азотсодержащие химические соединения (аммиак, нитриты и нитраты), являющиеся результатом происходящих процессов, а также разложения белковых соединений, попадают со сточными бытовыми водами в устьевые зоны. Происходит нарушение устойчивости устьевых областей и повышается риск возникновения неблагоприятных экологических результатов. Наблюдается накопление соединений биогенных элементов и загрязняющих химических веществ. Это приводит к формированию нового антропогенно измененного природного фона. При этом нарушается естественное экологическое состояние устьевой области. Установлено, что узкая устьевая область рек является механическим барьером, где происходит разделение и осаждение выносимого взвешенного вещества. Под влиянием происходящего процесса отмечается изменение в качественных и количественных характеристиках растворенного вещества речного стока, что приводит к неизбежному формированию вод с новыми физико-химическими и биологическими показателями. Изучение гидрохимических показателей вод озер прибрежных низкогорий (Котокель и Духовое) и соровых (Арангатуй и Б. Бармашовое) выявило повышенные значения pH, количество хлорид-иона, а также присутствие в водоемах нитрит-иона и иона аммония, что указывает на недавнее и постоянное загрязнение воды органическими веществами.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ – 16-05-00286.

Список литературы

1. Байкальская гавань [Электронный ресурс] // Фонд содействия сохранению озера Байкал. URL: <http://baikalfund.ru/tourism/gavan/index.wbp> (дата обращения: 20.11.2017).
2. Мельхеев М.Н. По берегам Байкала. Географические условия побережья / М.Н. Мельхеев. – Иркутск: Восточно-Сибирское книжное издательство, 1977. – 158 с.
3. Воробьева И.Б. Экологическое состояние юго-западного побережья оз. Байкал при антропогенном воздействии / И.Б. Воробьева, Е.В. Напрасникова, Н.В. Власова // Проблемы биогеохимии и геохимической экологии. – 2008. – № 3 (7). – С. 115–122.
4. Сорокикова Л.М. Состояние водной экосистемы дельты реки Селенги в условиях длительного маловодья / Л.М. Сорокикова, В.Н. Синюкович, И.В. Томберг, Г.Н. Поповская, М.С. Чернышев, В.Г. Иванов, Т.В. Ходжер // География и природ. ресурсы. – 2017. – № 1. – С. 81–89.

5. Сороковикова Л.Н. Пространственно-временная изменчивость содержания биогенных и органических веществ и фитопланктона в воде р. Селенги и протоках ее дельты / Л.М. Сороковикова, Г.И. Поповская, И.В. Томберг, Н.В. Башенхаева // Водные ресурсы. – 2009. – № 4. – С. 465–474.
6. Определение показателей качества воды: сайт. URL: <http://geol.irk.ru/baikal/baikal/water/anno/pokaz.htm> (дата обращения: 21.11.2017).
7. Гребенщикова В.И. Геохимия окружающей среды Прибайкалья (Байкальский экологический полигон) / В.И. Гребенщикова, Э.Е. Лустенберг, Н.А. Китаев, И.С. Ломоносов. – Новосибирск: Акад. изд-во «Гео», 2008. – 234 с.
8. Вотинцев К.К. Гидрохимия рек бассейна озера Байкал / К.К. Вотинцев, И.В. Глазунов, А.П. Толмачева. – М.: Наука, 1965. – 495 с.
9. Бочкарев П.Ф. Гидрохимия рек Восточной Сибири / П.Ф. Бочкарев. – Иркутск, 1959. – 155 с.
10. Сороковикова Л.М. Оценка качества вод притоков озера Байкал по химическим показателям / Л.М. Сороковикова, В.Н. Синюкович, И.В. Томберг, И.И. Мариняте, Т.В. Ходжер // География и природ. ресурсы. – 2015. – № 1. – С. 37–45.
11. Беркин Н.С. Байкаловедение: учеб. пособие / Н.С. Беркин, А.А. Макаров, О.Т. Русинек. – Иркутск: Изд-во Ирк. гос. ун-та, 2009. – С. 291.
12. Озеро Котокельское: природные условия, биота, экология / отв. ред. М.Н. Пронин, Л.Л. Убугунов. – Улан-Удэ, 2013. – С. 340.
13. Дзюба А.А. Минеральные озера Баргузинско-Чивыркуйского перешейка / А.А. Дзюба, Н.В. Кулагина, Т.И. Абидаева, А.Л. Черных // География и природ. ресурсы. – 2002. – № 2. – С. 61–67.
14. Перязева Е.Г. Особенности формирования химического состава вод озер / Е.Г. Перязева, А.М. Плюснин, С.З. Гармаева, Р.Ц. Будаев, Д.И. Жамбалова // География и природ. ресурсы. – 2016. – № 5. – С. 49–59.
3. Vorobeva I.B. Jekologicheskoe sostojanie jugo-zapadnogo poberezhja oz. Bajkal pri antropogennom vozdejstvii / I.B. Vorobeva, E.V. Naprasnikova, N.V. Vlasova // Problemy biogeohimii i geohimicheskoy jekologii. 2008. no. 3 (7). pp. 115–122.
4. Sorokovikova L.M. Sostojanie vodnoj jekosistemy delty reki Selengi v uslovijah dlitel'nogo malovodja / L.M. Sorokovikova, V.N. Sinjukovich, I.V. Tomberg, G.N. Popovskaja, M.S. Chernyshev, V.G. Ivanov, T.V. Hodzher // Geografija i prirod. resursy. 2017. no. 1. pp. 81–89.
5. Sorokovikova L.N. Prostranstvenno-vremennaja izmenchivost soderzhaniya biogennyh i organicheskikh veshhestv i fitoplanktona v vode r. Selengi i protokah ee delty / L.M. Sorokovikova, G.I. Popovskaja, I.V. Tomberg, N.V. Bashenhaeva // Vodnye resursy. 2009. no. 4. pp. 465–474.
6. Opredelenie pokazatelej kachestva vody: sajт. URL: <http://geol.irk.ru/baikal/baikal/water/anno/pokaz.htm> (data obrashhenija: 21.11.2017).
7. Grebenshnikova V.I. Geohimija okruzhajushhej sredy Pribajkalja (Bajkalskij jekologicheskij poligon) / V.I. Grebenshnikova, Je.E. Lustenberg, N.A. Kitaev, I.S. Lomonosov. Novosibirsk: Akad. izd-vo «Geo», 2008. 234 p.
8. Votincev K.K. Gidrohimiya rek bassejna ozera Bajkal / K.K. Votincev, I.V. Glazunov, A.P. Tolmacheva. M.: Nauka, 1965. 495 p.
9. Bochkaev P.F. Gidrohimiya rek Vostochnoj Sibiri / P.F. Bochkaev. Irkutsk, 1959. 155 p.
10. Sorokovikova L.M. Ocenka kachestva vod pritokov ozera Bajkal po himicheskim pokazateljam / L.M. Sorokovikova, V.N. Sinjukovich, I.V. Tomberg, I.I. Marinajte, T.V. Hodzher // Geografija i prirod. resursy. 2015. no. 1. pp. 37–45.
11. Berkin N.S. Bajkalovedenie: ucheb. posobie / N.S. Berkin, A.A. Makarov, O.T. Rusinek. Irkutsk: Izd-vo Irk. gos. un-ta, 2009. pp. 291.
12. Ozero Kotokelskoe: prirodnye uslovija, biota, jekologija / отв. red. M.N. Pronin, L.L. Ubugunov. Ulan-Udje, 2013. pp. 340.
13. Dzubaja A.A. Mineralnye ozera Barguzinsko-Chivyrkuskogo pereshejka / A.A. Dzubaja, N.V. Kulagina, T.I. Abidueva, A.L. Chernyh // Geografija i prirod. resursy. 2002. no. 2. pp. 61–67.
14. Perjazeva E.G. Osobennosti formirovaniya himicheskogo sostava vod ozer / E.G. Perjazeva, A.M. Pljusnin, S.Z. Garmaeva, R.C. Budaev, D.I. Zhambalova // Geografija i prirod. resursy. 2016. no. 5. pp. 49–59.

References

1. Bajkalskaja gavan [Elektronnyj resurs] // Fond sodejstvija sohraneniu ozera Bajkal. URL: <http://baikalfund.ru/tourism/gavan/index.wbp> (data obrashhenija: 20.11.2017).
2. Melheev M.N. Po beregam Bajkala. Geograficheskie uslovija poberezhja / M.N. Melheev. Irkutsk: Vostochno-Sibirskoe knizhnoe izdatelstvo, 1977. 158 p.

УДК 622.276

АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ТРАССЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ НА ПРИМЕРЕ ПЛАСТА ЮВ,¹ ЧИСТИННОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

¹Дягилев В.Ф., ²Кононенко А.А., ²Леонтьев С.А.

¹ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный университет», филиал, Нижневартовск,
e-mail: Tiu-nv@mail.ru;

²ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный университет», Тюмень, e-mail: general@tsogu.ru

Статья посвящена изучению фильтрационной неоднородности межскважинного пространства на примере пласта ЮВ,¹ Чистинного месторождения с помощью индикаторного (трассерного) метода. Данный метод изучения направления и скорости фильтрационных потоков использует меченые вещества (индикаторы). В качестве индикаторов использовались следующие вещества – карбамид, уранин – А, родамин – С и эозан – Н. Закачка индикаторов на Чистинном месторождении осуществлена через устья нагнетательных скважин, а отбор проб осуществлялся из добывающих скважин реагирующего окружения. В статье представлены схемы закачки и отбора проб по скважинам Чистинного месторождения, а также схемы направления нагнетаемой воды и обводненности добывающих скважин в области нефтефильтрационных систем (НФС). Представлены полученные зависимости относительной концентрации индикатора от действительной скорости перемещения индикатора в пласте от нагнетательной скважины и относительной массы вынесенного индикатора от скорости перемещения индикатора в пласте по окружающим добывающим скважинам. По расчетно-экспериментальным данным индикаторных исследований были построены зависимости процентного соотношения производительности каналов нефтефильтрационных систем реагирующего окружения нагнетательной скважины, а также карты направления и доли нагнетаемой воды и карты обводненности добывающих скважин. Это позволяет прогнозировать и предупреждать причины формирования участков пласта, не охваченных процессом вытеснения нефти и зон опережающего обводнения пласта по высокопроницаемым каналам. В результате проведенных исследований по реагирующему окружению нагнетательных скважин 129, 150, 152, 173 «проблемным» участком по результатам индикаторных исследований определено межскважинное пространство нагнетательной скважины 150 и реагирующего окружения добывающих скважин 139, 162, 163, 180, 470п. Все добывающие скважины окружения обводняются по каналам НФС более чем на 20%. Скважина 163 по каналу НФС от нагнетательной 150 обводняется более чем наполовину. В область НФС нагнетательной скважины 150 закачивается более 47% воды от общей приемистости скважины 150.

Ключевые слова: индикаторы, трассерный метод, нагнетательная скважина, высокопроницаемые каналы, карты обводненности, вытеснение нефти

ANALYSIS OF THE RESULTS OF TRACERIAL STUDIES ON THE EXAMPLE OF THE UV,¹ OF CHISTINE DEPOSIT

¹Dyagilev V.F., ²Kononenko A.A., ²Leontev S.A.

¹The branch of the Tyumen Industrial University, Nizhnevartovsk, e-mail: Tiu-nv@mail.ru;

²Tyumen Industrial University, Tyumen, e-mail: general@tsogu.ru

The article is devoted to the study of the filter heterogeneity of the interwell space on the Yu11 stratum. A pure study using the indicator (tracer) method. This method of studying the direction and speed of filtration flows uses labeled substances (indicators). The following substances were used as indicators: Carbamide, Uranin-A, Rodamin-S and Eozan-N. The injection of indicators at the Chistinoe field was carried out through the wellheads of the injection wells, and samples were taken from the producing wells of the reactive environment. In the article schemes of injection and sampling of wells from the Chistinoe field are presented, as well as schemes for directing injected water and watering of producing wells in the field of oil filtration systems (NFS). Presented data affects the fact that they affect me. According to the calculated and experimental data of indicator studies, the percentages of the productivity ratio of the channels of the oil filtration systems of the reactive environment of the injection well, as well as the maps of the directions and the proportion of the injected water and the water-cut map of the production wells were constructed. This allows you to predict and warn about what is happening, and does not spend time on it. As a result of the conducted studies on the reactive environment of the injection wells 129, 150, 152, 173, the «problematic» section based on the results of indicator studies confirmed by the inter-wellbore space of the injection well 150 and the reactive environment of the producing wells is 139, 162, 163, 180, 470p. All production wells in the environment are flooded in the NFS channels by more than 20%. Well 163 through the channel NSF from the injection 150 is watered more than half. More than 47% of the water is injected into the NPS area of the injection well 150 from the total injectivity of the well 150.

Keywords: syndicators, tracer method, injection wells, high permeability channels, watercut maps, oil displacement

Повышение степени выработки запасов углеводородов обеспечивается, в частности, путём детального изучения геологического строения и фильтрационной неоднородности межскважинного пространства продуктивных коллекторов. Это позволяет

прогнозировать и предупреждать причины формирования участков пласта, не охваченных процессом вытеснения нефти, и зон опережающего обводнения пласта по высокопроницаемым каналам (областям) нефтефильтрационным системам (НФС).

Одним из немногочисленных методов изучения фильтрационной неоднородности межскважинного пространства является индикаторный (трассерный) метод – метод изучения направления и скорости фильтрационных потоков с помощью меченых веществ [1–3].

Для проведения интерпретации результатов трассирования фильтрационных потоков пласта Ю¹ Чистинного месторождения были приняты во внимание следующие геолого-физические и промысловые данные:

- координаты пластопересечения по скважинам;
- свойства пластовых флюидов;
- забойные и пластовые давления;
- фактические данные по эксплуатации добывающих нагнетательных скважин за весь период исследований;
- карты изобар и текущего состояния разработки;
- дополнение к технологической схеме разработки Чистинного месторождения.

Закачка индикаторов на Чистинном месторождении осуществлена через устья нагнетательных скважин 309, 173, 152, 150, 129. Выбраны добывающие скважины реагирующего окружения (рис. 1, табл. 1) [4–6].

Таблица 1

Выбранные скважины для проведения индикаторных исследований

Нагнетательные скважины	Добывающие скважины для отбора проб
129	130, 131, 139, 140, 488Р
150	139, 162, 163, 180, 470П
152	130, 139, 140, 142, 153, 162, 163, 164, 175, 470П, 488Р
173	139, 162, 163, 164, 175, 180, 182, 183, 191, 470П
309	307, 308, 479Р, 801, 803, 804

Дата и время закачки индикаторов, масса и объемы закачки представлены в таблице (табл. 2).

Таблица 2

Данные по закачке индикаторов

Скв.	Индикатор	Дата закачки	Концентрация (кг/м ³)	Объем закачки (м ³)	Масса (кг)
129	Карбамид	31.01.2012	100	6	600
150	Уранин-А	01.02.2012	1	6	6
152	Родамин-С	01.02.2012	3	6	18
173	Эозин-Н	01.02.2012	2	8	16
309	Уранин-А	31.01.2012	1	6	6

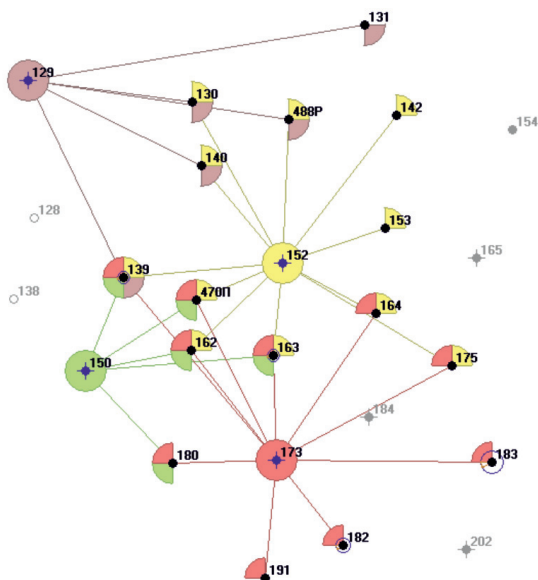


Рис. 1. Схема закачки и отбора проб 129, 150, 152, 173

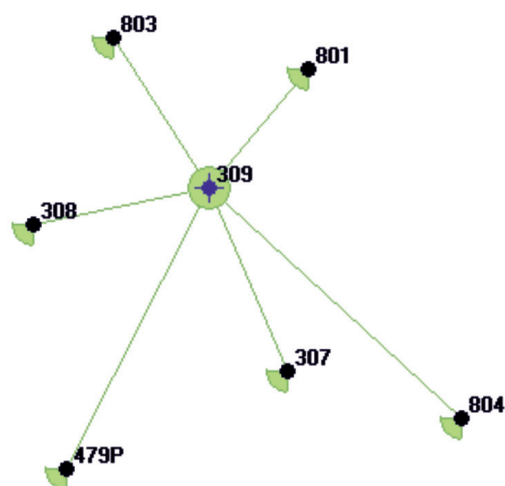


Рис. 2. Схема закачки и отбора проб

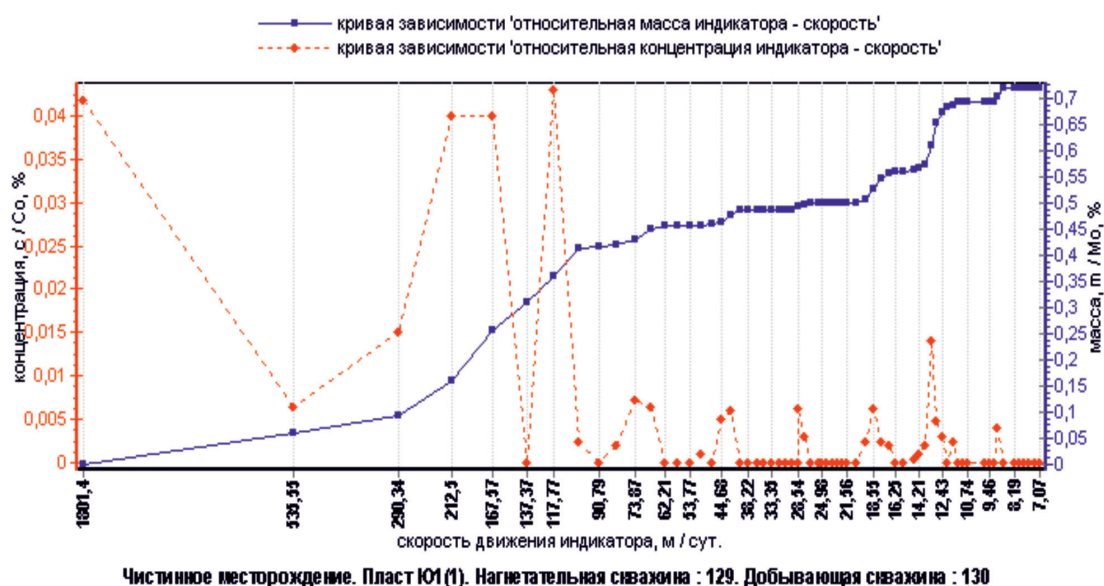


Рис. 3. Зависимости по окружающим добывающим скважинам

На рис. 3 представлена полученная зависимость «относительной концентрации индикатора от действительной скорости перемещения индикатора в пласте» от нагнетательной скважины 129 и «относительной массы вынесенного индикатора от скорости перемещения индикатора в пласте» по окружающим добывающим скважинам.

По расчетно-экспериментальным данным индикаторных исследований были построены следующие зависимости за весь период исследований:

- Процентное соотношение производительности каналов НФС реагирующего окружения нагнетательной скважины 129 пласта Ю₁¹ (рис. 4);

- Процент нагнетаемой 129 скважиной воды в область НФС и процент добываемой воды по каналам НФС реагирующего окружения пласта Ю₁¹ (рис. 5);

- Карта направления и доли нагнетаемой воды в область НФС для реагирующего окружения нагнетательной скважины 129 пласта Ю₁¹ (рис. 6);

- Карта обводненности добывающих скважин по каналам НФС для реагирующего окружения нагнетательных скважин 129 пласта Ю₁¹ (рис. 7).

Больше половины закачанного индикатора от 129 нагнетательной скважины перемещается в направлении скважины 139 – ~58% (рис. 5, 6). Также индикатор от нагнетательной скважины 129 пере-

мещается в направлении добывающих скважин 140, 130, 131 и 488р. В добывающие скважины 803, 479р, 801 и 804 от 309 нагнетательной пришло соответственно 23%, 10%, 6,5% и 2,5% от суммарного количества извлеченного индикатора. Наибольшая производительность каналов НФС установлена в межскважинном пространстве скважин 129–139 – 16,012 м³/сут, а также производительность 6,265 м³/сут установлена в межскважинном пространстве скважин 129–140 (рис. 4). Объем каналов НФС в межскважинном пространстве системы скважин 129–139 составляет 383,2 м³, скважин 129 – 140–134 м³ (рис. 4). В межскважинном пространстве остальных скважин окружения нагнетательной скважины 129 не выявлено больших объемов каналов НФС (рис. 4).

При этом добывающая скважина 131 довольно сильно обводняется по каналам НФС – ~6,3%, а 140 и 139 скважины на ~5,1% и ~5,5%, (см. рис. 5, 7).

Всего же в область НФС пласта Ю₁¹ скважиной 129 закачивается ~27,6 м³/сут (рис. 5), что составляет ~7% от общей приемистости скважины 129 пласта Ю₁¹.

По результатам расчетно-экспериментальных данных индикаторных исследований получены зависимости «относительной концентрации индикатора от действительной скорости перемещения индикатора в пласте» и «относительной массы выне-

сенного индикатора от скорости перемещения индикатора в пласте» от скважины 150. Были построены следующие зависимости за весь период исследований:

– Карта направления и доли нагнетаемой воды в область НФС для реагирующего окружения нагнетательной скважины 150 пласта Ю₁¹;

– Карта обводненности добывающих скважин по каналам НФС для реагирующего окружения нагнетательных скважин 150 пласта Ю₁¹;

– Процент нагнетаемой 150 скважиной воды в область НФС и процент добываемой воды по каналам НФС реагирующего окружения пласта Ю₁¹;

– Процентное соотношение производительности каналов НФС реагирующего окружения нагнетательной скважины 150 пласта Ю₁¹;

– Почти 43 % закачанного индикатора от 150 нагнетательной скважины перемещается в направлении скважины 163. Также индикатор от нагнетательной скважины 150 перемещается в направлении добывающих скважин 139, 162, 180 и 470П. В добывающие скважины 139, 162, 180 и 470П от 150 нагнетательной пришло соответственно ~18 %, ~16 %, ~15 % и ~8 % от суммарного количества извлеченного индикатора.

Наибольшая производительность каналов НФС установлена в межскважинном пространстве скважин 150 – 163 – 150,3 м³/сут. Объем каналов НФС в межскважинной пространстве системы скважин 150-163 составляет 10994,6 м³, скважин 150 – 180 – 2502 м³, скважин 150 – 139 – 3483 м³, скважин 150 – 162 – 3165 м³, скважин 150 – 470П – 1644,8 м³.

При этом добывающие скважины 163, 139, 162, 180 и 470П сильно обводняются по каналам НФС – ~53 %, ~22,7 %, ~34 %, ~36 % и ~23 %. Всего же в область НФС пласта Ю₁¹ скважиной 150 закачивается ~351,9 м³/сут, что составляет ~47 % от общей приемистости скважины 150 пласта Ю₁¹.

По результатам расчетно-экспериментальных данных индикаторных исследований получены зависимости «относительной концентрации индикатора от действительной скорости перемещения индикатора в пласте» и «относительной массы вынесенного индикатора от скорости перемещения индикатора в пласте» от скважины 152. Были построены следующие зависимости за весь период исследований:

– Карта направления и доли нагнетаемой воды в область НФС для реагирующего окружения нагнетательной скважины 152 пласта Ю₁¹;

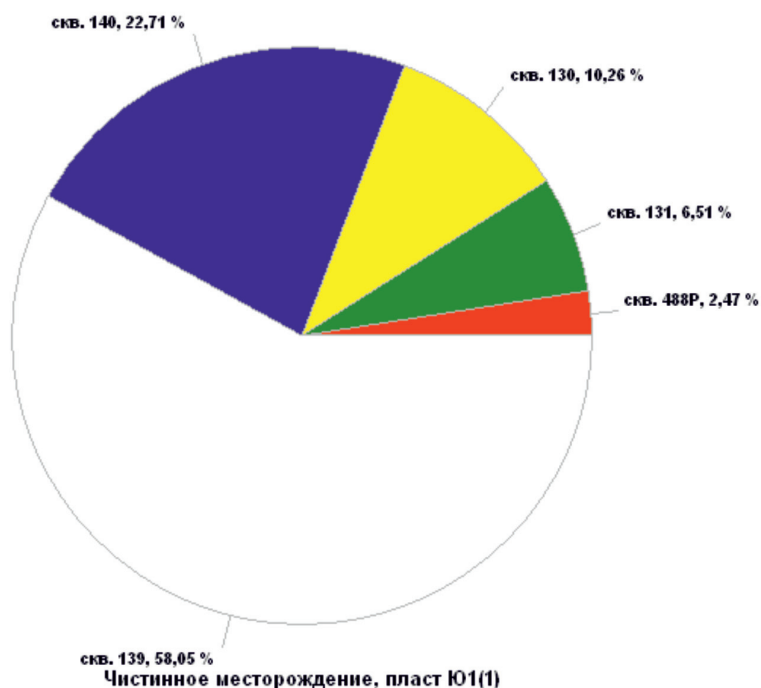


Рис. 4. Производительность каналов НФС (%) реагирующего окружения нагнетательной скважины 129 пласта Ю₁¹

– Карта обводненности добывающих скважин по каналам НФС для реагирующего окружения нагнетательных скважин 152 пласта Ю₁¹;

– Процент нагнетаемой 152 скважиной воды в область НФС и процент добываемой воды по каналам НФС реагирующего окружения пласта Ю11;

– Процентное соотношение производительности каналов НФС реагирующего окружения нагнетательной скважины 152 пласта Ю₁¹.

Индикатор от 152 нагнетательной скважины перемещается в направлении скважины 163 ~20%.

Также индикатор от нагнетательной скважины 152 перемещается в направлении добывающих скважин 139, 162, 164, 142, 175, 140, 470П, 488Р, 130 и 153. В добывающие скважины 139, 162, 164 и 142 от 152 нагнетательной пришло соответственно ~16%, ~12,5%, ~11,8% и ~10,7% от суммарного количества извлеченного индикатора.

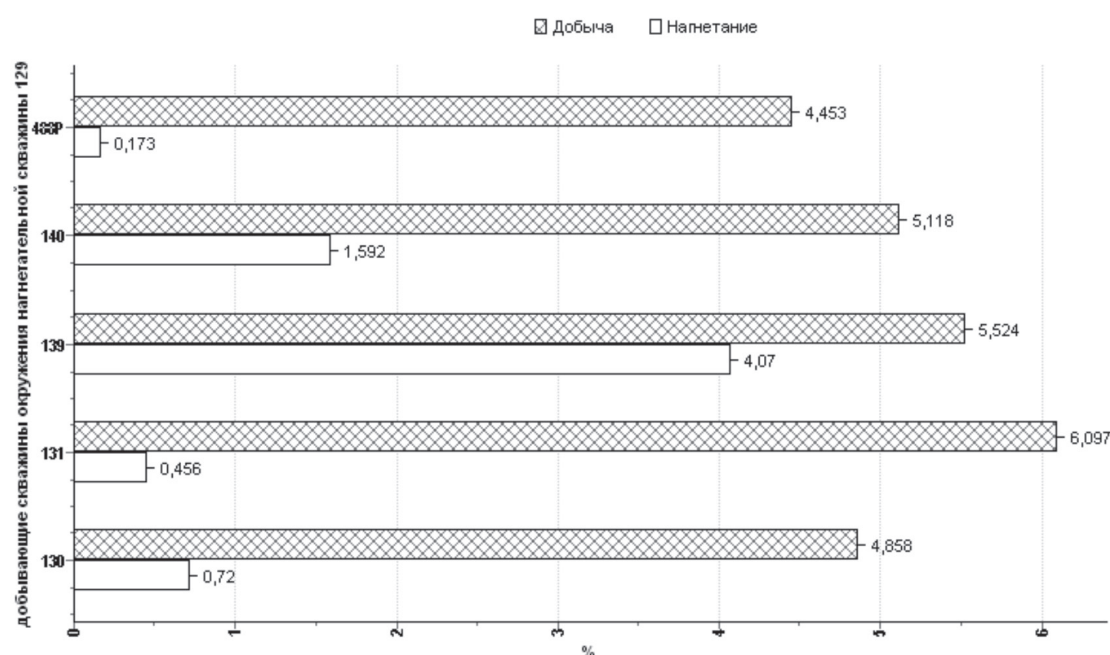


Рис. 5. Нагнетаемая и добываемая вода (%) по каналам НФС

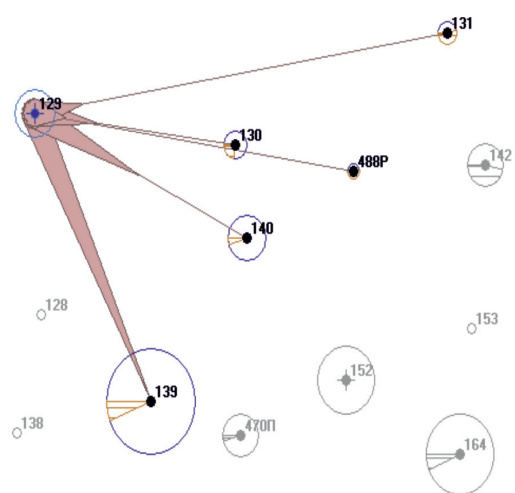


Рис. 6. Схема направления нагнетаемой воды (%) в область НФС

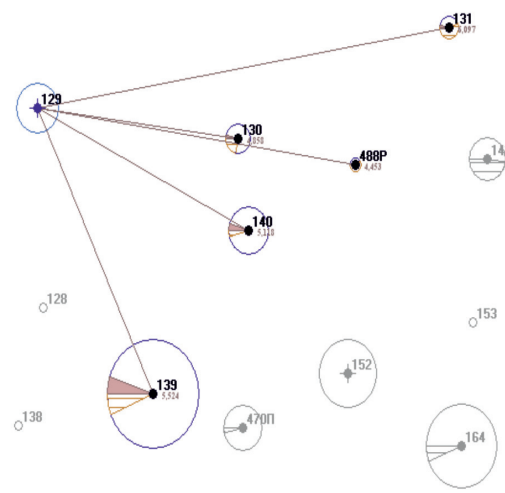


Рис. 7. Схема обводненности добывающих скважин по каналам НФС

Наибольшая производительность каналов НФС установлена в межскважинном пространстве скважин 152 – 163–0,809 м³/сут, а так же производительность 0,663 м³/сут установлена в межскважинном пространстве скважин 152–139. В межскважинном пространстве скважин окружения нагнетательной скважины 152 не выявлено больших объемов каналов НФС.

Обводненность по каналам НФС для скважин окружения 152 нагнетательной скважины не превышает 2%, 1%. Всего же в область НФС пласта Ю₁¹ скважиной 152 закачивается ~4,059 м³/сут, что составляет ~0,679% от общей приемистости скважины 152 пласта Ю₁¹.

По результатам расчетно-экспериментальных данных индикаторных исследований получены зависимости «относительной концентрации индикатора от действительной скорости перемещения индикатора в пласте» и «относительной массы вынесенного индикатора от скорости перемещения индикатора в пласте» от скважины 173. Были построены следующие зависимости за весь период исследований:

- Карта направления и доли нагнетаемой воды в область НФС для реагирующего окружения нагнетательной скважины 173 пласта Ю₁¹;

- Карта обводненности добывающих скважин по каналам НФС для реагирующего окружения нагнетательных скважин 173 пласта Ю₁¹;

- Процент нагнетаемой 173 скважиной воды в область НФС и процент добываемой воды по каналам НФС реагирующего окружения пласта Ю₁¹;

- Процентное соотношение производительности каналов НФС реагирующего окружения нагнетательной скважины 173 пласта Ю₁¹.

Индикатор от 173 нагнетательной скважины перемещается в направлении скважины 183 ~20%.

Также индикатор от нагнетательной скважины 173 перемещается в направлении добывающих скважин. В добывающую скважину 163 и 182 от 173 нагнетательной пришло соответственно ~13% и ~11% от суммарного количества извлеченного индикатора.

Наибольшая производительность каналов НФС установлена в межскважинном пространстве скважин 173 и 183–3,85 м³/сут. В межскважинном пространстве скважин окружения нагнетательной скважины 152 не выявлено больших объемов каналов НФС.

Обводнение по каналам НФС для скважин окружения 173 нагнетательной сква-

жины не превышает 2%. Всего же в область НФС пласта Ю₁¹ скважиной 173 закачивается ~14,705 м³/сут, что составляет ~6,121% от общей приемистости скважины 173 пласта Ю₁¹.

По результатам расчетно-экспериментальных данных индикаторных исследований получены зависимости «относительной концентрации индикатора от действительной скорости перемещения индикатора в пласте» и «относительной массы вынесенного индикатора от скорости перемещения индикатора в пласте» от скважины 309. Были построены следующие зависимости за весь период исследований:

- Карта направления и доли нагнетаемой воды в область НФС для реагирующего окружения нагнетательной скважины 309 пласта Ю₁¹;

- Карта обводненности добывающих скважин по каналам НФС для реагирующего окружения нагнетательных скважин 309 пласта Ю₁¹;

- Процент нагнетаемой 309 скважиной воды в область НФС и процент добываемой воды по каналам НФС реагирующего окружения пласта Ю₁¹;

- Процентное соотношение производительности каналов НФС реагирующего окружения нагнетательной скважины 309 пласта Ю₁¹;

- Суммарный процент нагнетаемой воды в область НФС окружения нагнетательной скважины 309 пласта Ю₁¹;

- Производительность каналов НФС окружения нагнетательной скважины 309 пласта Ю₁¹.

Объемы каналов НФС окружения нагнетательной скважины 309 пласта Ю₁¹.

Больше половины закачанного индикатора от 309 нагнетательной скважины перемещается в направлении скважин 308 ~32% и 307 ~30%.

Также индикатор от нагнетательной скважины 309 перемещается в направлении добывающих скважин 803, 479Р, 801 и 804. В добывающую скважину 803, 479р, 801 и 804 от 309 нагнетательной пришло соответственно ~11%, ~11%, ~10% и ~6% от суммарного количества извлеченного индикатора.

Производительность каналов НФС в межскважинных пространствах скважин 309- 308 – 28,893 м³/сут, скважин 309–307 – 27,502 м³/сут, скважин 309–803 – 10,296 м³/сут, скважин 309–479р – 9,673 м³/сут, скважин 309–801 – 9,369 м³/сут, скважин 309–804 – 5,422 м³/сут. Объем каналов НФС в межскважинном пространстве системы

скважин 309–308 составляет 1913,9 м³, скважин 309–307 – 1911,8 м³, скважин 309–803 – 725 м³, скважин 309 – 479р – 678,3 м³, скважин 309–801 – 512 м³, скважин 309–804 – 384 м³.

При этом добывающие скважины 801, 804, 479Р, 803, 307 и 308 сильно обводняются по каналам НФС ~51 %, ~48 %, ~45 %, ~25 %, ~18 % и ~14 %. Всего же в область НФС пласта Ю₁¹ скважиной 309 закачивается ~91,2 м³/сут, что составляет ~21,4 % от общей приемистости скважины 309 пласта Ю₁¹.

По расчетно-экспериментальным данным индикаторных исследований, были получены комплексные данные по фильтра-

ционной неоднородности пласта Ю₁¹ Чистинного месторождения (окружение нагнетательных скважин 129, 150, 152, 173) [7]:

– Карта направления и доли нагнетаемой воды в область НФС для реагирующего окружения нагнетательных скважин 129, 150, 152, 173 пласта Ю₁¹ (рис. 9);

– Суммарный процент нагнетаемой воды в область НФС окружения нагнетательных скважин 129, 150, 152, 173 пласта Ю₁¹ (рис. 8);

– Карта обводненности добывающих скважин по каналам НФС для реагирующего окружения нагнетательных скважин 129, 150, 152, 173 пласта Ю₁¹ (рис. 10);

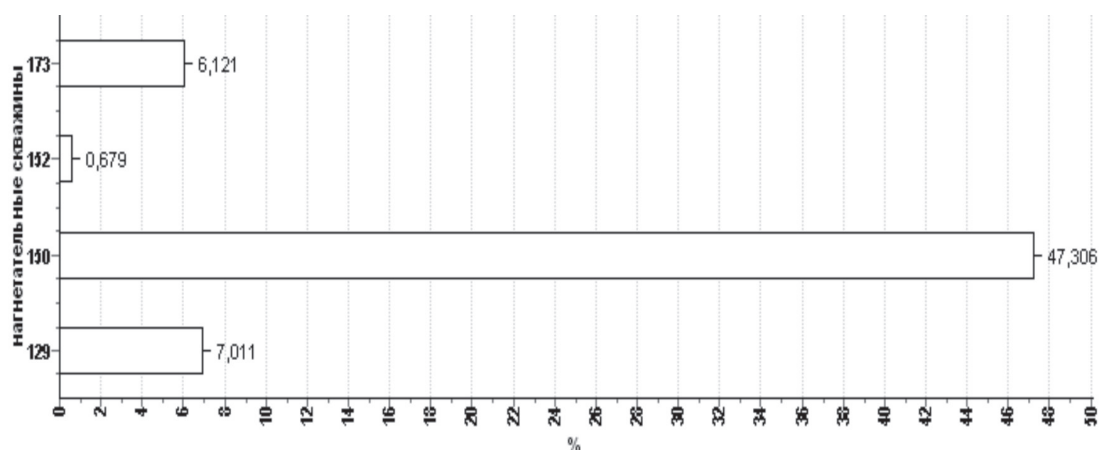


Рис. 8. Нагнетаемая и добываемая вода (%) по каналам НФС

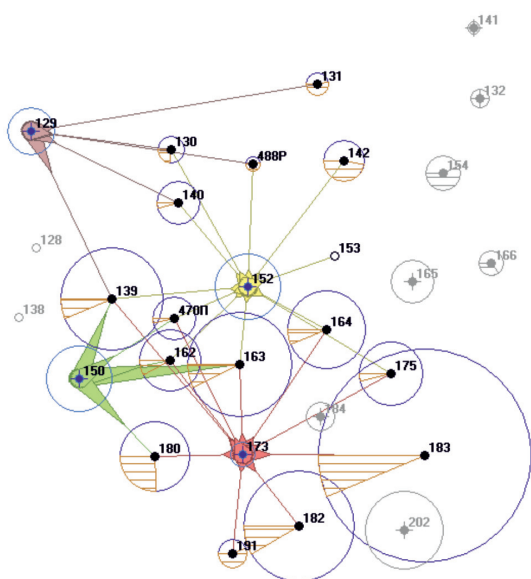


Рис. 9. Схема направления нагнетаемой воды (%) в область НФС

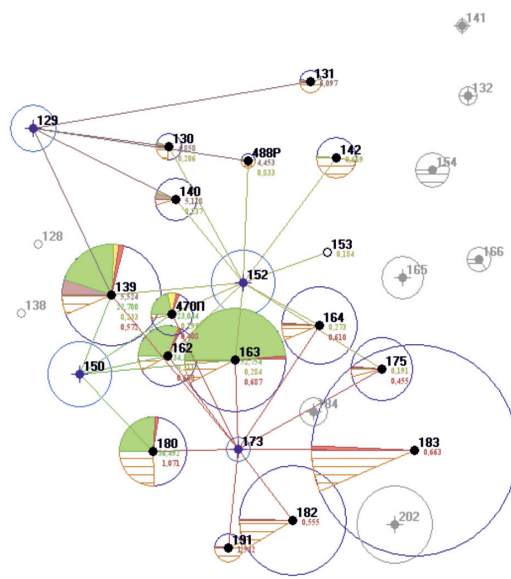


Рис. 10. Схема обводненности добывающих скважин по каналам НФС

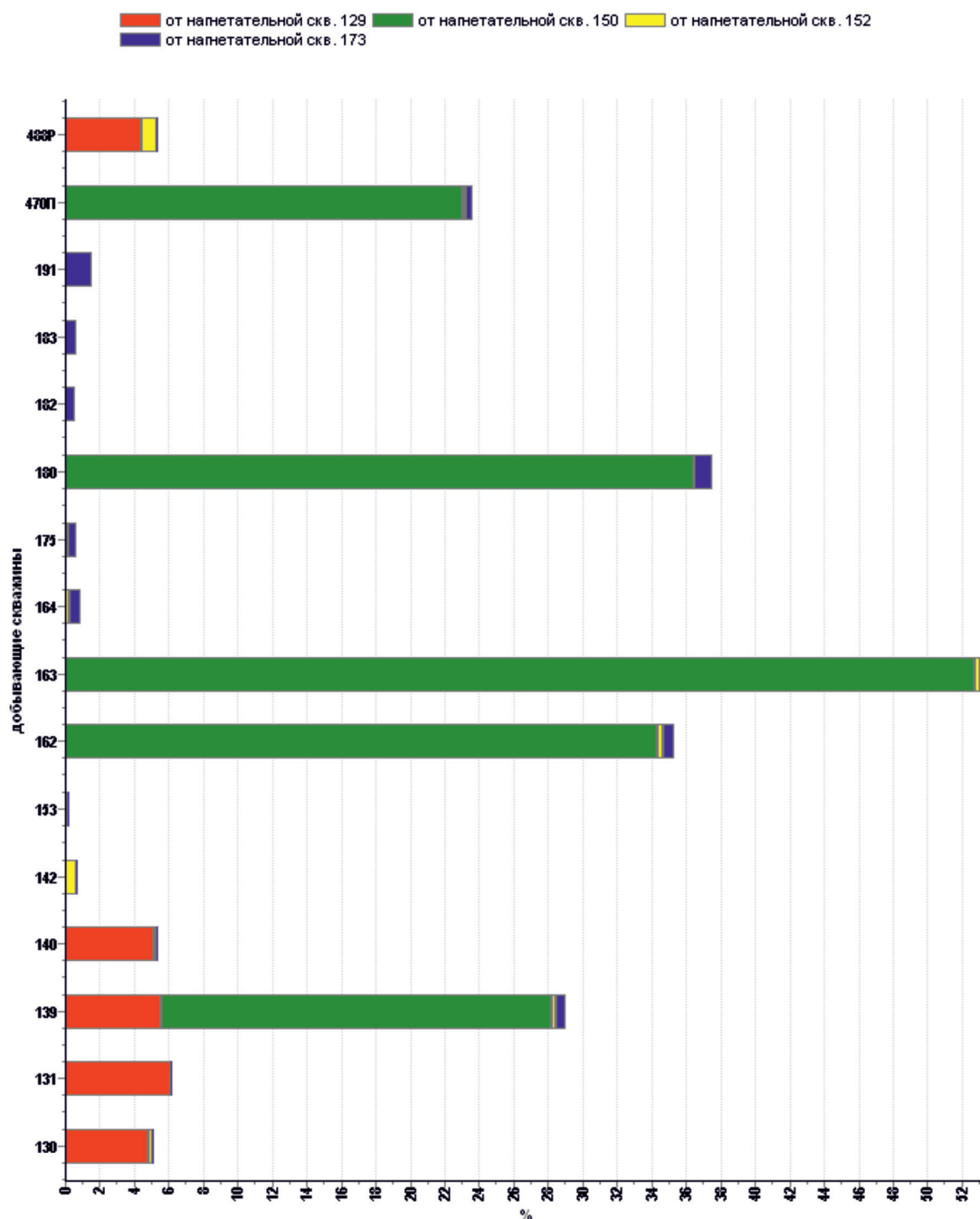


Рис. 11. Суммарный процент обводненности добывающих скважин от нагнетательных 129, 150, 152, 173 пласта Ю₁¹ по каналам НФС

– Суммарный процент обводненности добывающих скважин от нагнетательных 129, 150, 152, 173 пласта Ю₁¹ по каналам НФС (рис. 11);

– Производительность каналов НФС окружения нагнетательных скважин 129, 150, 152, 173 пласта Ю₁¹ для каждой пары нагнетательной и добывающей скважин;

– Объемы каналов НФС окружения нагнетательных скважин 129, 150, 152, 173 пласта Ю₁¹ для каждой пары нагнетательной и добывающей скважин).

В целом по реагирующему окружению нагнетательных скважин 129, 150, 152, 173 «проблемным» участком по результатам индикаторных исследований определено меж-

скважинное пространство нагнетательной скважины 150 и реагирующего окружения добывающих скважин 139, 162, 163, 180, 470п. Все добывающие скважины окружения обводняются по каналам НФС более чем на 20% (рис. 10, 11). Скважина 163 по каналам НФС от нагнетательной 150 обводняется более чем наполовину (рис. 10, 11). В область НФС нагнетательной скважиной 150 закачивается более 47% воды от общей приемистости скважины 150 (рис. 8).

По анализу проведенных ГТМ на Чистинном месторождении, в нагнетательной скважине 150 в 2012 г. проводилось ВПП (на 37 суток от закачки индикатора).

При этом отмеченные по результатам индикаторных исследований большие объемы каналов НФС (рис. 9) высокой производительности в данном случае вероятнее всего не являются следствием отсутствия эффективности проведенного ГТМ, поскольку значительная часть индикатора от скважины 150 уже была извлечена на дневную поверхность добывающими скважинами 139, 162, 163, 180, 470П до проведения ВПП, а остальная часть индикатора была оттеснена нагнетаемой водой на значительное расстояние от нагнетательной скважины, и выравнивание профиля в нагнетательной скважине 150 не повлияло на вынос индикатора в добывающих скважинах ввиду не мгновенного перераспределения пластовой энергии (упругих свойств пласта).

В окружении нагнетательной скважины 129 опережающее обводнение отмечается в межскважинном пространстве системы скважин 129–139 и 129–140.

Четверть всего извлеченного индикатора в окружении нагнетательной скважины 173 добыто с устья 183 добывающей скважины – высокодебитной и сильно обводненной.

В межскважинном пространстве нагнетательной скважины 152 и реагирующего окружения добывающих скважин не отмечено больших объемов каналов НФС).

Суммарный же объем области НФС межскважинного пространства окружения нагнетательных скважин 129, 150, 152, 173 составляет 23404,0 м³, а суммарная производительность окружения нагнетательных скважин 129, 150, 152, 173 всех каналов НФС – 396,11 м³/сут.

При этом объемы каналов НФС межскважинного пространства нагнетательной скважины 150 и добывающих скважин 139, 162, 163, 180, 470п составляют 21624,36 м³ (~92,39% от суммарного объема выявленных по результатам индикаторных ис-

следований каналов НФС в окружении нагнетательных скважин 129, 150, 152, 173), суммарной производительностью 349,76 м³/сут (~88,3% от суммарной производительности выявленных по результатам индикаторных исследований каналов НФС в окружении нагнетательных скважин 129, 150, 152, 173) [7].

Выводы

По нагнетательной скважине 150 необходимо проведение геолого-технологических мероприятий (ГТМ), связанных с выравниванием профиля приемистости.

Список литературы

1. Соколовский Э.В. Индикаторные методы изучения нефтегазоносных пластов / Э.В. Соколовский, Г.Б. Соловьев, Ю.И. Тренчиков. – М.: Недра, 1986. – 158 с.
2. Физические основы разработки нефтяных месторождений и методов повышения нефтеотдачи / В.А. Коротенко, А.Б. Кряквин, С.И. Грачев и др. – Тюмень: ТюмГНГУ, 2014. – 104 с.
3. Enhanced oil recovery methods: Textbook / V.A. Korotenko, A.B. Kryakvin, S.I. Grachyov. – Tyumen: IUT, 2016. – P. 62.
4. Методические рекомендации по количественной интерпретации данных трассерных исследований межскважинного пространства нефтяных месторождений / под ред. Хозяинова М.С. – М.: ВНИИГеоинформсистем, 1988. – 16 с.
5. РД 39-014-7428-235-89. Методическое руководство по технологии проведения трассерных исследований и интерпретации их результатов для регулирования и контроля процесса заводнения нефтяных залежей / Соколовский Э.В., Хозяинов М.С., Зайцев В.И. и др. – Грозный: СевКавНИПИнефть, 1989. – 79 с.
6. Чернокозев Д.А. Совершенствование технологии индикаторных исследований для оценки фильтрационной неоднородности межскважинного пространства нефтяных пластов: дис. ... канд. техн. наук. – Дубна, 2008. – 141 с.
7. Дополнение к технологической схеме разработки Чистинного месторождения. – М.: ОАО «ВНИИнефть», 2009. – 188 с.

References

1. Sokolovskij Je.V. Indikatornye metody izucheniya neftegazonosnyh plastov / Je.V. Sokolovskij, G.B. Solovjev, Ju.I. Trenchikov. M.: Nedra, 1986. 158 p.
2. Fizicheskie osnovy razrabotki nefjanyh mestorozhdenij i metodov povysheniya nefteotdachi / V.A. Korotenko, A.B. Kryakvin, S.I. Grachev i dr. Tyumen: TjumGNGU, 2014. 104 p.
3. Enhanced oil recovery methods: Textbook / V.A. Korotenko, A.B. Kryakvin, S.I. Grachyov. Tyumen: IUT, 2016. pp. 62.
4. Metodicheskie rekomendacii po kolichestvennoj interpretacii dannyh trassernyh issledovanij mezhskvazhinogo prostranstva nefjanyh mestorozhdenij / pod red. Hozjainova M.S. M.: VNIIGeoinformstistem, 1988. 16 p.
5. RD 39-014-7428-235-89. Metodicheskoe rukovodstvo po tehnologii provedeniya trassernyh issledovanij i interpretacii ih rezul'tatov dlja regulirovaniya i kontrolja processa zavodneniya nefjanyh zalezhej / Sokolovskij Je.V., Hozjainov M.S., Zajcev V.I. i dr. Groznyj: SevKavNIPIneft, 1989. 79 p.
6. Chernokozhev D.A. Sovershenstvovanie tehnologii indikatornyh issledovanij dlja ocenki filtracionnoj neodnorodnosti mezhskvazhinogo prostranstva nefjanyh plastov: dis. ... kand. tehn. nauk. Dubna, 2008. 141 p.
7. Dopolnenie k tehnologicheskoy sheme razrabotki Chistinnogo mestorozhdenija. M.: OAO «VNIIneft», 2009. 188 p.

УДК 622.691

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МЕТАНОЛА В МАГИСТРАЛЬНОЙ СИСТЕМЕ ТРАНСПОРТА ГАЗА НА ЭТАПЕ ПОДГОТОВКИ

¹Колчин А.В., ¹Коробков Г.Е., ¹Янчушка А.П., ^{2,3,4}Ямалетдинова К.Ш.

¹ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет»,

Уфа, e-mail: kolchin-alexander@mail.ru;

²ФГБОУ ВО «Башкирский государственный университет», Уфа;

³ФГБОУ ВО «Челябинский государственный университет», Челябинск;

⁴АН РБ «Центр нефтегазовых технологий и новых материалов» ГАНУ ИСИ РБ, Уфа

В настоящей статье раскрываются вопросы становления процесса гидратообразования как сферы научных и инженерных изысканий, а также вопросы совершенствования технологий предотвращения данного осложнения в технологических и магистральных системах трубопроводов. Формирование кристаллогидратов природного газа является существенной проблемой при обеспечении безопасной и эффективной работы газотранспортной системы и её отдельных элементов. Возрастающая актуальность объясняется выходом газодобывающих стран в зоны с осложнёнными и экстремальными условиями, прежде всего с низкими температурами окружающей среды: на территории распространения многолетнемерзлых грунтов, на большие глубины в акватории Мирового океана, а также шельф Арктики. В статье значительное внимание уделено вопросам оптимизации и повышения эффективности современных систем ингибирования на установках комплексной подготовки газа (УКПГ), поскольку основным методом предупреждения образования и отложения гидратов является применение ингибиторов, например термодинамических (метанол, гликоли) или ингибиторов в малых дозах (кинетические ингибиторы, антиагломеранты). Поскольку в настоящее время в большинстве случаев в качестве ингибирующего реагента применяется метанол либо, в частных случаях, гликоли, в этой связи при рассмотрении данных методов предупреждения наибольшее внимание уделено именно применению метанола и способам его эффективного использования. В настоящее время завышенные расходы метанола и малоэффективное его использование на установке комплексной подготовки газа без учёта термодинамических особенностей аппаратных процессов и технологических трубопроводов, несмотря на обширный опыт, оставляют ряд задач. Решение поставленных задач актуально и может найти применение при проектировании систем предупреждения отложений гидратов в технологических системах, обязавши аппаратов установок подготовки природного и попутных нефтяных газов, так и в газовой промышленности в целом.

Ключевые слова: метанол, промысловая подготовка, природный газ, трубопроводный транспорт, гидратообразование

EFFECTIVIZATION OF METHANOL INHIBITION IN MAIN GAS PIPELINE SYSTEM AT TREATMENT STAGE

¹Kolchin A.V., ¹Korobkov G.E., ¹Yanchushka A.P., ^{2,3,4}Yamaletdinova K.Sh.

¹Ufa State Petroleum Technological University, Ufa, e-mail: kolchin-alexander@mail.ru;

²Bashkir State University, Ufa;

³Chelyabinsk State University, Chelyabinsk;

⁴AS RB Centre of Oil and Gas Technologies and New Materials SASU ISI RB, Ufa

The article covers some genesis issues of the hydrate crystallization process as an area of interest of academic and engineer surveys as well as the issues of improving technologies for preventing the problem in technological and main pipeline systems. The formation of hydrates is a significant problem in ensuring the safe and efficient operation of the gas transportation system and its individual elements. Increasing relevance is explained by the outcome of gas producing countries in areas with complicated and extreme conditions, primarily with low ambient temperatures: the territory of distribution of a permafrost soils, deep water in the World Ocean and the Arctic off-shore zones. Considerable attention is paid to the optimization and efficiency improvement issues of modern inhibition systems at field gas treatment units. The main method for preventing hydrate formation and hydration is using of thermodynamic hydrate inhibitors (methanol, glycols) or inhibitors in small doses (kinetic inhibitors, antiagglomerants). Currently, in most cases, methanol is used as an inhibitory reagent, or, in special cases, glycols. In this regard, when considering inhibitory methods for preventing hydrate formation, considerable attention is paid to the use of methanol and methods for its effective use. At present, uprating methanol consumption and ineffective use of methanol at the central gas treatment facility without taking into account the thermodynamic features of the hardware processes and process pipelines, in spite of extensive experience leave a number of problems that are relevant and can be used in the design of hydrate deposition prevention and prevention systems in pipeline strapping apparatus of natural gas as well as associated petroleum gases treatment facilities, and gas industry in general.

Keywords: methanol, field treatment, natural gas, pipeline transportation, hydrate crystallization

Запасы природного газа на Земле, как источника энергии, одни из самых перспективных и составляют на 2015 г. по оценке «BP» 186,9 трлн м³ из доказанных.

Одновременно растёт доля природного газа в энергетическом аспекте. Активно ведётся добыча природного и эффективная утилизация нефтяного газа; так, например, в России

по данным Министерства энергетики РФ за 2016 г. было добыто 640,2 млрд м³ газа, из которых доля природного газа составляет 556,9 млрд м³. При этом следует отметить, что данный уровень добычи сохраняет своё значение с отклонением в 4,84% об. за последние 5 лет. Данная тенденция характерна для всех газодобывающих стран, а значит, актуальны и сопутствующие добыче и переработке скважинной продукции осложнения, так же как и развитие методов их предотвращения или предупреждения. Наиболее широко распространённым явлением на всех этапах: от добычи из пласта до промысловой подготовки и трубопроводного транспорта до потребителя – является процесс образования клатратных соединений – гидратов. Более того, данное технологическое осложнение оказывает значительное влияние на трубопроводные системы сбора скважинной продукции газовых, газоконденсатных и газонефтяных месторождений, а также внутренние технологические системы трубопроводной обвязки объектов установок комплексной подготовки газа (УКПГ) и методы его решения представляют интерес с точки зрения инженеров и исследователей. Данный факт объясняется выходом газодобывающих стран в зоны с осложнёнными и экстремальными условиями, прежде всего с низкими температурами окружающей среды: на территории распространения многолетнемерзлых грунтов, на большие глубины в акватории Мирового океана, а также шельф Арктики.

В связи с этим процессом гидратообразования (как отрицательным аспектом), его изучением и математическим моделированием занимается множество учёных, при этом огромное внимание уделяется методам и средствам предотвращения газовых кристаллогидратов и способам их оптимизации.

Наиболее общепринятым решением данного осложнения является полное предупреждение процесса образования гидратов.

На начальном этапе исследовательских работ проблемами гидратообразования, исследованием самого процесса и его описанием занимались Дж. Пристли (1777–1778 гг.), Х. Деви (1810 г.), Е.Г. Хаммершмидт (1934), И.Н. Стрижов (1946). Первые термодинамические модели газовых кристаллогидратов и их математическое описание осуществили Я. Ван-дер-Ваальс и Р. Баррер в 1956–1962 гг.

Значительный вклад в разработку методов предотвращения и ликвидации тех-

ногенного гидратообразования в 1960–1980-е гг. внесли многие отечественные специалисты А.Г. Бурмистров, Э.Б. Бухгалтер, С.Ш. Бык, Б.В. Дегтярев, Ю.П. Коротаев, Г.С. Лутошкин, Ю.Ф. Макогон, Э.В. Маленко, В.И. Семин, В.И. Фомина, В.А. Хорошилов и другие.

В целом работы по изучению газогидратов можно разделить на несколько направлений:

1) эмпирическое изучение фазовых равновесий углеводородных систем и гидратов природного газа. В рамках данного направления можно выделить две основных темы исследований:

– применение концептуально новых точных методов лабораторного изучения равновесий в сложных двухфазных системах «углеводородный газ – гидрат» жирного газа в условиях недостатка гидратообразующих компонентов (метана, этана, пропана и реже бутанов) и дальнейшее совершенствование термодинамических моделей процессов гидратообразования;

– изучение фазового равновесия кристаллогидрата при высоких давлениях, где значительное влияние на фазовые преобразования оказывает его метастабильное состояние, что направлено на уточнение существующих фазовых диаграмм для бинарных систем, а также на получение фазовых диаграмм для заранее определенных многокомпонентных углеводородных газов для дальнейшего использования данных в численном моделировании;

2) математическое моделирование гидратообразующих систем, важнейшими из которых являются следующие задачи:

– создание и уточнение математических моделей газогидратных фаз с последующей разработкой новых программных пакетов по описанию фазовых превращений в различных системах «газ – гидрат»;

– совершенствование термодинамических моделей физико-химических свойств газогидратных фаз; уточнение поведения кристаллогидратов при высоких давлениях;

3) математическое моделирование с последующей интеграцией в промысловые процессы предотвращения гидратообразования при подготовке скважинной продукции и трубопроводном транспорте товарного сырья, со следующими основными задачами:

– оптимизация технических решений для термодинамических ингибиторов;

– оптимизация молекулярного строения кинетических ингибиторов;

– разработка и внедрение безынгибиторных процессов промысловой подготовки углеводородного газа (применение многофазного транспорта в условиях потенциальной зоны гидратообразования, применение малоингибиторных технологий и т.д.), что особенно актуально для труднодоступных условий Крайнего Севера с плохоразвитой инфраструктурой [1].

*Методы определения
условий гидратообразования
для углеводородных газов*

Несмотря на существующие, относительно универсальные, расчётные методики определения условий и зон потенциального гидратообразования, наибольшее распространение получили упрощённые методики, основанные на простых эмпирических зависимостях. К одной из первых методик можно отнести метод по относительной

плотности [2], которая была разработана в середине XX века для газовых месторождений США. В последующем было предложено множество аналитических аппроксимаций данного метода, например аппроксимация А.С. Схалыхо и Ю.Ф. Макогона, предложенная в 1972 г.:

$$\lg p = \beta + 0,0497 \cdot (t + k \cdot t^2),$$

где p – давление, кгс/см²; t – температура, °С; β и k – параметры аппроксимации, определённые экспериментальным путём в зависимости от относительной плотности газа по воздуху.

Не менее активно использующийся метод, основанный на аналогичных эмпирических подходах, разработан в 1960 г. Г.В. Пономаревым [3], где условия образования гидратов для низкого давления (до 10 МПа) определяются следующим образом:

$$\begin{cases} \lg p = 2,0055 + 0,0541 \cdot (B + T - 273,15), & T > 273,15\text{K}; \\ \lg p = 2,0055 + 0,0171 \cdot (B_1 - T + 273,15), & T < 273,15\text{K}, \end{cases}$$

где p – давление, кгс/см²; T – температура, К; B и B_1 – параметры, аппроксимированные в соответствии с приведённой плотностью изучаемого газа.

В дополнение к наиболее известным моделям описания условий гидратообразования углеводородных газов можно отнести:

– метод Мак-Леода и Кэмпбела, а также Хейнсе;

– метод А.Г. Бурмистрова, разработанный и применимый для сложных составов газа;

– метод Керзона-Каца, который применим для высоких давлений и для многокомпонентных газов;

– метод Трекела – Кемпбела, который является более совершенным вариантом метода Мак – Леода и Кемпбела и возможен к применению для высоких давлений и многокомпонентных газов;

– графический метод Бейли и Вишерта, который описывает широкий диапазон давлений (0,7–30 МПа).

*Методы предупреждения
гидратообразования и гидратоотложения*

В общей сложности существует шесть различных способов предотвращения процесса образования гидратов в трубопроводах и промысловых аппаратах различного типа:

– добавление термодинамических ингибиторов (метанол, гликоли и др.);

– применение LDHI (ингибиторов гидратообразования в малых дозах, например кинетических ингибиторов);

– проведение технологических операций при низких давлениях;

– осушка газа;

– термоизоляция технологических трубопроводов;

– косвенный подогрев перекачиваемого сырья.

Несмотря на многообразие, самым эффективным и надёжным методом до сих пор остается ингибирование термодинамическими присадками, что позволяет снизить температуру начала гидратообразования и сместить зону потенциального гидратообразования из эксплуатационного режима. Использование кинетических ингибиторов замедляет процесс гидратообразования, но не обеспечивает выход из гидратного режима [4, 5]. При добыче и подготовке природного газа, так же как и в системах трубопроводного транспорта, применяют термодинамические ингибиторы различного типа, но в климатических условиях Крайнего Севера на данный момент используют только метанол либо, в частных случаях – гликоли.

В целом методы предупреждения гидратов классифицируют на ингибиторные и безынгибиторные.

В случае ингибирования углеводородного газа необходимо решить несколько задач:

- произвести подбор оптимального ингибитора с точки зрения технико-экономических показателей, а также учитывая его возможные дополнительные функции (например, как ингибитор коррозии металла стенки трубы; либо же, наоборот, его негативное воздействие на прочие присадки в углеводородном потоке, особенно в выделенных технологических потоках углеводородного конденсата, где содержание ингибитора гидратообразования может достигать 10–15 % об.);

- произвести оценочный расчёт минимального количества реагента, необходимого для ингибирования с учётом технологического запаса;

- произвести анализ существующих точек ингибирования и распределить рассчитанное количество реагента по этим точкам;

- и наиболее актуальная задача: произвести оптимизацию и динамическое моделирование процесса ингибирования.

Следует отметить, что задача оптимизации на этом этапе может варьироваться в зависимости от уровня оптимизации, при этом полученные данные по расходу реагента могут отличаться. Также оптимизация расходов ингибирующих реагентов может внести изменения в исходную схему ингибирования и сам реагент, когда переходят к «гибридной» схеме на УКПГ [6].

Ещё одно немаловажное замечание, которое корректирует количество потребного ингибирующего реагента – это интенсивность образования газовых гидратов, которая в свою очередь зависит от режима течения газа (в турбулентном потоке процесс протекает более интенсивно) [2] и наличия центров кристаллизации (дефекты трубопроводов, арматура, внутренние элементы сепараторов, а также шлам, переносимый вместе с сырьевым потоком). Это делает дроссельную арматуру, а также любые теплообменные секции особенно чувствительными к отложению гидратов в связи с тем, что:

- 1) температура сырьевого потока при прохождении через дроссель значительно понижается вследствие эффекта Джоуля – Томпсона;

- 2) в уменьшенном проходном сечении клапана возникает большая скорость потока;

- 3) в теплообменном аппарате происходит активное перемешивание газа, а также присутствует большая площадь контакта газового потока с развитой поверхностью.

Таким образом, поскольку в настоящее время в большинстве случаев в качестве ингибирующего реагента применяется метанол либо, в частных случаях, гликоли, то при рассмотрении ингибиторных методов предотвращения гидратообразования следует значительное внимание уделить именно применению метанола и способам его эффективного использования. Как уже было отмечено, на данный момент наибольший интерес представляет оставшееся в углеводородном конденсате, выделенном на УКПГ, и в водометанольных растворах (ВМР), особенно когда речь идёт о подготовке газа на УКПГ методом низкотемпературной сепарации. Если вопрос регенерации метанола из ВМР уже достаточно изучен, что будет показано далее, то вопросу выделения метанола из углеводородного конденсата, где он является балластным компонентом, утилизируемым на заводах, уделено в настоящее время недостаточно внимания.

Безынгибиторные методы предотвращения гидратообразования детально проанализированы в работах Э.Б. Бухгалтера [7], А.Г. Малышева, В.А. Хорошилова и В.И. Семина [8]. На основе данных работ можно выделить два основных пути развития данных методов:

- поддержание безгидратных термобарических режимов систем добычи;

- применение методов предотвращения отложения кристаллогидратов на внутренней поверхности трубы при их возможном образовании в самом объёме углеводородного газа.

Методы восстановления и оптимизаций

Подготовка пластового природного газа к магистральному транспорту, особенно на месторождениях Крайнего Севера России, чаще всего сопровождается процессом образования гидратов природного газа. Товарный газ требуемого качества может быть получен путем абсорбции, адсорбции и низкотемпературной сепарации (НТС). Однако первые две технологии имеют ряд существенных недостатков, которые ограничивают их применение в промышленных условиях. Одним из основных недостатков является невозможность удаления воды

и тяжёлых углеводородов с помощью одного и того же поглощающего агента [9]. Кроме того, для регенерации сорбентов требуется высокая температура (150–320 °С в зависимости от используемой технологии и типа поглощающего агента) [11], что повышает пожаро- и взрывоопасность установки и увеличивает энергозатраты. Эксплуатация установки также усложняется из-за необходимости периодического добавления поглощающего агента в связи с уносом в потоке очищенного газа (в случае адсорбции) [11] или полной замены в связи с механическим разрушением (в случае адсорбции).

Технология низкотемпературной сепарации проста в эксплуатации, характеризуется минимальными эксплуатационными затратами, поэтому наиболее распространена в практике промышленной подготовки газа. Требуемое качество подготовки газа достигается путем снижения температуры и давления до достижения равновесных условий сепарации, при которых из газа конденсируется требуемое количество углеводородов и воды.

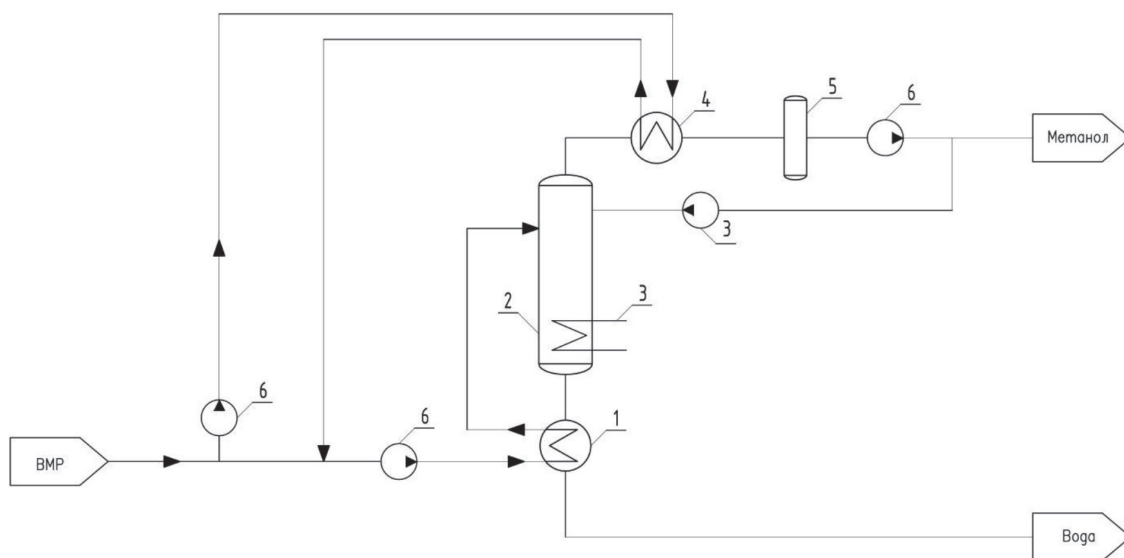
Несмотря на очевидные достоинства низкотемпературного метода подготовки газа, как уже было отмечено ранее, помимо товарного газа, удовлетворяющего требованиям СТО Газпром 089-2010 «Газ горючий природный, поставляемый и транспортиру-

емый по магистральным газопроводам. Технические условия» и углеводородного конденсата с содержанием метанола, образуется значительное количество водометанольного раствора, в котором в небольшом количестве могут содержаться следы углеводородов алканового ряда.

Традиционно ВМР можно утилизировать на низконапорных факелах ВМР, либо повышать концентрацию раствора путём ректификации, адсорбции или химической очистки, что подробно описано в работах Э.Б. Бухгалтера, либо повторное использование ВМР высокой концентрации с последних ступеней НТС и его отдувка на предыдущих ступенях НТС.

Отдувка метанола носит перспективный характер, поскольку концентрация метанола в таких растворах достигает 80% мас., однако массовый расход такого потока незначителен в отношении к начальному ингибирующему потоку метанола, поэтому применение данного метода ограничивает экономическая целесообразность в каждом отдельном случае.

Наиболее же распространён метод ректификации водометанольного раствора. Как пример, можно привести несколько видоизменённую технологическую схему регенерации водных растворов метанола Мессояхского газового месторождения, которая приведена на рисунке.



Технологическая схема установки регенерации метанола Мессояхского месторождения:
1 – теплообменник; 2 – ректификационная колонна; 3 – паровой подогреватель;
4 – конденсатор-холодильник; 5 – промежуточная ёмкость; 6 – насосы

Основной узел на технологической схеме – ректификационная колонна, где метанол сепарируют от воды путем фракционирования. Колонна диаметром 1,2 м оборудована 26 тарелками, давление в колонне равно 0,112–0,127 МПа (в зависимости от режима эксплуатации), температуры верха и низа колонны составляют соответственно 65 и 95 °С.

Как видно из рисунка, типовая схема достаточно универсальна. Данный метод высокзатратен с точки зрения энергетики, поэтому его применение ограничивают экономические показатели рентабельности.

Таким образом, формирование гидратов природного газа является значительным осложнением при обеспечении надежной и эффективной эксплуатации газотранспортной системы и её отдельных элементов. Эксплуатация системы транспорта газа в гидратном режиме может привести не только к опасности появления отложений кристаллогидратов природного газа в технологических и магистральных газопроводах, но и изменить режимы эксплуатации установок подготовки природного газа. В наихудшем варианте происходит блокирование проходного сечения трубопроводов, промыслового оборудования, блокирование трубопроводной арматуры. Традиционным и наиболее распространенным решением является ингибирование процесса метанолом, как и ликвидация последствий гидратообразования (удаление пробок, наледи и т.д.). Тем не менее в настоящее время завышенные расходы метанола и малоэффективное его использование на УКПГ без учёта термодинамических особенностей аппаратных процессов и технологических трубопроводов, несмотря на обширный опыт, оставляют ряд задач, которые актуальны и могут найти применение при проектировании систем предотвращения и предупреждения отложений гидратов в технологических системах трубопроводной обвязки аппаратов УКПГ, так и УКПГ в целом:

1) анализ и уточнённое математическое моделирование многокомпонентной системы «углеводородный газ – ингибитор гидратообразования (метанол)» с целью прогнозирования зон гидратоотложений в пуско-наладочный и эксплуатационный период и определения эффективности выбранного ингибитора;

2) разработка ресурсосберегающего метода и технологии использования вторичных источников ингибиторов гидратообразования с учётом требований к промышленной экологии, в частности: использование бал-

ластового метанола, содержащегося в подготовленном углеводородном конденсате;

3) разработка оптимизированной системы ингибирования метанолом с учётом термобарических условий в технологических трубопроводах и теплообменных аппаратах при возможном использовании вторичных ресурсов балластного метанола, который безвозвратно выводится с УКПГ с углеводородным конденсатом.

Выводы

В ходе проведенного аналитического исследования был проведен обобщенный анализ проблем образования газогидратов в трубопроводных системах сбора, подготовки и магистрального транспорта природного газа. В частности, был проведен критический анализ существующих методов определения условий гидратообразования для углеводородных газов, а также методов предупреждения гидратообразования и гидратоотложения в трубопроводных системах. В результате были выделены наиболее применимые с точки зрения практического применения модели описания термобарических условий гидратообразования и описаны основные сценарии применения методов предупреждения данного осложнения.

На основе проведенного анализа тенденций по методам восстановления и оптимизаций предупреждающих процесс гидратообразования процессов были сформулированы новые задачи дальнейших исследований.

Список литературы

1. Ямалетдинова А.А. Моделирование созданных на основе информационных потенциальных обратных связей автоматизированных систем управления процессами / А.А. Ямалетдинова, С.С. Гоц, А.Р. Хафизов, К.Ш. Ямалетдинова // Проблемы сбора, подготовки и транспорта нефти и нефтепродуктов – Уфа: УГНТУ, 2015. – № 1. – С. 107–119.
2. Carroll John. Natural Gas Hydrates. A Guide for Engineers. Second edition / John Carroll – USA: Gulf Professional Publishing, 2009, 288 p.
3. Пономарев Г.В. Условия образования гидратов природных и попутных газов / Г.В. Пономарев. – Куйбышев: НИИП, 1960. – Вып. 2. – С. 49–55.
4. Kamari A. et al. New tools predict monoethylene glycol injection rate for natural gas hydrate inhibition / A. Kamari, A. Bahadori, A.H. Mohammadi, S. Zendehboudi // Journal of Loss Prevention in the Process Industries. – 2015. – № 33. – P. 222–231.
5. Daraboina N. et al. Synergistic kinetic inhibition of natural gas hydrate formation / N. Daraboina, C. Malmos, N. von Solms // Fuel. – 2013. – № 108. – P. 749–757.
6. Истомин В.А. Определение расхода метанола на установках комплексной подготовки газа / В.А. Истомин, В.Г. Квон, В.П. Лакеев и др. // Подготовка, переработка и использование газа: Экспресс-инф. – М.: ВНИИЭгазпром, 1986. – Вып. 10. – С. 1–6.
7. Бухгалтер Э.Б. Предупреждение и ликвидация гидратообразования при подготовке и транспорте нефтяного и при-

родного газав: Обз. инф. / Э.Б. Бухгалтер // Сер. Нефтепромысловое дело. – М.: ВНИИЭНГ, 1982. – Вып. 10 (34). – 41 с.

8. Хорошилов В.А. Предупреждение гидратообразования при добыче нефти / В.А. Хорошилов, В.И. Семин // Природные и техногенные газовые гидраты: Науч. тр. ВНИИГАЗа. – М., 1989.

9. Kolchin A. Development of Reduction Methods of Methanol Consumption in Natural Gas Transportation Systems / A. Kolchin. – 43rd Annual Meeting ICOHTEC – 2016, July, Porto, Portugal. – 2016. – P. 79.

10. Колчин А.В. Совершенствование очистки газа и газоконденсата шельфовых месторождений с целью предупреждения образования гидратов в трубопроводе / А.В. Колчин, Г.Е. Коробков, А.П. Янчушка // Научно-технический вестник Поволжья. – Казань, Научно-технический вестник Поволжья. – 2013. – № 5. – С. 209–215.

11. Mukhametova N.D. Gas Condensate Field Infrastructure Reengineering on the Declining Production Stage to Increase Profitability of Exploitation / N.D. Mukhametova, A.V. Kolchin, N.L. Elizareva etc. – Abu Dhabi International Petroleum Exhibition & Conference, 7–10 November, Abu Dhabi, UAE. – 2016. – P. 1–39.

References

1. Jamaletdinova A.A. Modelirovanie sozdannyh na osnove informacionnyh potencialnyh obratnyh svyazey avtomatizirovannyh sistem upravleniya processami / A.A. Jamaletdinova, S.S. Goc, A.R. Hafizov, K.Sh. Jamaletdinova // Problemy sbora, podgotovki i transporta nefi i nefteproduktov Ufa: UGNTU, 2015. no. 1. pp. 107–119.

2. Carroll John. Natural Gas Hydrates. A Guide for Engineers. Second edition / John Carroll USA: Gulf Professional Publishing, 2009, 288 p.

3. Ponomarev G.V. Usloviya obrazovaniya gidratov prirodnyh i poputnyh gazov / G.V. Ponomarev. Kujbyshev: NIINP, 1960. Vyp. 2. pp. 49–55.

4. Kamari A. et al. New tools predict monoethylene glycol injection rate for natural gas hydrate inhibition / A. Kamari, A. Bahadori, A.H. Mohammadi, S. Zendeheboudi // Journal of Loss Prevention in the Process Industries. 2015. no. 33. pp. 222–231.

5. Daraboina N. et al. Synergistic kinetic inhibition of natural gas hydrate formation / N. Daraboina, C. Malmos, N. von Solms // Fuel. 2013. no. 108. pp. 749–757.

6. Istomin V.A. Opredelenie rashoda metanola na ustanovkah kompleksnoj podgotovki gaza / V.A. Istomin, V.G. Kvon, V.P. Lakeev i dr. // Podgotovka, pererabotka i ispolzovanie gaza: Jekspress-inf. M.: VNIJegazprom, 1986. Vyp. 10. pp. 1–6.

7. Buhgalter Je.B. Preduprezhdenie i likvidacija gidratoobrazovaniya pri podgotovke i transporte nefljanogo i prirodnogo gazov: Obz. inf. / Je.B. Buhgalter // Ser. Neftpromyslovoe delo. M.: VNIJENG, 1982. Vyp. 10 (34). 41 p.

8. Horoshilov V.A. Preduprezhdenie gidratoobrazovaniya pri dobyche nefi / V.A. Horoshilov, V.I. Semin // Prirodnye i tehnogennye gazovye gidraty: Nauch. tr. VNIIGAZa. M., 1989.

9. Kolchin A. Development of Reduction Methods of Methanol Consumption in Natural Gas Transportation Systems / A. Kolchin. 43rd Annual Meeting ICOHTEC 2016, July, Porto, Portugal. 2016. pp. 79.

10. Kolchin A.V. Sovershenstvovanie ochistki gaza i gazokondensata shelfovyh mestorozhdenij s celju preduprezhdeniya obrazovaniya gidratov v truboprovode / A.V. Kolchin, G.E. Korobkov, A.P. Janchushka // Nauchno-tehnicheskij vestnik Povolzhja. Kazan, Nauchno-tehnicheskij vestnik Povolzhja. 2013. no. 5. pp. 209–215.

11. Mukhametova N.D. Gas Condensate Field Infrastructure Reengineering on the Declining Production Stage to Increase Profitability of Exploitation / N.D. Mukhametova, A.V. Kolchin, N.L. Elizareva etc. Abu Dhabi International Petroleum Exhibition & Conference, 7–10 November, Abu Dhabi, UAE. 2016. pp. 1–39.

УДК 622.331:631.61:631.871

**ИСКУССТВЕННО ПОЛУЧЕННЫЕ ГУМИНОВЫЕ ВЕЩЕСТВА
ДЛЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ПОЧВ****Москаленко Т.В., Михеев В.А., Ворсина Е.В.***ФГБУН «Институт горного дела Севера им. Н.В. Черского» Сибирского отделения
Российской академии наук, Якутск, e-mail: labkiy@mail.ru*

В статье показано, что уникальное экономико-географическое, транспортное и геополитическое положение Дальневосточного федерального округа является прямой предпосылкой к осуществлению его прорывного социально-экономического развития. С целью решения проблем региона и его развития Правительством Российской Федерации принята Федеральная целевая программа «Экономическое и социальное развитие Дальнего Востока и Байкальского региона на период до 2025 г.», создаются территории опережающего социально-экономического развития, для закрепления трудовых ресурсов действует программа «дальневосточный гектар», в рамках которой производится бесплатное предоставление земельных участков для ведения сельского, лесного и охотничьего хозяйства или любого другого вида бизнеса. Поэтому существует необходимость заблаговременно обезопасить регион от экологических проблем, в частности проблем с деградацией и загрязнением почв. Один из способов восстановления плодородия почв и ее детоксикации – внесение в почву гуминовых веществ, которые с успехом могут быть извлечены из торфов, бурых углей, сапропелей. В Институте горного дела Севера им. Н.В. Черского СО РАН разработана, изготовлена и испытана опытно-промышленная установка для производства жидких и сухих гуматов. Гуматы, полученные по методу ИГДС СО РАН, полностью растворяются в воде (т.е. относятся к категории «безбалластных»), что является наиболее предпочтительным видом искусственно полученных гуминовых веществ для восстановления почв. Авторами отмечается необходимость создания в этом направлении методических и организационных основ агроэкологического восстановления плодородия, составления прогнозов эволюции почв как при антропогенных воздействиях, так и для агротехнических мероприятий.

Ключевые слова: почва, детоксикация, восстановление плодородия, бурый уголь, торф, гуминовые вещества, «безбалластные» гуматы

ARTIFICIALLY OBTAINED HUMIN SUBSTANCES FOR RESTORATION OF SOILS**Moskalenko T.V., Mikheev V.A., Vorsina E.V.***Mining Institute of the North named after N.V. Cherskiy SB RAS, Yakutsk, e-mail: labkiy@mail.ru*

The article shows that the unique economic-geographical, transport and geopolitical position of the Far Eastern Federal District is a direct prerequisite for the implementation of its breakthrough socio-economic development. The Government of the Russian Federation adopted the Federal Target Program «Economic and social development of the Far East and the Baikal region for the period up to 2025» in order to solve the problems of the region and its development. The territories of priority social and economic development is created for this purpose, the program «Far Eastern hectare» is being implemented to secure labor resources within the framework of which the free provision of land plots. The land plots are issued for farming, forestry and hunting or any other type of business. Therefore, there is a need to protect the region from environmental problems in advance, in particular problems with soil degradation and pollution. One way to restore soil fertility and its de-toxification is humic acids, which can be successfully extracted from peat, lignite, sapropels. A method for obtaining humic substances from brown coals has been developed, an experimental industrial plant for the production of liquid and dry humates in the I Mining Institute of the North named after N.V. Cherskiy SB RAS has been developed, manufactured and tested. The humates obtained by this method are completely dissolved in water (that is, they are classified as «ballastless»), which is the most preferred type of artificially prepared humic substances for soil restoration. The authors note the necessity of creating methodological and organizational bases for agroecological restoration of fertility in this direction, making forecasts of the evolution of soils, both under anthropogenic influences and for agrotechnical measures.

Keywords: soil, de-toxication, restoration of fertility, lignite, peat, humic substances, «ballastless» humates

Дальневосточный федеральный округ (ДФО) является наибольшим в России по величине территории и обладает уникальным экономико-географическим, транспортным и геополитическим положением по отношению к странам Азиатско-Тихоокеанского региона, численность населения которых составляет почти половину общемировой. ДФО располагает целым рядом благоприятных факторов для дальнейшего социально-экономического развития. Наиболее значимыми из них являются: уни-

кальный природно-ресурсный потенциал не только на суше, но и на море; наличие железных дорог (Транссиб и БАМ); приграничное положение; незамерзающие морские порты на юге; благоприятные условия для развития сельского хозяйства на юге. С другой стороны, экстремальные природно-климатические условия, слабая освоенность и труднодоступность территории, повышенная сейсмичность являются неблагоприятными природными факторами. К этому можно добавить удаленность

территории от промышленно развитых районов страны, недостаточное развитие автодорожной сети, нестабильность и, следовательно, постоянный отток населения. Сложившаяся структура экономики региона имеет четко выраженную сырьевую направленность, что также сдерживает развитие Дальнего Востока.

С целью решения проблем региона и его развития Правительством Российской Федерации принята Федеральная целевая программа «Экономическое и социальное развитие Дальнего Востока и Байкальского региона на период до 2025 г.» [1], в рамках которой планируется создать современные комплексы инженерной и транспортной инфраструктуры, ведущие к поступательному развитию территорий. Инвестиционные проекты с привлечением внебюджетных средств ориентированы на освоение и развитие минерально-сырьевой базы макрорегиона, включая горнодобывающую отрасль и топливно-энергетический комплекс, а также модернизацию и строительство перерабатывающих производств. Планируется освоение крупных месторождений угля, железной руды, строительных материалов [2–4]. Создание перерабатывающих производств в рамках Федеральной целевой программы (например, Восточного нефтехимического комплекса и Находкинского завода минеральных удобрений в Приморском крае, Гаринского горно-обогатительного комбината в Амурской области и др.) влечет за собой увеличение нагрузки на экологическую ситуацию в регионе [5].

Инструментом развития Дальневосточного федерального округа, ориентированным на глобальную конкурентоспособность, должны стать создаваемые территории опережающего социально-экономического развития (ТОРы), при работе в которых резидентам предоставляются масштабные налоговые льготы. В части привлечения и закрепления трудовых ресурсов на Дальнем Востоке действует программа «дальневосточный гектар», в рамках которой производится бесплатное предоставление земельных участков. Участок разрешается использовать для строительства частного дома, а землю – для ведения сельского, лесного и охотничьего хозяйства или любого другого вида бизнеса.

В связи с этим в регионе возрастает угроза глобального экологического кризиса, вследствие деградации почв. Нарушение почвенного слоя возникает не только

в результате водной и ветровой эрозии, но и при загрязнении почв отходами добычи полезных ископаемых (различных руд, строительных материалов, нефти, газа) и создании дополнительных полигонов захоронения промышленных и бытовых отходов. Особое внимание следует уделить тяжелым металлам, а также радиоактивным элементам и ядохимикатам, применяемым в сельском хозяйстве.

Роль почвы в истории земной коры отнюдь не соответствует тонкому слою, какой она образует на её поверхности. Но она вполне отвечает той огромной активной энергии, которая собрана в живом веществе почвы [6]. Почва является главной составляющей биосферы и выполняет основные функции. Прежде всего, это биотический круговорот веществ: биомасса суши неразрывно связана с почвенным покровом.

Чтобы улучшить физические свойства почвы, применяются удобрения, но необходимо помнить, что немаловажное значение имеет количество гумуса в почве, так как благодаря ему растения получают все нужные полезные вещества. Гуминовые вещества имеют прямое или косвенное влияние на растения. Благодаря их косвенному влиянию происходит активизация микрофлоры, улучшение водно-физических свойств почвы, повышение эффективности использования минеральных удобрений, а также влияние на миграцию питательных элементов. Немаловажным аспектом является связывание токсических реагентов (тяжелых металлов, пестицидов, гербицидов и др.). Прямое воздействие заключается в разносторонней регулятивной функции процессов роста и развития растений.

Природные органические соединения – гуминовые кислоты образуются в процессе гумификации продуктов животного, растительного и микробного происхождения. Основная их часть устойчива к биохимическому расщеплению, поэтому они накапливаются в почве, а также входят в состав торфов, бурых углей, сапропелей. Из этих источников они могут быть выделены растворами щелочей в виде растворимых солей – гуматов.

Большим количеством натурных испытаний показано, что гуминовые кислоты, выделенные из углей и торфов, обладают всеми качествами нативных почвенных гуминовых кислот. Извлечение этих кислот из разных видов сырья основано на их способности растворяться в щелочных растворах калия и натрия. Производные такого рас-

творения – гуматы (соли гуминовых кислот) хорошо растворимы в воде, обладают физиологически активными свойствами.

Результаты исследования и их обсуждение

Действие гуматов в большей степени является регуляторным, в меньшей – удобрением, поэтому исследователи не относят их напрямую ни к растительным гормонам, ни к удобрениям. Исследования особенностей этих веществ и оказываемого ими воздействия продолжаются. В данный момент гуматы принято считать совершенно новыми агрохимическими средствами, которые оказывают благотворное воздействие на все типы растений.

Подделок на рынке среди гуматов немало, так как изготовление поддельной продукции обходится намного дороже, чем производство по правильной технологии, но гуминовые препараты, поступающие на рынок от различных производителей, существенно различаются по своим свойствам в зависимости от вида сырья, способа производства препарата и формы готового продукта.

Гуминовые вещества из твердых горючих ископаемых выделяют двумя способами: первый, классический метод, при котором проводят щелочную экстракцию гидроксидами калия или натрия, второй, альтернативный способ, предполагает механическое измельчение бурого угля с твердой щелочью. Остальные существующие способы являются вариациями этих двух и направлены на снижение недостатков каждого из них. Основной недостаток классического способа – это низкий выход гуминовых веществ, сопоставимый с выходом свободных гуминовых кислот из исходного сырья. Альтернативный метод приводит к получению так называемых «балластных» гуматов недостатком которых является высокое содержание нерастворимого остатка. Введение в технологический процесс физических методов воздействия на уголь, температурной экстракции и фильтрации полученного раствора приводит к удорожанию их производства, но позволяет получить «безбалластные» гуматы с высоким выходом.

Гуминовые вещества включают в себя следующие составляющие:

- растворимые только в щелочных растворах гуминовые кислоты;
- растворимые в воде, щелочных и кислых растворах фульвокислоты (они выделяются после отделения гуминовых кис-

лот осаждением и составляют полученный фильтрат);

– извлекаемые из сырого остатка (геля) гуминовых кислот этиловым спиртом гуматомелановые кислоты;

– органическое вещество, которое практически нерастворимо и не извлекается – гумин.

Таким образом, гуминовые вещества являются составными и кроме вышеперечисленных составляющих еще включают в свой состав микроэлементы.

Об этих группах гуминовых кислот обычно говорят во множественном числе (например, гуминовые кислоты), поскольку их состав и свойства меняются в зависимости от источника гуминовых веществ. Исследованиями доказано, что даже в препаратах, полученных из одного источника (одного типа почв, торфа, угля), гуминовые вещества неоднородны, полидисперсны и представлены большим набором сходных по строению, но неидентичных молекул [7].

«Безбалластные» гуматы, то есть полностью растворимые в воде, чаще называют препаратами или стимуляторами роста, а «балластные» гуматы, то есть гуматы, содержащие нерастворимый осадок в том или ином количестве, чаще называют удобрениями. Эта градация обуславливает различные способы их применения и вносимые в почву дозировки.

Для искусственного получения гуминовых кислот используются соли калия или натрия, а в некоторых случаях допускается применение солей аммония, в связи с этим искусственно полученные гуматы принято разделять на виды в зависимости от типа применяемой для извлечения щелочи. Чаще всего для производства используются соли калия или натрия, но в некоторых случаях допускается и применение солей аммония. Самым распространенным считается гумат калия. Он обладает оптимальной кислотностью, нейтрален по химической реакции, а дополнительное обогащение микроэлементами позволяет использовать его не только для обработки посадочного материала, но и для подкормки и стимуляции роста всходов. Гумат натрия имеет меньшую область применения, поскольку обладает более высоким значением pH (до 10 единиц), и его применение на щелочных грунтах противопоказано. Но все виды искусственно полученных гуминовых веществ обладают способностью повышать устойчивость растений к болезням, заморозкам, засухе и другим неблагоприятным условиям.

В сельском хозяйстве гуматы принято в настоящее время использовать несколькими способами: во-первых, растворы «безбалластных» гуматов применяют для предпосевной обработки семян, во-вторых, в период роста и плодоношения – для подкормки слабыми растворами. Для детоксикации почвы предпочтительнее использовать сухие «безбалластные» виды гуминовых веществ. Поскольку исследования в области получения гуминовых веществ и создания гуминовых препаратов продолжаются, сфера их применения постоянно расширяется. В частности, была доказана эффективность этих средств при обработке бедных тепличных грунтов.

В Институте горного дела Севера им. Н.В. Черского СО РАН разработан способ получения гуминовых веществ из бурых углей [8]. В соответствии с этой технологией бурый уголь перемешивается со щелочью и подвергается термообработке с последующей экстракцией гуминовых веществ водой. На основе этого способа разработана, изготовлена и испытана опытно-промышленная установка для производства жидких гуматов. Для получения сухих гуматов в технологическую схему добавляется блок сушки. Продуктом такой переработки являются «безбалластные» физиологически активные гуматы калия или натрия.

В настоящее время сырьем для производства гуматов является бурый уголь Ленского угольного бассейна. Применение в качестве сырья торфа (Нерюнгринский район, Республика Саха (Якутия)) так же показало высокие результаты как по эффективности процесса извлечения, так и по качественным характеристикам получаемого продукта. Испытания установки в опытно-промышленных условиях показали ее высокую эффективность с технологической точки зрения и хорошую физиологическую активность в аспекте последующего применения [9].

По результатам этих испытаний достигнуты следующие показатели:

- выход жидких гуматов из бурых углей Кангаласского месторождения составил 50–56 % (при выходе свободных гуминовых кислот 17,9 %), из бурых углей Кировского месторождения составил 70–77 % и в 4 раза превысил выход свободных гуминовых кислот из этого угля (18,2 %), из торфа составил 54–61 % (при выходе свободных гуминовых кислот 25,4 %);

- выход сухих гуматов из бурых углей Кангаласского месторождения составил

более 80 %, из бурых углей Кировского месторождения – 78–86 % и из торфа – более 61–73 %.

В практике применения гуминовых веществ большое значение имеет правильность приготовления растворов для полива и опрыскивания растений. При разведении растворов в качестве основного вещества из всех входящих в состав гумата органических веществ принимают гуминовые кислоты. Современные рекомендации по применению данного класса препаратов рассматривают как наиболее эффективные следующие концентрации гуминовых веществ по цели применения:

- предпосевное замачивание семян предусматривает применение рабочих растворов концентрацией от 0,01 до 0,08 % по основному веществу, замачивание семян проводят от 2–3 часов до 1–2 суток;

- некорневая подкормка в период вегетации проводится рабочими растворами концентрацией по основному веществу от 0,001 до 0,008 %, некорневая подкормка в период вегетации производится 2–3 раза за сезон;

- корневая подкормка также проводится рабочими растворами концентрацией по основному веществу от 0,001 до 0,008 % до 3–4 раз за сезон с периодичностью 1 раз в 14–15 дней, начиная от появления всходов или после высадки рассады;

- восстановление почв (рекультивацию) рекомендуется проводить рабочими растворами с концентрацией от 0,1 до 0,2 % по основному веществу, при этом гумат вносится или непосредственно в почву, или им обрабатывают солому с последующей ее заделкой в почву. При этом кроме восстановления плодородия так же происходит и процесс связывания вредных веществ в почве и их перевод в не усваиваемую растениями форму.

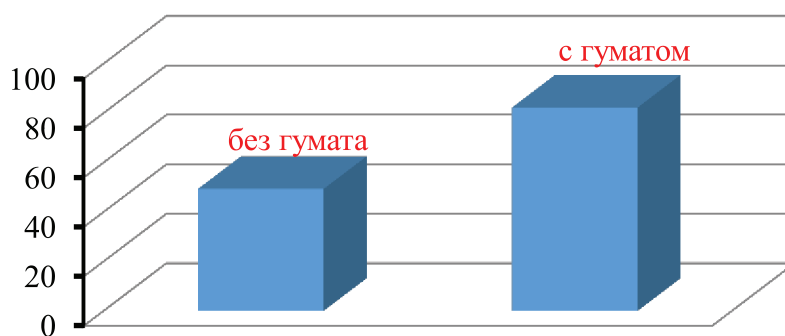
Гуматы, полученные по методу ИГДС СО РАН, полностью растворяются в воде (т.е. относятся к категории «безбалластных»), концентрация в производимом продукте гуминовых кислот (так называемого основного вещества) в растворе при растворении 1 г сухих гуматов в 1 л воды для различных образцов изменяется от 0,16 до 0,29 г/л при pH 8,2–9,2. Разведение до рабочих концентраций снижает pH до 7–7,2.

Из угля в получаемые гуминовые удобрения переходят микроэлементы, столь необходимые для питания растений. Бурый уголь (сырье) и полученные из него гуминовые препараты были проверены на

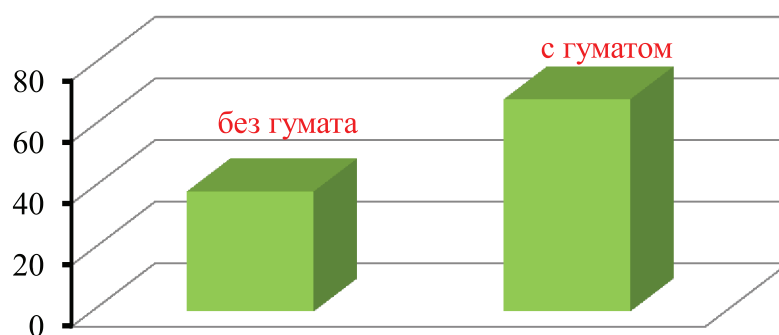
содержание 30 металлов, в том числе тяжелых. В результате установлено, что содержание «малых» элементов в угле и полученных из них гуминовых препаратах не превышает средних фоновых значений, характерных для углей бассейнов бывшего СССР, т.е. применение гуминовых препа-

ратов в качестве удобрений является экологически безопасным.

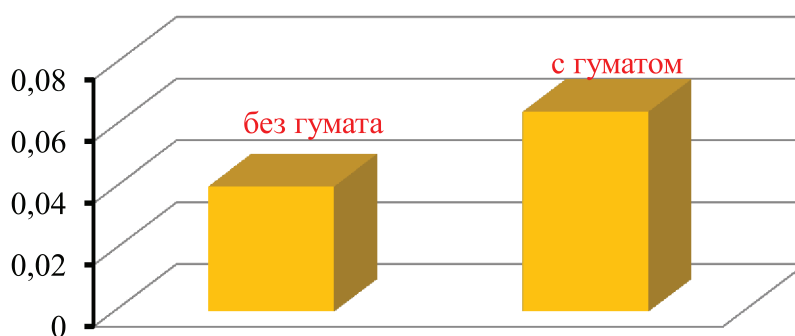
Определение биологической активности по ГОСТ Р 54221-2010 показало следующие результаты: прирост корня – 20–66%; прирост стебля – 70–85%; прирост массы – 59–71 % (рисунок).



а)



б)



в)

Изменение параметров растений при их проращивании под действием гуматов, полученных по методу ИГДС СО РАН из углей Республики Саха (Якутия), по сравнению с контрольным опытом (водный раствор без гумата): а – длина корня, мм; б – длина стебля, мм; в – масса проростков, г

Было проведено сравнительное тестирование на биологическую активность по проращиванию семян огурцов, рапса, пшеницы в растворе гуматов, полученных по технологии ИГДС, и в растворах гуматов сторонних производителей. Исследование показало, что биологическая активность гуматов, полученных по технологии ИГДС СО РАН, значительно превышает соответствующие показатели прироста длины корня, длины стебля и массы растений, проросших в растворах образцов гуматов сторонних производителей, некоторые из которых даже вели к угнетению роста проростков и снижению темпов набора их массы.

Заключение

Обобщая свойства гуминовых кислот и полученные результаты их тестирования, можно заключить, что «безбалластные» гуминовые вещества подходят для восстановления плодородия почв, в том числе и при комплексном эколого-экономическом подходе. Исследователями давно считается, что назрела необходимость для создания в этом направлении методических и организационных основ агроэкологического восстановления плодородия, составления прогнозов эволюции почв как при антропогенных воздействиях, так и для агротехнических мероприятий [10]. А для ведения сельскохозяйственного производства на научной основе необходимо периодическое опробование и картирование почв на содержание в них гумуса. Это окажет влияние не только на обеспечение растений элементами питания, но и на интенсивность почвообразовательного процесса, что в общем будет способствовать устойчивому функционированию агросистем.

Список литературы

1. Экономическое и социальное развитие Дальнего Востока и Байкальского региона на период до 2025 г.: федер. целевая программа [Электронный ресурс]. URL: <https://urexpert.online/wp-content/uploads/2017/03/DVBR2025.pdf> (дата обращения: 16.11.17).
2. Гаврилов В.Л. Оценка состояния открытой разработки угольных месторождений Центральной и Северной Якутии / В.Л. Гаврилов, С.А. Ермаков, Д.В. Хосоев // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2010. – № 11. – С. 29–36.
3. Москаленко Т.В. Получение водоугольных суспензий из каменного угля Южно-Якутского угольного бассейна / Т.В. Москаленко, В.А. Михеев, Е.В. Часовенко // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. – 2014. – № 4. – С. 113–120.
4. Чебан А.Ю. Техника и технологии разработки угольных разрезов Приамурья и перспективы их развития / А.Ю. Чебан, Н.П. Хрунина // Маркшейдерия и недропользование. – 2015. – № 1. – С. 19–21.
5. Перспективы развития дальневосточного региона и экологические аспекты ведения горных работ / А.Ю. Чебан [и др.] // Системы. Методы. Технологии. – 2015. – № 3 (27). – С. 156–161.
6. Вернадский В.И. Химическое строение биосферы Земли и её окружения / В.И. Вернадский. – М.: Наука, 1965. – 374 с.
7. Орлов Д.С. Химия почв / Д.С. Орлов, Л.К. Садовникова, Н.И. Суханова. – М.: Высшая школа, 2005. – 560 с.
8. Пат. 2174529 Российская Федерация, МКИ С 10 G 1/04, С 05 F 11/2. Способ получения гуминовых веществ / Новопашин М.Д., Бычев М.И., Михеев В.А., Петрова Г.И., Москаленко Т.В.; заявитель и патентообладатель Ин-т горного дела Севера СО РАН. – № 99122182/04; заявл. 22.10.99; опубл. 10.10.2001, Бюл. № 28. – 6 с.
9. Москаленко Т.В. Бурые угли республики Саха (Якутия) как сырье для получения гуминовых веществ / Т.В. Москаленко, В.А. Михеев // Разведка и охрана недр. – 2015. – № 3. – С. 24–27.
10. Состояние почв Российской Федерации и основные направления стабилизации и повышения их плодородия / А.И. Стифеев [и др.] // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. – 2015. – № 1. – С. 49–52.

References

1. Jekonomicheskoe i socialnoe razvitie Dalnego Vostoka i Bajkalskogo regiona na period do 2025 g.: feder. celevaja programma [Jelektronnyj resurs]. URL: <https://urexpert.online/wp-content/uploads/2017/03/DVBR2025.pdf> (data obrashhenija: 16.11.17).
2. Gavrilov V.L. Ocenka sostojanija otkrytoj razrabotki ugolnyh mestorozhdenij Centralnoj i Severnoj Jakutii / V.L. Gavrilov, S.A. Ermakov, D.V. Hosoev // Gornyj informacionno-analiticheskij bjulleten. 2010. no. 11. pp. 29–36.
3. Moskalenko T.V. Poluchenie vodougolnyh suspenzij iz kamennogo uglja Juzhno-Jakutskogo ugolnogo bassejna / T.V. Moskalenko, V.A. Miheev, E.V. Chasovenko // Izvestija vysshih uchebnyh zavedenij. Gornyj zhurnal. 2014. no. 4. pp. 113–120.
4. Cheban A.Ju. Tehnika i tehnologii razrabotki ugolnyh razrezov Priamurja i perspektivy ih razvitija / A.Ju. Cheban, N.P. Hrunina // Markshejderija i nedropolzovanie. 2015. no. 1. pp. 19–21.
5. Perspektivy razvitija dalnevostochnogo regiona i jekologicheskie aspekty vedenija gornyh rabot / A.Ju. Cheban [i dr.] // Sistemy. Metody. Tehnologii. 2015. no. 3 (27). pp. 156–161.
6. Vernadskij V.I. Himicheskoe stroenie biosfery Zemli i ejo okruzenija / V.I. Vernadskij. M.: Nauka, 1965. 374 p.
7. Orlov D.S. Himija pochv / D.S. Orlov, L.K. Sadovnikova, N.I. Suhanova. M: Vysshaja shkola, 2005. 560 p.
8. Pat. 2174529 Rossijskaja Federacija, MKI S 10 G 1/04, C 05 F 11/2. Sposob poluchenija guminovyh veshhestv / Novopashin M.D., Bychev M.I., Miheev V.A., Petrova G.I., Moskalenko T.V.; zjavitel i patentoobladatel In-t gornogo dela Severa SO RAN. no. 99122182/04; zjavl. 22.10.99; opubl. 10.10.2001, Bjul. no. 28. 6 p.
9. Moskalenko T.V. Burye ugli respubliki Saha (Jakutija) kak syre dlja poluchenija guminovyh veshhestv / T.V. Moskalenko, V.A. Miheev // Razvedka i ohrana nedr. 2015. no. 3. pp. 24–27.
10. Sostojanie pochv Rossijskoj Federacii i osnovnye napravlenija stabilizacii i povyshenija ih plodorodija / A.I. Stifeev [i dr.] // Vestnik Kurskoj gosudarstvennoj selskohozjajstvennoj akademii. 2015. no. 1. pp. 49–52.

УДК 556.11

ЭКОЛОГО-ГИДРОФИЗИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА ВЕРТИКАЛЬНОГО ТУРБУЛЕНТНОГО ОБМЕНА НА СОДЕРЖАНИЕ РАСТВОРЕННОГО КИСЛОРОДА В ПРИДОННОМ СЛОЕ МЕЛКОВОДНОГО ВОДОЕМА

¹Никитина А.В., ²Сушина Т.Г., ³Проценко С.В., ¹Семенякина А.А., ³Бедная Т.А.

¹Южный федеральный университет, Таганрог, e-mail: nikitina.vm@gmail.com, j.a.s.s.y@mail.ru;

²Южный научный центр Российской академии наук, Ростов-на-Дону;

³Донской государственный технический университет, Ростов-на-Дону,
e-mail: cheese_05@mail.ru, rab55555@rambler.ru, bednayat@mail.ru

В статье представлены результаты гидрохимических наблюдений, полученных в ходе экспедиции на исследовательском судне «Денеб» в восточной части Азовского моря и Таганрогской бухты в июле 2017 г. В ходе экологических и гидрофизических исследований были обнаружены anomalously низкие уровни растворенного кислорода в нижнем слое Азовского моря. Загрязняющие вещества скапливаются в донных отложениях водоемов. В теплое время года, при благоприятном температурном режиме донные осадки прогреваются, иловые микроорганизмы освобождают вещества, вызывающие выделение сероводорода. Результатом распада существенного количества органических веществ за относительно небольшой период времени является значимое снижение концентрации кислорода, растворенного в воде, что может служить причинами отрицательных изменений водной экосистемы: замора рыбы, ухудшения качества воды. Экспериментальным путем получены распределения коэффициента вертикального турбулентного обмена. Проблемы обеспечения стабильного функционирования водных экосистем, предотвращения уменьшения биологического разнообразия, предупреждения негативных последствий антропогенного воздействия, обеспечения безопасного водопользования в процессе социально-экономического развития территории приобретают в настоящее время особую актуальность. Проведен численный эксперимент по определению коэффициента вертикального турбулентного обмена для некоторых точек Азовского моря. Получено соответствие результатов расчетов на основе статистических данных о поле скоростей водного потока и подсчетной модели Смагоринского с данными натурных измерений. Изучено влияние изменения значений коэффициента вертикального турбулентного обмена на содержание растворенного кислорода в придонном слое мелководного водоема. Выявлена прямая зависимость между значениями коэффициента вертикального турбулентного обмена и концентрацией растворенного кислорода в нижнем слое.

Ключевые слова: коэффициент вертикального турбулентного обмена, турбулентный поток, концентрация растворенного кислорода

ECOLOGICAL AND HYDROPHYSICAL RESEARCH OF IMPACT THE VERTICAL TURBULENT EXCHANGE COEFFICIENT ON THE CONCENTRATION OF DISSOLVED OXYGEN IN THE BOTTOM LAYER OF SHALLOW WATER

¹Nikitina A.V., ²Sukhinova T.G., ³Protsenko S.V., ¹Semenyakina A.A., ³Bednaya T.A.

¹Southern Federal University, Taganrog, e-mail: nikitina.vm@gmail.com, j.a.s.s.y@mail.ru;

²The Southern Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, Rostov;

³Don State Technical University, Rostov-on-Don, e-mail: cheese_05@mail.ru,
rab55555@rambler.ru, bednayat@mail.ru

The paper presents the results of hydrochemical observations obtained during the expedition on the research vessel Deneb in the eastern part of the Azov Sea and Taganrog Bay in July 2017. In the course of ecological and hydrophysical studies, anomalously low levels of dissolved oxygen in the lower layer of the Azov Sea were discovered. Pollutants accumulate in the bottom sediments of water bodies. In the warm season, with a favorable temperature regime, the bottom sediments warm up, and the silt microorganisms release substances that cause the evolution of hydrogen sulfide. The result of the decay of a significant amount of organic substances in a relatively short period of time is a significant decrease in the concentration of oxygen dissolved in water, which can serve as the causes of negative changes in the aquatic ecosystem: fish freezing, deterioration of water quality. The distributions of the coefficient of vertical turbulent exchange were obtained experimentally. The problems of ensuring the stable functioning of aquatic ecosystems, preventing the reduction of biological diversity, preventing the negative effects of anthropogenic impact, ensuring safe water use in the process of socio-economic development of the territory are becoming especially urgent at the moment. A numerical experiment has been performed to determine the coefficient of vertical turbulent exchange for some points in the Azov Sea. The results of calculations are obtained on the basis of statistical data on the field of water flow velocities and the Smagorinsky subgrid model with the data of field measurements. The effect of changing the value of the coefficient of vertical turbulent exchange on the content of dissolved oxygen in the bottom layer of a shallow water body is studied. The direct relationship between the values of the coefficient of vertical turbulent exchange and the concentration of dissolved oxygen in the lower layer was revealed.

Keywords: coefficient of vertical turbulent exchange, turbulent flow, concentration of dissolved oxygen

Реальная экосистема водного объекта представляет собой сложную структуру взаимодействия органических веществ и растворенного кислорода с живыми организмами.

Происходящие в настоящее время увеличение объемов промышленного производства, сброс производственных отходов и загрязняющих веществ в водо-

емы резко увеличивают нагрузку на естественные экосистемы. Следствием растущего антропогенного воздействия на природу, аномальных климатических изменений, естественного старения водного объекта являются риски нарушения естественной жизнедеятельности в экосистеме водного объекта, возникновения необратимых отрицательных изменений водной экосистемы, процессов эвтрофикации водоемов – перенасыщения водоема биогенами, что влечет за собой быстрый рост фитопланктона. Экосистема мелководного водоема имеет сложную структуру, в рамках которой происходят взаимодействия органических и неорганических веществ с живыми организмами. Среди всех гидрохимических параметров, влияющих на биологическую продуктивность Азовского моря, особое место отводят растворенному кислороду – источнику дыхания гидробионтов и фактору, определяющему полноту и скорость минерализации органических веществ в водоеме. Особенностью кислородного режима Азовского моря является его нестабильность, которая определяется рядом постоянных и сезонных факторов: поглощением атмосферного кислорода поверхностным слоем воды, неравномерным притоком речных и черноморских вод, развитием и затуханием жизнедеятельности организмов, циркуляционными процессами, определяющими возможности проникновения кислорода в придонные слои, и другими процессами [1–2].

Концентрация растворенного кислорода в морской воде зависит от нескольких факторов, основными из которых являются: га-

зообмен между водой и атмосферой; интенсивность процесса фотосинтеза; процесс бактериального и химического окисления метаболитов морских организмов, остатков отмерших организмов растительного и животного происхождения; интенсивность конвективного перемешивания и поступление обедненных кислородом вод; адвекция водных масс, биохимическое потребление кислорода донными отложениями [3].

Летом в условиях плотностной стратификации возникает усиленное снижение концентрации кислорода в придонных горизонтах Азовского моря (в отдельных районах до 60%). Ведущими факторами формирования кислородного режима в поверхностных водах являются главным образом продукционные процессы, в придонных – биохимическое разложение донных отложений [4–5]. Принимая во внимание процессы вертикальной турбулентной диффузии в стратифицированных водоемах, кислород в процессе инвазии попадает в нижние слои. Цель настоящей работы состоит в проверке влияния гидродинамических условий на изменение концентрации растворенного кислорода в придонном слое мелководного водоема.

Описание измерительной базы. Маршрут экспедиции

Экспедиция с целью проведения научно-исследовательских работ в акватории Азовского моря «Денеб» (далее НИС «Денеб») Южного научного центра РАН (далее ЮНЦ РАН). Исследования проводились на 17 станциях в восточной части Азовского моря (рис. 1).



а)



б)

Рис. 1. Научно-исследовательские работы в Азовском море (июль 2017 г.):
а) маршрут экспедиции; б) НИС «Денеб»

Оборудование НИС «Денеб»: гидрологический CDT-зонд SEACAT SBE19; регистратор течений RCM 9LW; узколучевой параметрический профилограф SES-2000 light (Innomar Technologie GmbH); гравитационная грунтовая трубка 13,540 В с возможностью установления поршневой системы (Piston/Gravity corer Model 13,540 В); автоматический проточный анализатор San++ с сэмплером SA1100, вмещающим 2×50 позиций для образцов; глубоководный пробоотборный комплекс карусельного типа; оборудование НИС «Денеб» для гидробиологических и литологических исследований: батометры Молчанова и Нискина для отбора проб воды; дночерпатели Петерсена и Ван-Биина для отбора донных отложений; бентосная драга; планктонные сети Апштейна и Джеди для отбора проб планктона; икорная сеть для отбора проб ихтиопланктона; набор сетей и драг для проведения ихтиологических исследований; грунтовая прямоточная трубка с возможностью взятия колонки осадков 2–2,5 м.

Целью экспедиционных работ являлось получение систематической информации влияния химических и физических свойств воды на экологическое состояние акватории Азовского моря. В ходе экспедиции выполнен отбор проб, проведен анализ состава воды, представлен обзор программы наблюдений за качеством морских вод, включавшей следующие мероприятия: определение концентрации нефтяных углеводородов, растворенного кислорода, водородного показателя, хлорированных углеводородов, тяжелых металлов, фенолов и др.

Оборудование НИС «Денеб» для ихтиологических исследований: донный бимтрал; пелагический распорный трал (28 м по горизонтали, 8 м по вертикали); гидрофизический зонд SBE19 plus; датчик растворенного кислорода SBE43; ПК (персональный компьютер) с программным обеспечением для подключения гидрофизических зондов; батометры 3 л и 5 л; комплектное оборудование для измерения концентрации кислорода методом Винклера; профилограф (ADCP) WHS 600.

Содержание выполненных экспедиционных работ

Экспедиционные работы проводились с целью получения систематической информации влияния химических и физических свойств воды на экологическое состояние акватории Азовского моря. Программа наблюдений за качеством морских вод состояла в следующем. Была найдена концентра-

ция нефтяных углеводородов, мг/дм³ (мг/л); растворенного кислорода, мг/дм³ (мг/л, %); водородного показателя pH; хлорированных углеводородов, в том числе пестицидов, мкг/дм³ (мкг/л); тяжелых металлов, мкг/дм³ (мкг/л); фенолов, мкг/дм³ (мкг/л); других веществ, мкг/дм³ (мкг/л). Были выявлены показатели содержания биогенных веществ, свойственных для района проведения экспедиции: нитритного азота, мкг/дм³ (мкг/л); кремния, мкг/дм³ (мкг/л); солености воды, ‰; температуры воды и воздуха, °С; скорости и направления ветра, м/с; прозрачности воды (единицы цветности); волнения моря (баллы); проведение визуальных наблюдений за состоянием поверхности морского водного объекта.

Измерение пульсаций вектора скоростей водного потока

При моделировании полей течений водного потока мелководных водоемов возникает проблема параметризации коэффициента турбулентного обмена. От турбулентного перемешивания во многом зависит способность водоема к самоочищению, турбулентный обмен влияет на транспорт наносов и взвешенных веществ и на интенсивность деформации донной поверхности [6–7].

В ходе экспедиции были получены данные о пульсациях скоростей в некоторых точках мелководных систем на основе зонда ADCP (Acoustic Doppler Current Profiler) WHS600 Sentinel. ADCP-профилограф был зафиксирован на свободной поверхности водоема, измерения проводились от свободной поверхности до дна. Работа профилографа основана на доплеровском эффекте. Из значений лучевых скоростей вычисляют пульсации компонент скорости (u' , v' , w').

В ходе работы был выполнен отбор батометрических проб, проведены анализы состава воды. Представлена таблица с измеренными значениями концентрации растворенного кислорода в горизонтах исследуемого водоема на станциях, входящих в маршрут движения судна.

Коэффициент вертикальной турбулентной вязкости

Проведенные натурные эксперименты, в том числе измерение пульсации скоростей водного потока, позволяют при построении математических моделей учитывать коэффициент вертикального турбулентного обмена, неоднородный по глубине. Результаты, наиболее близкие к экспериментальным натурным данным, получены с помощью параметризации О.М. Белоцерковского [8].

Концентрация растворенного кислорода в Азовском море

№ станции	Координаты станции	Измеренные значения растворенного кислорода			
		глубина, м	0	4	11,5
1(49)	46° 39, 569' N 37° 20, 743' E	O ₂ , мг/л	9,02	8,53	5,32
		глубина, м	0	6	12
2(48')	46°29,725' N 36°59,786' E	O ₂ , мг/л	12,69	13,03	0,66
		глубина, м	0	6	12
3(44')	46° 19, 693' N 36° 59, 683' E	O ₂ , мг/л	5,75	4,94	0,61
		глубина, м	0	5,5	11
12(42)	45° 59, 906' N 37° 20, 128' E	O ₂ , мг/л	9,21	9,87	1,41
		глубина, м	0	5,5	11

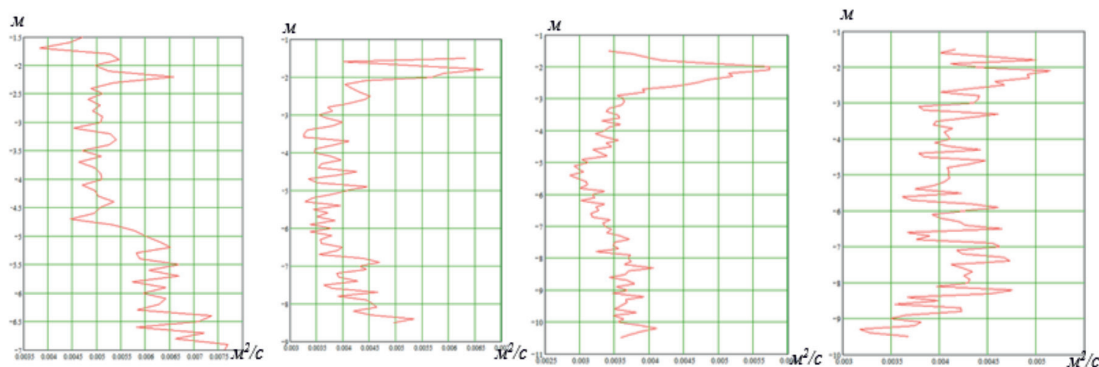


Рис. 2. Коэффициент вертикального турбулентного обмена в точках 1, 2, 3, 12, по горизонтали – значения в м²/с, по вертикали – уровень воды от свободной поверхности ко дну

Если вертикальное разрешение расчетной сетки позволяет воспроизвести все механизмы моделируемого процесса до масштабов вязкой диссипации очень мелких вихрей, то для расчета турбулентности используют уравнения Навье – Стокса и находят путем численного моделирования [3, 8]. Скорость диссипации может быть представлена как

$$\bar{\varepsilon} = 2\bar{\varepsilon}_{ij} \cdot \bar{\varepsilon}_{ij},$$

где $\bar{\varepsilon}_{ij}$ – осредненный тензор скоростей деформации: $\bar{\varepsilon} \sim \varepsilon^{2/3} \Delta^{-4/3}$.

Выражение для турбулентной вязкости имеет вид

$$\nu = C_s^2 \Delta^2 \bar{\varepsilon}^{-1/2},$$

где C_s – константа, значение которой зависит от однородной изотропной турбулентности. Значение константы C_s должно гарантировать соответствие результатов моделирования с экспериментальными измерениями. Значения константы C_s в ряде случаев изменяются от 0,1 до 0,2, при течении на канале до случая изотропной турбулентности соответственно.

Если размер сетки достаточно мал, то $\bar{\varepsilon}$ равна средней скорости деформации в параметризации Прандтля D , что позволяет перейти к аналогу Прандтля в виде

$$\nu = C_s^2 \Delta^2 \sqrt{2D_{ij}D_{ij}},$$

пренебрегая градиентами $\bar{u}$, $\bar{v}$, $\bar{w}$, имеем равенство

$$\nu = C_s^2 \Delta^2 \frac{1}{2} \sqrt{\left(\frac{\partial \bar{u}}{\partial z}\right)^2 + \left(\frac{\partial \bar{v}}{\partial z}\right)^2}.$$

Численный расчет коэффициента вертикальной турбулентной вязкости

Были выполнены численные эксперименты на основе описанных выше подходов для всех точек, $\nu \sim \varepsilon^{1/3} \cdot \Delta^{4/3}$, в которых проводились натурные измерения в ходе экспериментальных работ (рис. 2).

Было изучено влияние изменения значений коэффициента вертикального турбулентного обмена на содержание растворенного кислорода в придонном слое мелководного водоема [1, 3]. Анализ результатов моделирования процессов ги-

дрозифизики в Азовском море показал, что наибольшему значению коэффициента вертикального турбулентного обмена соответствует наибольшая концентрация растворенного кислорода в придонном слое Азовского моря (точка 12), наименьшему значению концентрации растворенного кислорода (точка 3) соответствует наименьшее значение. На глубине около и более трех метров значения данного коэффициента близки к 0, что означает пониженный турбулентный обмен по вертикали в указанной области и объясняет отсутствие кислорода в придонном слое центрально-восточной части Азовского моря.

Выводы

В ходе экспедиционных исследований Азовского моря были получены значения концентраций растворенного кислорода и данные о пульсациях скоростей водного потока в некоторых точках водоема с помощью зонда ADCP WHS600 Sentinel. Обнаружены участки с низким содержанием растворенного кислорода в придонном слое.

Получено соответствие результатов расчетов на основе статистических данных о поле скоростей водного потока и подсчетной модели Смагоринского [9] с данными натурных измерений. Изучено влияние изменения значений коэффициента вертикального турбулентного обмена на содержание растворенного кислорода в придонном слое мелководного водоема.

Работа выполнена при финансовой поддержке Программы фундаментальных исследований Президиума РАН I.33П, проект № 0256-2015-0078.

Список литературы

1. Алексеенко Е.В. Сравнительный анализ классических и неклассических моделей гидродинамики водоемов с турбулентным обменом / Е.В. Алексеенко, Б.В. Сидоренко, О.В. Колгунова, А.Е. Чистяков // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2009. – № 8 (97). – С. 6–18.
2. Sukhinov A.I. Mathematical modeling of sediment transport in the coastal zone of shallow reservoirs / A.I. Sukhinov, A.E. Chistyakov, E.A. Protsenko // Mathematical Models and Computer Simulations. – 2014. – Т. 6, № 4. – С. 351–363.
3. Дегтярева Е.Е. Программная реализация трехмерной математической модели транспорта взвеси в мелководных акваториях / Е.Е. Дегтярева, Е.А. Проценко, А.Е. Чистяков // Инженерный вестник Дона. – 2012. – Т. 23, № 4–2 (23). – С. 30.
4. Никитина А.В. Дифференциально-игровая модель предотвращения заморов в мелководных водоемах / А.В. Никитина, М.В. Пучкин, И.С. Семенов, А.И. Сухинов, Г.А. Угольников, А.Б. Усов, А.Е. Чистяков // Управление большими системами: сборник трудов. – 2015. – № 55. – С. 343–361.
5. Проценко Е.А. Двумерная конечно-разностная модель формирования наносов в прибрежной зоне водоема и ее программная реализация / Е.А. Проценко // Инженерный вестник Дона. – 2010. – Т. 13, № 3. – С. 23–31.
6. Проценко Е.А. Модель и алгоритмы решения задачи о транспорте наносов / Е.А. Проценко // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2009. – № 8 (97). – С. 71–75.
7. Protsenko S. Mathematical modeling of wave processes and transport of bottom materials in coastal water areas taking into account coastal structures / S. Protsenko, T. Sukhinova // MATEC Web Conf. Volume 132, 2017 XIII International Scientific-Technical Conference «Dynamic of Technical Systems» (DTS-2017) DOI. URL: <https://doi.org/10.1051/mateconf/201713204002>.
8. Белоцерковский О.М. Турбулентность: новые подходы / О.М. Белоцерковский, А.М. Опарин, В.М. Четчин. – М.: Наука. – 2003. – 286 с.
9. Smagorinsky J. General circulation experiments with the primitive equations: 1. The basic experiment / J. Smagorinsky // Monthly Weather Review. – 1963. – Vol. 91, № 3. – P. 99–164.

References

1. Alekseenko E.V. Sravnitelnyj analiz klassicheskikh i neklassicheskikh modelej gidrodinamiki vodoemov s turbulentnym obmenom / E.V. Alekseenko, B.V. Sidorenko, O.V. Kolgunova, A.E. Chistyakov // Izvestija JuFU. Tehniceskie nauki. 2009. no. 8 (97). pp. 6–18.
2. Sukhinov A.I. Mathematical modeling of sediment transport in the coastal zone of shallow reservoirs / A.I. Sukhinov, A.E. Chistyakov, E.A. Protsenko // Mathematical Models and Computer Simulations. 2014. T. 6, no. 4. pp. 351–363.
3. Degtyareva E.E. Programmaja realizacija trehmernoj matematicheskoj modeli transporta vzvesi v melkovodnyh akvatorijah / E.E. Degtyareva, E.A. Protsenko, A.E. Chistyakov // Inzhenernyj vestnik Dona. 2012. T. 23, no. 4–2 (23). pp. 30.
4. Nikitina A.V. Differencialno-igrovaja model predotvrashhenija zamorov v melkovodnyh vodoemah / A.V. Nikitina, M.V. Puchkin, I.S. Semenov, A.I. Suhinov, G.A. Ugolnickij, A.B. Usov, A.E. Chistyakov // Upravlenie bolshimi sistemami: sbornik trudov. 2015. no. 55. pp. 343–361.
5. Protsenko E.A. Dvumernaja konechno-raznostnaja model formirovaniya nanosov v pribrezhnoj zone vodoema i ee programmaja realizacija / E.A. Protsenko // Inzhenernyj vestnik Dona. 2010. T. 13, no. 3. pp. 23–31.
6. Protsenko E.A. Model i algoritmy reshenija zadachi o transporte nanosov / E.A. Protsenko // Izvestija JuFU. Tehniceskie nauki. 2009. no. 8 (97). pp. 71–75.
7. Protsenko S. Mathematical modeling of wave processes and transport of bottom materials in coastal water areas taking into account coastal structures / S. Protsenko, T. Sukhinova // MATEC Web Conf. Volume 132, 2017 XIII International Scientific-Technical Conference «Dynamic of Technical Systems» (DTS-2017) DOI. URL: <https://doi.org/10.1051/mateconf/201713204002>.
8. Belocerkovskij O.M. Turbulentnost: novye podhody / O.M. Belocerkovskij, A.M. Oparin, V.M. Chechetkin. M.: Nauka. 2003. 286 p.
9. Smagorinsky J. General circulation experiments with the primitive equations: 1. The basic experiment / J. Smagorinsky // Monthly Weather Review. 1963. Vol. 91, no. 3. pp. 99–164.

ВЛИЯНИЕ ВЛАЖНОСТИ ТОРФА НА ВЫХОД И ГРУППОВОЙ СОСТАВ БИТУМОВ

Орлов А.С., Zubov И.Н., Ярыгина О.Н., Селянина С.Б.,
Татаринцева В.Г., Труфанова М.В.

*ФГБУН Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики
имени академика Н.П. Лаверова Российской академии наук, Архангельск, e-mail: gumin@fciarctic.ru*

Стабильный рост мировой потребности в биологически активных компонентах природного происхождения делает поиск новых возобновляемых источников таких соединений важной научно-исследовательской задачей. В данной работе авторами рассмотрены вопросы, посвященные особенностям получения из возобновляемого сырья – верхового торфа битумов, состав которых представлен широким спектром биологически активных веществ, таких как парафиновые, терпеновые, ароматические углеводороды и различные кислородсодержащие соединения (спирты, кислоты, эфиры). С позиции современных представлений о торфе как о гетеропористой системе, изучено влияние влажности и степени разложения исходного сырья на выход и групповой состав экстрактивных веществ. Установлено, что вариативность содержания влаги, доля которой даже у отжатого торфа может достигать 80–100%, приводит к существенным изменениям в количественном соотношении извлекаемых отдельных групп компонентов битумов (воски). Показана обратная зависимость степени извлечения битуминозных компонентов от влажности торфа, обусловленная экранирующим эффектом физически и физико-химически связанной влаги, которая препятствует диффузии неполярного растворителя в структуру торфа и таким образом снижает эффективность экстракции. Выход экстрактивных веществ составил 0,5–3,5%, а доля восков, которые являются наиболее липофильной фракцией торфяных битумов, в экстрактах увеличивается с 13% до 68% в интервале влажности 86–12%, при этом полученная зависимость не является линейной и постепенно (начиная с влажности образца 30–35%) выходит на плато. Поэтому для получения экстракта торфяных битумов, обогащенных восками, может быть рекомендовано высушивание сырья до влажности 35%, что является экономически менее затратным, чем высушивание до воздушно-сухого состояния.

Ключевые слова: верховой торф, степень разложения, влажность торфа, экстрактивные вещества, битумы торфа, торфяной воск

THE INFLUENCE OF THE MOISTURE CONTENT OF PEAT ON THE YIELD AND GROUP COMPOSITION OF BITUMENS

Orlov A.S., Zubov I.N., Yarygina O.N., Selyanina S.B., Tatarintseva V.G., Trufanova M.V.

N. Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research, Arkhangelsk, e-mail: gumin@fciarctic.ru

The search of new revolving sources of natural biological active substances is an important scientific goal which is conditioned by stable growth of worldwide need. This article deals with obtaining of bitumens the composition of which is represented by a wide range of biological active substances from the high-moor peat as paraffin, terpenic, aromatic hydrocarbons and various oxygen-containing compounds (alcohols, acids, ethers). The influence of humidity and decomposition grade of the peat on yield and group composition of extractive substances was studied from the perspectives that the peat is a heteroporous system. It was established that different humidity content of a capillary-porous structure of the peat, which could reach 80% even in drained off peat structure, leads to essential changes of quantitative component ratio of bitumens (waxes). The inverse dependence of the extraction grade on peat humidity is shown. It's determined by a protective effect of chemically- and physico-chemically bonded moisture which prevents diffusion of the nonpolar solvent into the peat structure and thus decreasing the efficiency of extraction. The yield of extractive substances is about 0.5–3.5%. As for content of waxes, which are the most lipophilic part of the peat bitumens, it increases from 13% to 60% whereas humidity is about 86–12%. This relation is not linear and from sample humidity 30–35% it becomes gradually aligned. Thus, to obtain the extracts of peat bitumens enriched with waxes, raw material drying until humidity content becomes about 35% is recommended. This is more economical way of sample preparation than full drying process.

Keywords: high-moor peat, decomposition grade, peat humidity, extractive substances, bitumens of peat, peat wax

В настоящее время во всем мире наблюдается стабильный рост потребности в биологически активных веществах природного происхождения, а также ведется активный поиск их возобновляемых источников. Таким источником может служить верховой торф, битумная часть которого обладает биологической активностью и составляет до 20% от массы органического вещества [1–3]. Битумы торфа представлены широким спектром различных по химической природе веществ – парафиновых, терпеновых

и ароматических углеводородов, различных кислородсодержащих соединений (спиртов, кислот, эфиров) [4–7]. Высокая биологическая активность компонентов торфяных битумов [8], а также возможность синтеза многочисленных производных на их основе делает перспективным их использование во многих отраслях, в том числе таких высокорентабельных, как медицина и косметология [9; 10]. Благодаря специфическим химическим, физико-химическим и физическим свойствам битумы торфа находят также

широкое применение в технике: в модельных составах для точного литья, в антиадгезионных составах, полировочных пастах, в производстве пластмасс и текстильной промышленности [9].

Содержание битумов в торфе зависит от множества факторов: ботанического состава, степени разложения, гидрологического и окислительно-восстановительного режима формирования залежи [1]. При этом степень извлечения и качественный состав веществ, экстрагируемых из твердофазных объектов, определяется природой растворителя, условиями экстракции (температура, физические воздействия), физико-химическим состоянием капиллярно-пористой структуры образца и наличием влаги [11].

Несмотря на то, что влажность свежесобранного верхового торфа достигает 150–170%, а у отжатого 80–100%, в работах исследователей не уделяется должного внимания влиянию влажности на выход извлекаемых растворителями различной природы компонентов. При этом влага, находящаяся в структуре торфа, может оказывать существенное воздействие на процесс извлечения компонентов и продуктов деструкции тканей растений-торфообразователей за счет замедления диффузионных процессов, что может приводить к снижению выхода и изменению селективности процесса [11]. Особенности процесса экстракции (как и многих других технологических процессов) могут определяться в значительной мере не только содержанием воды, но и формами ее связи с веществом торфа [12].

Учитывая вышесказанное, представляется актуальным оценить влияние влажности верхового торфа на выход и групповой состав торфяных битумов.

Материалы и методы исследования

В качестве объекта исследования использовали репрезентативные послойно усредненные образцы верхового торфа мохового типа, отобранные согласно [13] из верхней и нижней части залежи с глубин (h) 25–50 см и 100–120 см со степенью разложения (R) 25–30% и 40–45% соответственно. Отбор проводили на территории болотного массива грядово-мочажинного типа вблизи г. Мезень (Архангельская обл., Мезенский район, 65° 52' 8.2" с.ш., 44° 14' 44.3" в.д.). Растительный покров тестовой площадки представлен в основном сфагновыми мхами (*Sphagnum magellanicum*, *Sphagnum fuscum*, *Sphagnum angustifolium*) и в незначительной степени осокой, кустарничками

(*Lédum palustre*, *Vaccinium uliginosum*) и отдельно стоящими деревьями сосны (*Pinus sylvestris*) высотой 0,5–3,5 м.

Влажность варьировали путем постепенного высушивания торфа на воздухе с постоянным усреднением пробы (конвективная сушка) и отбора образцов на разных стадиях обезвоживания:

а) сразу же после механического отжима (85–86%),

б) через 2 суток (54–64%),

в) через 10 суток (17–24%),

г) воздушно-сухих образцов (10–12%).

Влажность торфа определяли методом высушивания, при температуре $105 \pm 2^\circ\text{C}$ [14]. Выделение битумов торфа проводили экстракцией петролейным эфиром в аппаратах Сокслета. При использовании петролейного эфира наблюдается меньший выход битумов, по сравнению с другими растворителями, однако в них содержится меньшее количество смол [8; 9], что делает его более пригодным для практического применения.

По классификации Раковского [2] битумы торфа аналитически разделяют на воск, смолы и парафины. Поэтому полученные экстракты упаривали в 5–6 раз и охлаждали при 4–5°C в течение суток. Выпавший кристаллический осадок – торфяной воск отделяли от жидкости на бумажном фильтре. Общий выход экстрактивных веществ и выход воска определяли весовым методом.

Результаты исследования и их обсуждение

Экспериментальные данные представлены на рис. 1. Они наглядно демонстрируют, что влажность оказывает существенное влияние как на суммарный выход торфяных битумов, так и выход воска. Обезвоживание торфа способствует увеличению выхода битуминозных компонентов. Зависимость степени извлечения экстрактивных веществ от содержания влаги в торфе удовлетворительно описывается уравнениями второго порядка с $R^2 = 0,9405$ и $R^2 = 0,8972$ для суммы ЭВ и восковой фракции соответственно.

Данная тенденция прослеживается вне зависимости от степени разложения (в исследуемом интервале). Изменение степени разложения верхового торфа в указанном диапазоне практически не влияет на общий выход битумов и на содержание в них восков. Отчасти это может быть объяснено высокой устойчивостью липидов, которые содержатся в растениях-торфообразователях и дают начало торфяным битумам [9],

а также селективным накоплением битумов относительно других более лабильных компонентов органической части торфа. При этом максимальный выход экстрактивных веществ составил 3,5%, что несколько превышает значения, ранее полученные для более южных территорий Архангельской области [3; 8; 13]. С одной стороны, это объясняется тем, что в стрессовых условиях Севера растения-торфообразователи стремятся к биосинтезу и накоплению выполняющих защитные функции компонентов, к которым в том числе относятся экстрактивные вещества, а с другой стороны, заторможенностью деструкционных и конденсационных превращений органического вещества торфа в условиях холодного климата [13].

Показано, что присутствие влаги в торфе существенно влияет не только на общий выход экстрактивных веществ, но и на групповой состав экстрактов (рис. 2, а, б).

При интерпретации полученных данных нельзя не учитывать индивидуальных особенностей взаимодействия отдельных компонентов и структуры торфа. По современным представлениям торф относится к гетеропористым (неоднородно-пористым системам) и представляет собой совокупность переплетений неразложившихся тканей растений-торфообразователей с включениями ассоциатов, которые образуются на основе гуминовых веществ, битумов, лигно-углеводного комплекса и минеральной составляющей торфа и взаимодействуют друг с другом за счет прослоек воды. Гидрофильная поверхность данных ассоциатов является одним из мест локализации физико-химически и физически связанной влаги, которая может служить дополнительным препятствием для доступа олеофильных молекул экстрагента к целевым компонентам [15].

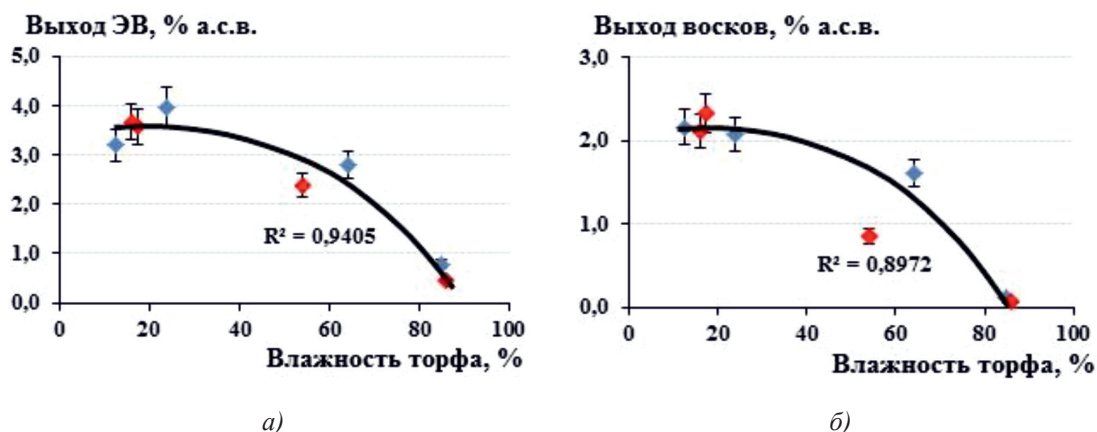


Рис. 1. Влияние влажности торфа на а – выход экстрактивных веществ (ЭВ); б – выход восковой фракции: ♦ – $h = 25\text{--}50$ см, $R = 25\text{--}30\%$; ♦ – $h = 100\text{--}120$ см, $R = 40\text{--}45\%$

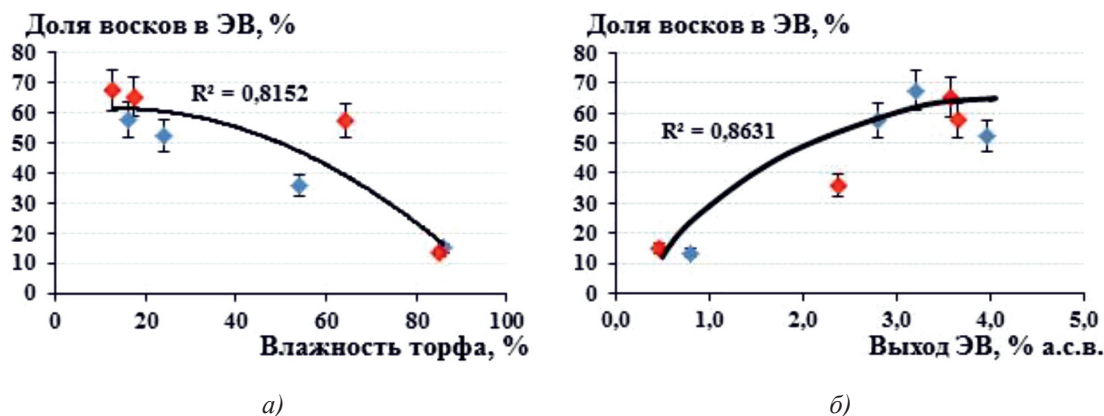


Рис. 2. а – влияние влажности на вклад восков в состав ЭВ; б – выход восков от общего количества извлекаемых ЭВ: ♦ – $h = 25\text{--}50$ см, $R = 25\text{--}30\%$; ♦ – $h = 100\text{--}120$ см, $R = 40\text{--}45\%$

Наличие влаги в структуре торфа, как это уже было сказано выше, может рассматриваться как фактор, препятствующий экстракции липофильных компонентов неполярным растворителем, что подтверждается экспериментально. Выход экстрактивных веществ составил 0,5–3,5%, а доля восков, которые являются наиболее липофильной фракцией торфяных битумов, в экстрактах увеличивается с 13% до 68% в интервале влажности 86–12%, при этом полученная зависимость не является линейной и постепенно (начиная с влажности образца 30–35%) выходит на плато. Поэтому для получения экстракта торфяных битумов, обогащенных восками, может быть рекомендовано высушивание сырья до влажности 35%, что является экономически менее затратным, чем высушивание до воздушно-сухого состояния.

Таким образом, присутствие влаги, доля которой даже в отжатом торфе может достигать 80–100%, препятствует диффузии неполярного растворителя в гидрофильную капиллярно-пористую структуру торфа и не только снижает эффективность экстракции в целом, но и оказывает влияние на избирательность извлечения отдельных групп компонентов торфяных битумов, что требует более детального изучения. При этом, несомненно, следует учитывать видовое многообразие и изменчивость физико-химических параметров такого сырья, как торф, что обусловлено индивидуальными для каждого региона геоклиматическими условиями формирования торфяной залежи.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 17-45-290682, Министерства образования и науки Архангельской области в рамках проектов № 07-2017-04а и № 17-45-290682.

Список литературы

1. Белькевич П.И. Битумы торфа и бурого угля / П.И. Белькевич, Н.Г. Голованов, Е.Ф. Демидович. – Минск: Наука и техника, 1989. – 127 с.
2. Позняк В.С., Раковский В.Е. Содержание битумов в торфах и их состав // Труды института торфа. – 1957. – Т. 6. – С. 88–95.
3. Селянина С.Б. Экстракция битумов из верхового торфа / С.Б. Селянина, Л.Н. Парфёнова, М.В. Труфанова, К.Г. Боголицын, Е.В. Мальцева, М.В. Богданов, О.Н. Ярыгина // Arctic Environmental Research. – 2013. – № 1. – С. 43–50.
4. Коржов Ю.В., Коронатова Н.Г. Состав гексан-хлороформного экстракта верховых торфов южной тайги Западной Сибири // Химия растительного сырья. – 2013. – № 3. – С. 213–220.
5. Серебренникова О.В. Состав экстрактивных веществ торфов осушенных и ненарушенных верховых болот Беларуси и Западной Сибири / О.В. Серебренникова, Е.Б. Стрельникова, Ю.И. Преис, Н.Г. Аверина, Н.В. Козел,

Н.Н. Бамбалов, В.А. Ракович // Известия ТПУ. Химия и химические технологии. – 2014. – Т. 325. № 3. – С. 31–45.

6. Серебренникова О.В. Сравнительный анализ химического состава битуминозных компонентов низинных торфов двух болотных экосистем / О.В. Серебренникова, Е.Б. Стрельникова, М.А. Дучко, Н.Г. Аверина, Н.В. Козел // Фундаментальные исследования. – 2014. – № 12. – С. 112–117.

7. Платонов В.В., Горохова М.Н. Особенности химического состава органической массы торфов и биологическая активность препаратов на их основе // Вестник новых медицинских технологий. – 2016. – Т. 10. № 2. – С. 21–49.

8. Селянина С.Б. Биологически активные экстракты верхового торфа Европейского Севера России / С.Б. Селянина, М.В. Труфанова, С.А. Забелина, М.В. Богданов, К.Г. Боголицын, Т.В. Соколова, В.П. Стригуцкий, Т.И. Пономарева, О.Н. Ярыгина, А.С. Орлов // Вестник РФФИ. – 2016. – № 1. – С. 33–39.

9. Кашинская Т.Я. Влияние технологий добычи на качество торфа как битуминозного сырья // Природопользование. – 2015. – Вып. 27. – С. 198–205.

10. Naiyer Shahzad, Wajahatullah Khan, Shadab M.D., Asgar Ali, Sundeep Singh Saluja, Sadhana Sharma, Faisal A. Al-Allaf, Zainularifeen Abduljaleel, Ibrahim Abdel Aziz Ibrahim, Ali Fathi Abdel-Wahab, Mohamed Abdelaziz Afify, Saeed Saeed Al-Ghamdi. Phytosterols as a natural anticancer agent: Current status and future perspective/ Biomedicine & Pharmacotherapy. – 2017. – Vol. 88. – P. 786–794.

11. Белоглазов И.Н. Твердофазные экстракторы: Инженерные методы расчета. – Л.: Химия, 1985. – 240 с.

12. Архипов В.С. Определение адсорбционной способности торфа по метиленовому голубому // Методические указания к выполнению лабораторных работ. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2011. – 28 с.

13. Селянина С.Б. Особенности биотрансформации органических веществ в условиях болотных экосистем Севера (на примере Иласского болотного массива) / С.Б. Селянина, М.В. Труфанова, О.Н. Ярыгина, А.С. Орлов, Т.И. Пономарева, К.В. Титова, И.Н. Зубов // Труды Института биологии внутренних вод РАН. – 2017. – № 79 (82). – С. 200–206.

14. ГОСТ 11305-83. Торф. Методы определения влаги. Введ. 1984-01-01. Изд-во стандартов. 1983. – 9 с.

15. Лиштван И.И. Взаимодействие битумной и гуминовой составляющей торфа / И.И. Лиштван, А.Р. Цыганов, А.Э. Томсон, В.П. Стригуцкий, Т.В. Соколова, В.С. Пехтерева, С.Г. Прохоров, С.Б. Селянина, М.В. Труфанова // Химия твердого топлива. – 2017. – № 5. – С. 34–38.

References

1. Belkevich P.I. Bitumy torfa i burogo uglja / P.I. Belkevich, N.G. Golovanov, E.F. Demidovich. Minsk: Nauka i tehnika, 1989. 127 p.
2. Poznjak V.S., Rakovskij V.E. Soderzhanie bitumov v torfah i ih sostav // Trudy instituta torfa. 1957. T. 6. pp. 88–95.
3. Seljanina S.B. Jekstrakcija bitumov iz verhovogo torfa / S.B. Seljanina, L.N. Parfjonova, M.V. Trufanova, K.G. Bogolitsyn, E.V. Malceva, M.V. Bogdanov, O.N. Jarygina // Arctic Environmental Research. 2013. no. 1. pp. 43–50.
4. Korzhov Ju.V., Koronatova N.G. Sostav geksan-hloroformnogo jekstrakta verhovyh torfov juzhnoj tajgi Zapadnoj Sibiri // Himija rastitelnogo syrja. 2013. no. 3. pp. 213–220.
5. Serebrennikova O.V. Sostav jekstraktivnyh veshhestv torfov osushennyh i nenarushennyh verhovyh bolot Belarusi i Zapadnoj Sibiri / O.V. Serebrennikova, E.B. Strelnikova, Ju.I. Prejs, N.G. Averina, N.V. Kozel, N.N. Bambalov, V.A. Rakovich // Izvestija TPU. Himija i himicheskie tehnologii. 2014. T. 325. no. 3. pp. 31–45.
6. Serebrennikova O.V. Sravnitelnyj analiz himicheskogo sostava bituminoznych komponentov nizinyh torfov dvuh bolotnyh jekosistem / O.V. Serebrennikova, E.B. Strelnikova, M.A. Duchko, N.G. Averina, N.V. Kozel // Fundamentalnye issledovanija. 2014. no. 12. pp. 112–117.

7. Platonov V.V., Gorohova M.N. Osobennosti himicheskogo sostava organicheskoy massy torfov i biologicheskaya aktivnost preparatov na ih osnove // Vestnik novykh medicinskih tehnologij. 2016. T. 10. no. 2. pp. 21–49.
8. Seljanina S.B. Biologicheski aktivnye jekstrakty verhovogo torfa Evropejskogo Severa Rossii / S.B. Seljanina, M.V. Trufanova, S.A. Zabelina, M.V. Bogdanov, K.G. Bogolincyn, T.V. Sokolova, V.P. Striguckij, T.I. Ponomareva, O.N. Jarygina, A.S. Orlov // Vestnik RFFI. 2016. no. 1. pp. 33–39.
9. Kashinskaja T.Ja. Vlijanie tehnologij dobychi na kachestvo torfa kak bituminoznogo syrja // Prirodopolzovanie. 2015. Vyp. 27. pp. 198–205.
10. Naiyer Shahzad, Wajahatullah Khan, Shadab M.D., Asgar Ali, Sundeep Singh Saluja, Sadhana Sharma, Faisal A. Al-Allaf, Zainularifeen Abduljaleel, Ibrahim Abdel Aziz Ibrahim, Ali Fathi Abdel-Wahab, Mohamed Abdelaziz Afify, Saeed Saeed Al-Ghamdi. Phytosterols as a natural anticancer agent: Current status and future perspective/ Biomedicine & Pharmacotherapy. 2017. Vol. 88. pp. 786–794.
11. Beloglazov I.N. Tverdogaznye jekstrakty: Inzhenernye metody rascheta. L.: Himija, 1985. 240 p.
12. Arhipov V.S. Opredelenie adsorbcionnoj sposobnosti torfa po metilenovomu golubomu // Metodicheskie ukazaniya k vypolneniju laboratornyh rabot. Tomsk: Izd-vo Tomskogo politehnicheskogo universiteta, 2011. 28 p.
13. Seljanina S.B. Osobennosti biotransformacii organicheskikh veshhestv v uslovijah bolotnyh jekosistem Severa (na primere Ilasskogo bolotnogo massiva) / S.B. Seljanina, M.V. Trufanova, O.N. Jarygina, A.S. Orlov, T.I. Ponomareva, K.V. Titova, I.N. Zubov // Trudy Instituta biologii vnutrennih vod RAN. 2017. no. 79 (82). pp. 200–206.
14. GOST 11305-83. Torf. Metody opredelenija vlagi. Vved. 1984-01-01. Izd-vo standartov. 1983. 9 p.
15. Lishtvan I.I. Vzaimodejstvie bitumnoj i guminovoj sostavljajushhej torfa / I.I. Lishtvan, A.R. Cyganov, A.Je. Tomson, V.P. Striguckij, T.V. Sokolova, V.S. Pehtereva, S.G. Prohorov, S.B. Seljanina, M.V. Trufanova // Himija tverdogo topliva. 2017. no. 5. pp. 34–38.

УДК 911.2:591.9:639.1(571.54)

ОХОТНИЧЬИ РЕСУРСЫ РЕСПУБЛИКИ БУРЯТИЯ И ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ**Осодоев П.В.***Байкальский институт природопользования СО РАН, Улан-Удэ, e-mail: osodoev@binm.ru*

В статье рассматривается современное состояние использования охотничьих ресурсов Республики Бурятия. Анализируется динамика численности и добычи основных видов промысловых животных с 1990 по 2016 гг. Выделены основные природные и антропогенные факторы, влияющие на численность охотничьих ресурсов. Для рационального использования охотничьих ресурсов необходимыми являются объективные данные о численности и добыче. Среди рассматриваемых промысловых животных наибольшую эффективность добычи имеют кабарга – 99,4 % от лимита изъятия, соболь – 95,1 %, лось – 88,2 %. Низкий спрос на некоторые виды приводит к недоиспользованию имеющегося потенциала. На основе данных о численности, добыче охотничьих животных и среднерыночных цен на продукцию оценен потенциал и ежегодное использование охотничьих ресурсов. Стоимость охотничье-промыслового потенциала Республики Бурятия оценивается в 3075,5 млн руб. Общую стоимость легально добываемой охотниками и охотничьими хозяйствами Бурятии продукции в сезоне 2015–2016 гг. можно оценить в 188,4 млн руб., что составляет 6,1 % охотничье-промыслового потенциала. Охотничьи хозяйства региона соответствуют в основном экстенсивному способу производства, основанному на предоставлении в арендное пользование угодий охотникам для добычи промысловой продукции. Развитие инфраструктуры и проведение биотехнических мероприятий в структуре расходов охотничьих хозяйств занимает невысокую долю в структуре расходов охотничьих хозяйств. Основными направлениями увеличения эффективности использования охотничьих ресурсов является проведение мероприятий, направленных на увеличение численности промысловых животных (биотехнические мероприятия), борьба с незаконной охотой, регулирование численности крупных хищников. Значение охотничьих ресурсов не ограничивается только добычей промысловой продукции. Перспективным является использование охотничьих угодий в качестве рекреации, развития охотничьего туризма.

Ключевые слова: Республика Бурятия, охотничьи ресурсы, охотничье хозяйство, охотничьи угодья, оценка природных ресурсов

HUNTING RESOURCES OF THE REPUBLIC OF BURYATIA AND THEIR USE**Osodoev P.V.***Baikal Institute of Nature Management SB RAS, Ulan-Ude, e-mail: osodoev@binm.ru*

The article considers the current state of hunting resources use of the Republic of Buryatia. The dynamics of abundance and production of the main species of commercial animals from 1990 to 2016 is analyzed. The main natural and anthropogenic factors influencing the number of hunting resources are singled out. For the rational use of hunting resources, objective data on numbers and production are necessary. Among the commercial animals under consideration, musk deer are the most efficient in use – 99.4 % of the seizure limit, sable – 95.1 %, moose – 88.2 %. The low demand for some species leads to underutilization of the available potential. On the basis of data on the number, production of hunting animals and average market prices for products, the potential and annual use of hunting resources are estimated. The cost of the hunting and fishing potential of the Republic of Buryatia is measured at 3,075.5 million rubles. The total cost of legally harvested hunters and hunting farms of Buryatia in the 2015–2016 season can be made estimate at 188.4 million rubles, which is 6.1 % of the hunting and fishing potential. Hunting farms in the region are characterized by an extensive production method, based on the provision of hunting grounds for rental use for harvesting products by hunters. The development of infrastructure and the implementation of biotechnical measures occupy an insignificant share in the structure of farm expenditures. The main directions of increasing the effectiveness of hunting resources use are measures aimed at increasing the number of hunting animals (biotechnical measures), combating illegal hunting, regulating the number of large predators. The value of hunting resources is not limited only to the production of commercial products. The use of hunting grounds as a recreation, development of hunting tourism is promising.

Keywords: Republic of Buryatia, hunting resources, hunting sector, hunting area, assessment of natural resources

Охотничьими ресурсами являются объекты животного мира, которые используются в целях охоты. Пользователи от добычи промысловых животных получают мясо, пушнину, кожевенное и лекарственное сырье. Использование охотничьих ресурсов имеет рекреационное значение, развивается охотничий туризм. По оценкам ФГБУ «Центрохотконтроль» стоимостная оценка охотничьих животных, обитающих на территории России, составляет 87 млрд руб., на продукцию охоты и услуги приходится 16 млрд руб. [1].

Задачей современного ведения охотничьего хозяйства становится разработка системы, обеспечивающей повышение воспроизводства и интенсификацию использования охотничьих животных через комплекс экономических, экологических, организационных и технических мероприятий [2]. Целью данного исследования является проведение анализа использования охотничьих ресурсов Республики Бурятия, определение основных направлений эффективного освоения охотничье-промыслового потенциала.

Материалы и методы исследования

Охотничьи ресурсы Республики Бурятия обладают значительным стоимостным потенциалом. Охота как часть рационального природопользования регулирует численность промысловых животных.

Промысловая фауна региона представлена 83 видами животных. Республика Бурятия среди регионов России выделяется такими промысловыми животными, как кабарга – 12,8% общероссийской численности, изюбрь – 9,4%, рысь – 6,6%, косуля – 4,1%, белка – 3,7%, соболь – 3,2% соответственно [3].

Среди охотничьих животных можно выделить следующие группы: копытные животные, пушные животные, крупные хищники, пернатая дичь. Копытные животные характеризуются стабильным состоянием, ростом поголовья с 1990-х гг. кабарги, изюбря, косули, лося (таблица) [4–6]. Средняя численность копытных за рассматриваемый период (1990–2016 гг.) составила 84,1 тыс. особей, в диапазоне от 54,3 (1996 г.) до 143,9 тыс. (2016 г.).

По пушным животным наблюдался рост популяции у соболя, лисицы, белки, снижение у колонка, горностая, ондатры. Основная доля численности соболя сосредоточена в Северо-Байкальском районе – 29,0%, Баунтовском – 23,9%. Белка представлена в Хоринском районе – 21,4%, Северо-Байкальском – 14,9, Баунтовском – 10,5. Основным местом обитания ондатры является дельта р. Селенги.

Крупные хищники оказывают значительное воздействие на охотничье и сельское хозяйство. Ежегодный ущерб от волков для сельского хозяйства Республики Бурятия составляет более 25 млн руб., для охотничьего хозяйства – около 100 млн руб. [7]. В настоящее время численность волков уменьшилась до 1174 особей, в 1995–2005 гг. добыча составляла 300–400 особей, в 2010–2016 гг. – 650–750 особей [6]. Снижение численности связано с увеличением денежного вознаграждения за отстрел волков, региональные власти выделяют за одного добытого волка 5000 руб., муниципальные власти от 2000 до 7000 руб. Численность медведей с 2008 г. остается на стабильно высоком уровне – около 4860 особей. Рост количества медведей на территории республики связан с неосвоением лимитов изъятия, высокой стоимостью лицензии. Основными районами обитания медведей являются Северо-Байкальский – 18,7%, Прибайкальский – 14,6%. Числен-

ность рыси составляет 1881 особей, снижение наблюдалось с 1990 по 2000 гг. Рысь обитает в Баунтовском районе – 21,9%, Хоринском – 15,1%, Муйском – 10,0% [6].

Боровая дичь представлена глухарем обыкновенным и каменным, тетеревом, рябчиком, куропаткой даурской и белой. По численности боровой дичи выделяются Баунтовский, Прибайкальский, Закаменский, Джидинский районы. Запасы этой охотничьей группы птиц в среднем за многолетний период оцениваются по глухарю – 74,0 тыс. особей, тетереву – 93,5 тыс., рябчику – 360,8 тыс., белой куропатке – 107,3 тыс., даурской куропатке – 106,9 тыс. К промысловым водоплавающим птицам относятся речные утки (кряква, чирок-свиистунок, чирок-трескунок, серая утка) и гуси (гумменик, гусь белолобый). Основными местами обитания водоплавающей птицы являются дельта р. Селенги, устье Верхней Ангары и Кичеры, долина р. Баргузин.

Численность большинства видов животных подвержена ежегодным изменениям, обусловленным влиянием природных и антропогенных факторов. Основными природными факторами являются климатические условия года (многоснежные зимы, низкие температуры), состояние кормовой базы. К антропогенным факторам относятся незаконная охота, лесные пожары, вырубка леса, регулирование хищников. В целом же за рассматриваемый период большинство видов промысловых животных показывают стабильное состояние.

Результаты исследования и их обсуждение

В Республике Бурятия ежегодно добывается более 6 тыс. копытных животных, около 110 тыс. пушных животных, более 30 тыс. пернатой дичи. В охотничий сезон 2015–2016 гг. добыча по копытным животным составила 6430 особей: косули – 1792, кабана – 1551, кабарги – 1686, изюбря – 680, северного оленя – 490, лося – 231 [6]. Основными районами добычи копытных животных являлись Баунтовский – 716, Северо-Байкальский – 620, Заиграевский – 500 и Хоринский – 321 особей. Ежегодное получение мяса диких копытных животных в среднем составляет 150 тонн, в диапазоне от 90,5 до 275,5 тонн. Добытое мясо диких копытных животных в основном используется для личного потребления.

Основу пушного промысла составляют соболь, белка, ондатра, заяц-беляк, колонок, горностай. В среднем ежегодно добывается 7,4 тыс. особей соболя, 33,4 тыс. белки, 9,0 тыс. ондатры. Основными районами до-

бычи пушных животных являются Хоринский – 10015, Северо-Байкальский – 9686, Баунтовский – 8527, Прибайкальский – 6474 особей, в том числе по соболу – Северо-Байкальский – 2351, Баунтовский – 1721, Муйский – 1080, Прибайкальский – 986. Среднегодовой уровень заготовки соболя в 1990-х гг. составлял 2,7 тыс. шт., в 1985–1988 гг. – 5,8 шт., в 2010–2016 гг. – 7,4 тыс. шт. [2, 6]. В последние годы наблюдается снижение спроса на шкурки белки, ондатры, колонка, горностая. Добыча белки в сезоне 1990–1991 гг. составляла 173,9 тыс. особей, в 2015–2016 гг. – 65,2 тыс. особей. Заметное снижение произошло по добыче ондатры, в 1990–1991 гг. – 31,9 тыс. особей, в сезоне 2015–2016 гг. – 17,4 тыс. особей.

Эффективность использования охотничьих ресурсов определяется хозяйственной возможностью изъятия ресурсов с учетом воспроизводства популяций животных [8]. Ежегодно устанавливаются лимиты изъятия по охотничьим угодьям Республики Бурятия. Лимит добычи в охотничьем сезоне с 1 августа 2015 г. по 1 августа 2016 гг. составлял по косуле – 6,26% от численности, изюбрю – 4,29%, лосю – 3,13%, кабарге – 4,79%, северному оленю – 13,1%, соболу – 34,02%, рыси – 7,64%, медведю – 10,53%, барсуку – 8,65% [9].

Среди промысловых животных наибольшая эффективность использования отмечается по таким видам, как кабарга – 99,4% от лимита изъятия, соболь – 95,1%,

лось – 88,2%. В то же время с учетом браконьерства на данные виды приходится чрезмерный пресс использования. Низкая эффективность использования наблюдается по медведю – 31,7%, барсуку – 28,6%. Снижение спроса на шкурки белки и ондатры приводит к недоиспользованию имеющегося потенциала. Так, для белки средняя доля эксплуатации составляет 70% осеннего поголовья, а добыча – 30%.

Для определения экономической ценности охотничьих ресурсов Республики Бурятия применялась методика оценки прямой стоимости потенциала охотничьих ресурсов и ежегодного фактического использования [10]. Стоимость охотничьих ресурсов рассчитывалось на основе данных о продукции, получаемой от охотничьих животных, – мяса, пушнины, лекарственно-технического сырья – и рыночных ценах на них. Основными заготовителями охотничье-промысловой продукции в регионе являются ООО «Охота и пушнина Бурятии», ООО «Раш фолкэн», а также многие охотничьи хозяйства и охотники отправляют продукцию в другие города – Москву, Санкт-Петербург, Иркутск. Наибольшим спросом пользуются шкурки соболя и мускус (струя) кабарги. Средние цены у местных заготовителей в 2016 г. составляли: шкурки соболя – 5000 руб., белки – 50–100, ондатры – 100, горностая – 250, колонка – 250, рыси – 12000, лисицы – 500, волка – 1500, мускус кабарги – 900 руб. за 1 гр., желчь медведя – 300 руб. за 1 гр.

Динамика численности основных промысловых видов животных Республики Бурятия с 1990 по 2016 гг., особей [4–6]

Вид	1990 г.	1995 г.	2000 г.	2005 г.	2010 г.	2016 г.	Среднегодовая числ-ть	1990/2016 гг., %
Лось	5400	4300	7900	5633	7901	12907	7222	239,0
Изюбрь	12500	12000	18440	14529	15044	24959	16914	199,7
Косуля	18700	23500	37200	28617	40506	46560	34217	249,0
Кабан	4950	2200	4220	5632	7640	7988	5486	161,4
Кабарга	15300	13760	11700	9405	9733	47021	15920	307,3
Сев. олень	2831	1350	3140	2473	3509	4471	2862	157,9
Волк	1427	1400	1740	1956	2468	1174	1864	82,3
Медведь	2092	2000	2000	3760	4878	4949	3436	236,6
Соболь	19196	11500	16230	14292	19215	50826	20091	264,8
Белка	93120	143350	245350	221918	152262	204874	203095	220,0
Лисица	1900	1500	2690	2927	6244	4221	3125	222,2
Ондатра	118600	85000	90600	86022	115196	99228	91123	83,7
Горностай	16000	7900	17400	13783	9282	11381	11972	71,1
Колонка	11450	12000	8900	6999	6738	7379	13042	64,4
Заяц-беляк	55700	78800	71680	66541	53008	68735	67651	123,4
Рысь	2001	830	580	975	924	1881	1154	94,0
Росомаха	1186	470	430	945	338	413	547	34,8

В результате проведенных расчетов стоимость охотничье-промыслового потенциала Республики Бурятия оценивается в 3075,5 млн руб., на копытные животные приходится 2106,8 млн руб., на пушные животные – 537,4 млн руб., на пернатую дичь – 431,3 млн руб. По стоимости охотничьих ресурсов выделяются Баунтовский район – 770,6 млн руб., Северо-Байкальский – 402,6 млн руб., Муйский – 275,4 млн руб., Прибайкальский – 197,0, Закаменский – 170,4, Хоринский – 167,3. По плотности стоимости охотничьих ресурсов на 1 га угодий можно отметить Иволгинский район – 291 руб., Заиграевский – 241, Джидинский – 165, Кижингинский – 143.

Общую стоимость легально добываемой охотниками и охотничьими хозяйствами Бурятии продукции в сезоне 2015–2016 гг. можно оценить в 188,4 млн руб., что составляет 6,1 % охотничье-промыслового потенциала. Так, на продукцию копытных животных приходится 84,1 млн руб., пушно-меховое и лекарственное сырье – 92,3 млн руб., пернатую дичь – 12,0 млн руб.

Имеющийся потенциал охотничьих ресурсов используется в промысловой и любительской охоте, в которой ежегодно участвуют до 10 тыс. охотников [11]. Охотничье-промысловая отрасль представлена 61 охотничьим хозяйством. В настоящее время охотничьи хозяйства региона в основном используют экстенсивный способ производства, основанный на предоставлении в арендное пользование охотничьих угодий охотникам для добычи продукции, при этом потенциальные возможности естественной продуктивности промысловых угодий используются недостаточно [2]. Развитие инфраструктуры и проведение биотехнических мероприятий занимает незначительную долю в структуре расходов хозяйств. Так, в 2015 г. расходы охотничьих хозяйств Бурятии составляли 29982,3 тыс. руб., из них затраты на биотехнические мероприятия – 6,5%, затраты по созданию инфраструктуры – 4,8%. В целом же по России затраты на данные мероприятия составляют 23,0%, на биотехнические мероприятия – 13,2%, на создание инфраструктуры – 9,8% [3]. Невысокие затраты связаны с низкой доходностью отрасли. Значительными остаются расходы охотников для добычи охотничьей продукции: оплата госпошлины, разрешений на добычу (получение лицензии на добычу), расходы, связанные с проведением охоты (оружие, снаряжение, транспорт и др.).

Значение для экономики региона от использования охотничьих ресурсов ограничивается не только добычей промысловой продукции. Перспективным является использование охотничьих угодий в качестве рекреации, развития охотничьего туризма. Для значительной части охотников основным является рекреационная составляющая охотничьей деятельности. По расчетам исследователей экономический эффект от туризма превышает в 3 раза промысловую продукцию [11, 12]. С целью охотничьего туризма Республику Бурятия посещают российские и зарубежные туристы.

Заключение

Численность охотничьих животных с 1990 по 2016 гг. характеризуется положительной динамикой. На промысловые ресурсы значительное влияние оказывают такие факторы, как природно-климатические условия, состояние кормовой базы, численность крупных хищников, незаконная добыча, состояние лесного фонда (незаконные рубки, лесные пожары).

Имеющийся охотничье-промысловый потенциал Республики Бурятия в настоящее время востребован, но существует необходимость в совершенствовании эффективности использования. Наибольшая эффективность использования охотничьих животных характеризуется по отношению к кабарге, соболю, низкий спрос на некоторые виды приводит к недоиспользованию имеющегося потенциала. Ежегодно охотниками и охотничьими хозяйствами используется только 6,1 % охотничье-промыслового потенциала. Перспективным является развитие охотничьего туризма, формирование досуга.

Основными направлениями увеличения эффективности использования охотничьих ресурсов является: проведение биотехнических мероприятий, борьба с незаконной охотой (браконьерством), регулирование численности крупных хищников (волков, медведей). Охотничье-промысловый потенциал используется недостаточно ввиду слабого развития охотничьих хозяйств. Необходимым является развитие рыночных инструментов для увеличения рентабельности, технических возможностей и инфраструктурных объектов хозяйств.

Список литературы

1. Стратегия развития охотничьего хозяйства в Российской Федерации до 2030 года: Распоряжение Правительства Российской Федерации от 3 июля 2014 г. № 1216-п [Электронный ресурс]. – URL: <http://government.ru/media/files/41d4edae3f842fba937b.pdf> (дата обращения: 10.11.2017).

2. Носков В.Т. Охотничьи животные Бурятии / В.Т. Носков. – Улан-Удэ: Изд-во БГСХА им. В.Р. Филиппова, 2008. – 224 с.
3. Охрана окружающей среды в России. 2016: Стат. сб. / Росстат. – М., 2016. – 95 с.
4. Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Республики Бурятия в 2007 году». – Улан-Удэ, 2008.
5. Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Республики Бурятия в 2013 году». – Улан-Удэ, 2014.
6. Государственный охотхозяйственный реестр по Республике Бурятия [Электронный ресурс]. – URL: <http://burprirodnadzor.ru/opendata/documented-information/page.php> (дата обращения: 15.11.2017).
7. Щепин С.Г. Состояние и использование охотничьих ресурсов в Байкальском регионе // Проблемы окружающей среды в бассейне озера Байкал и роль «зеленой экономики» в их решении. – Улан-Удэ: Изд-во БНЦ СО РАН, 2013. – С. 29–35.
8. Монахов В.Г. Продуктивность угодий и эффективность использования ресурсов соболя и белки на севере Красноярского края и в Республике Саха (Якутия) / В.Г. Монахов // География и природные ресурсы. – 2010. – № 3. – С. 105–110.
9. Указ Главы Республики Бурятия №119 от 24.07.2015 г. «Об утверждении лимита и квот добычи охотничьих ресурсов в Республике Бурятия на период до 1 августа 2016 года» [Электронный ресурс]. URL: http://egov-buryatia.ru/uploads/tx_npa/119%D1%83%D1%83_01.pdf (дата обращения: 15.11.2017).
10. Экономика сохранения биоразнообразия / Под ред. А.А. Тишкова. Научные редакторы-составители: С.Н. Бобылев, О.Е. Медведева, С.В. Соловьева. – М.: Проект ГЭФ «Сохранение биоразнообразия Российской Федерации», Институт экономики природопользования, 2002. – 604 с.
11. Дамбиев А.Г. Охотничье природопользование Республики Бурятия: проблемы и перспективы / А.Г. Дамбиев, В.С. Камбалин, В.Т. Носков. – Иркутск: ИрГСХА, 2011. – 110 с.
12. Пономарев Г.В. Экономико-географические аспекты охотничьего природопользования Сибири / Г.В. Пономарев, В.С. Камбалин // География и природные ресурсы. – 2016. – № 1. – С. 23–28.

References

1. Strategija razvitija ohotничего hozjajstva v Rossijskoj Federacii do 2030 goda»: Rasporjazhenie Pravitelstva Rossijskoj Federacii ot 3 ijulja 2014 g. no. 1216-r [Jelektronnyj resurs]. URL: <http://government.ru/media/files/41d4edae3f842fba937b.pdf> (data obrashhenija: 10.11.2017).
2. Noskov V.T. Ohotnichi zhivotnye Burjatii / V.T. Noskov. Ulan-Udje: Izd-vo BGSHA im. V.R. Filippova, 2008. 224 p.
3. Ohrana okružhajushhej sredy v Rossii. 2016: Stat. sb. / Rosstat. M., 2016. 95 s.
4. Gosudarstvennyj doklad «O sostojanii i ob ohrane okružhajushhej sredy Respubliki Burjatija v 2007 godu». Ulan-Udje, 2008.
5. Gosudarstvennyj doklad «O sostojanii i ob ohrane okružhajushhej sredy Respubliki Burjatija v 2013 godu». Ulan-Udje, 2014.
6. Gosudarstvennyj ohothozjajstvennyj reestr po Respublike Burjatija [Elektronnyj resurs]. URL: <http://burprirodnadzor.ru/opendata/documented-information/page.php> (data obrashhenija: 15.11.2017).
7. Shhepin S.G. Sostojanie i ispolzovanie ohotnichih resursov v Bajkalskom regione // Problemy okružhajushhej sredy v bassejne ozera Bajkal i rol «zelenoj jekonomiki» v ih reshenii. Ulan-Udje: Izd-vo BNC SO RAN, 2013. pp. 29–35.
8. Monahov V.G. Produktivnost ugodij i jeffektivnost ispolzovanija resursov sobolja i belki na severe Krasnojarskogo kraja i v Respublike Saha (Jakutija) / V.G. Monahov // Geografija i prirodnye resursy. 2010. no. 3. pp. 105–110.
9. Ukaz Glavy Respubliki Burjatija №119 ot 24.07.2015 g. «Ob utverzhenii limita i kvot dobychi ohotnichih resursov v Respublike Burjatija na period do 1 avgusta 2016 goda» [Jelektronnyj resurs]. URL: http://egov-buryatia.ru/uploads/tx_npa/119%D1%83%D1%83_01.pdf (data obrashhenija: 15.11.2017).
10. Jekonomika sohraneniya bioraznoobrazija / Pod red. A.A. Tishkova. Nauchnye redaktory-sostaviteli: S.N. Bobylev, O.E. Medvedeva, S.V. Soloveva. M.: Proekt GJeF «Sohranenie bioraznoobrazija Rossijskoj Federacii», Institut jekonomiki prirodo polzovanija, 2002. 604 p.
11. Dambiev A.G. Ohotniche prirodo polzovanie Respubliki Burjatija: problemy i perspektivy / A.G. Dambiev, V.S. Kambalin, V.T. Noskov. Irkutsk: IrGSHA, 2011. 110 p.
12. Ponomarev G.V. Jekonomiko-geograficheskie aspekty ohotничего prirodo polzovanija Sibiri / G.V. Ponomarev, V.S. Kambalin // Geografija i prirodnye resursy. 2016. no. 1. pp. 23–28.

УДК 556.55:551.332.56(571.15)

К МЕТОДИКЕ ОЦЕНКИ РАСХОДОВ ВОДЫ В ЧУЙСКО-КУРАЙСКОМ ЛЕДОВО-ПОДПРУДНОМ ОЗЕРЕ В СТАДИИ ДЕГРАДАЦИИ

¹Поздняков А.В., ^{1,2}Хон А.В.¹ФГБУН «Институт мониторинга климатических и экологических систем»

СО РАН (ИМКЭС СО РАН), Томск,

²ФГАОУ ВО «Томский государственный университет», Томск, e-mail: synergeia.pol@gmail.com

Неоплейстоценовое Чуйско-Курайское ледниково-подпрудное озеро оставило следы в виде абразионно-аккумулятивных уступов на бортах Чуйской и Курайской межгорных впадин. Согласно опубликованным данным, в максимум наполнения до абсолютной отметки уровня 2100 м, при объеме 600 км³, площадь акватории палеозера составляла 2653 км². При спуске озера в интервале высот 1540–2100 м образовалось более 150 абразионных уступов различной высоты. Проведенный анализ изменения уровня озера свидетельствует, что опорожнение озера было неравномерным и не одномоментным, как полагается. Важное теоретическое и прикладное значение имеет определение расходов воды при спуске озера. Единственным источником информации для этого являются морфометрические характеристики абразионных уступов. Очевидно, что высота уступов, при известной соответствующей им площади поверхности озера, позволяет определить только объем истекающей воды. Для количественной оценки расходов воды необходимо определить продолжительность формирования уступов (соответственно, скорость понижения уровня) и расходов воды. С этой целью проведен анализ зависимости изменения высот абразионных уступов от абсолютной высоты понижавшегося уровня озера и определены их тренды. Установлено, что тренды исходных высотных рядов по двум профилям уступов для Курайской и Чуйской частей котловин имеют ясно выраженный характер сезонности: возрастающая величина понижения уровня чередуется с его уменьшающейся величиной. Видимо, причиной являлось изменение расходов воды в летние и зимние сезоны года. Расход воды в летние периоды в минимумах составлял 1000–2632 м³/с, а в зимние – от 14–43 м³/с до 500–700 м³/с. Суммарная по двум трендам продолжительность спуска озера составляла 17 лет при общей величине понижения уровня озера на 373 м.

Ключевые слова: ледниково-подпрудное озеро, абразионные террасы, тренд высот уступов, расход воды

TO THE METHODOLOGY OF ESTIMATION OF WATER EXPENDITURES IN THE CHUISKO-KURAI ICE-CONSTRUCTIVE LAKE IN THE STAGE OF DEGRADATION

¹Pozdnyakov A.V., ^{1,2}Khon A.V.¹Institute of Monitoring of Climatic and Ecological Systems of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (IMCES SB RAS), Tomsk;²National Research Tomsk State University, Tomsk, e-mail: synergeia.pol@gmail.com

The Neo-Pleistocene Chuya Kurai glacial-pond lake left traces in the form of abrasion-accumulation ledges on the sides of the Chuya and Kurai intermontane depressions. According to the published data, the area of the Paleolake waters was 2653 km² in maximum filling up to altitudes of 2100 m and the volume of 600 km³. When the lake descended in the interval of heights from 1540 to 2100 m, more than 150 abrasion ledges of different heights were formed. The analysis of changes in the lake level indicated that the emptying of the lake was uneven and not instantaneous, as it is supposed. Important theoretical and applied importance has the definition of water consumption during the descent of the lake. The only source of information for this are the morphological characteristics of abrasion ledges. It is obvious that the height of the ledges, at known corresponding surface area of the lake, allows to determine only the volume of the flowing water. To quantify the water consumption is necessary to determine the duration of ledges formation (respectively, the speed of lowering of the level) and water flow. With this purpose, the analysis of the variation of the abrasion ledges heights from the absolute height of the lowering lake level was held and their trends were defined. It is established that the source elevation trends of series two profile ledges for Kurai and Chuya parts of the basins are clearly expressed seasonality: increasing the value of lowering the level alternates with its decreasing value. Apparently, the reason was the change of water consumption in the summer and winter seasons. Water consumption in the summer period minimaxed was 1000–2632 m³/s and in winter from 14–43 m³/s up to 500–700 m³/s. Total two trends in the duration of the lake descent was 17 years with a total dimension of lowering the lake level is at 373 m.

Keywords: glacier-pond lake, abrasion terraces, trend of heights of ledges, water flow

Чуйско-Курайское ледово-подпрудное озеро образовалось на границе неоплейстоцена и голоцена в пределах Чуйской и Курайской межгорных котловин юго-восточной части Горного Алтая. Эта система котловин вытянута с северо-запада на юго-восток (крайние географические координаты – 49°42′ и 50°17′ с.ш. и 87°47′ и

89°14′ в.д.). Горное обрамление котловин включает Северо-Чуйский и Южно-Чуйский хребты с юга, Курайский хребет с севера и хребты Сайлюгем и Чихачева с востока и юго-востока. Абсолютные высоты днища Курайской котловины варьируют от 1480 м в центральной части до 1750 м по периферии. В Чуйской котловине этот диа-

пазон составляет от 1700 до 2000–2150 м абс. высоты соответственно. Для горного обрамления Чуйской и Курайской котловин характерен типичный альпийский рельеф.

В формировании и деградации этого феномена отражается множество различных по генезису и динамике процессов, без преувеличения имеющих важное теоретическое, научно-познавательное и практическое значение.

Согласно опубликованным данным [1], в максимум наполнения до абсолютной отметки уровня 2100 м, при объеме 600 км³, площадь акватории палеозера составляла 2653 км². При спуске озера в интервале высот 1540–2100 м образовалось более 150 абразионных уступов различной высоты, свидетельствующих, что опорожнение озера было неравномерным и не одномоментным, как полагают некоторые авторы [2–4].

Наибольший научный и теоретический интерес имеет определение расходов воды при спуске озера. Единственным источником информации для этого являются морфометрические характеристики абразионных уступов. Очевидно, что высота уступов, при известной соответствующей им площади поверхности озера, позволяет определить только объем истекающей воды. А чтобы определить расход Q воды, необходимо знать время, в течение которого происходило понижение уровня и формирование

уступов. До сих пор расход воды из озера определяется на основе гидрофизически не обоснованных положений. В частности, утверждается [2, 3], что спуск озера был катастрофическим – сброс всего объема воды ($V = 600$ км³) Чуйско-Курайского озера произошел в течение нескольких часов.

В статье излагаются предварительные результаты анализа изменения относительных высот абразионных уступов, сформировавшихся в процессе понижения уровня озера, и впервые предлагается методология количественной оценки расходной части Q баланса. В основу положены фактические материалы, полученные по результатам специализированных исследований по программам (грантам) РФФИ: № 01-05-65151 (а) – «Самоорганизация флювиогляциальных катастроф (на примере Горного Алтая)» (2001–2003 гг.) и № 05-05-64182 – «Формирование горно-долинных озерных бассейнов в Алтае-Саянской горной области вследствие неотектонических перекосов поверхности» (2005–2007 гг.), одной из главных целей которых являлось исследование закономерностей опорожнения Чуйско-Курайского ледово-подпрудного озера, происходившее на границах неоплейстоцена и голоцена; использованы материалы, полученные в 2005–2007 гг. по результатам нивелирования абразионных уступов и картографического отображения рельефа Курайской котловины.

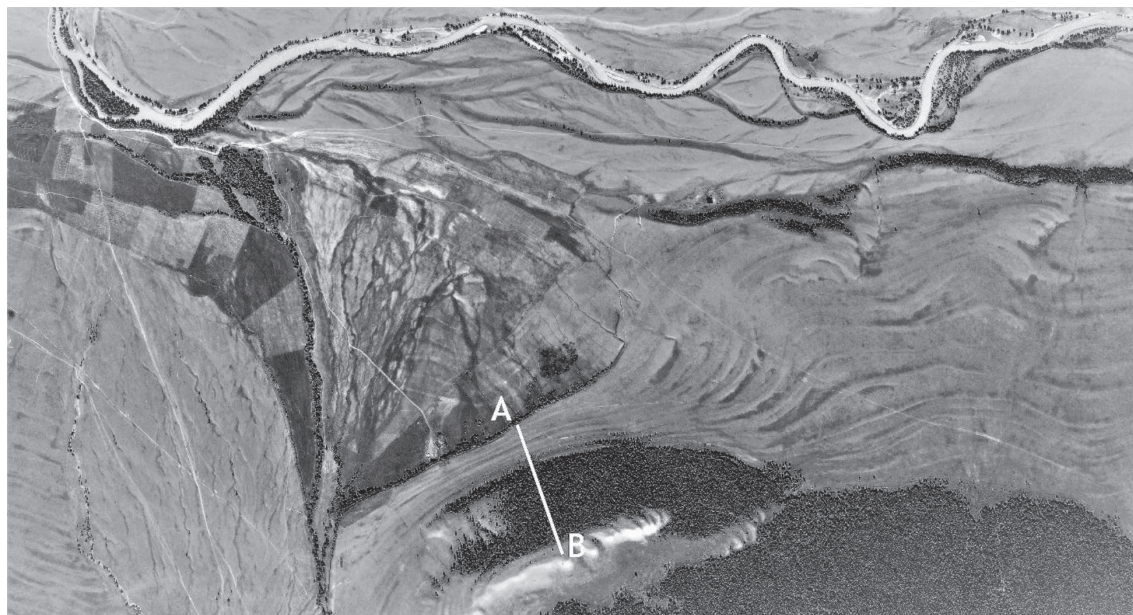


Рис. 1. Террасы на склонах Курайской котловины (абсолютная высота 1610–1750 м, скан Google Earth) как прямое свидетельство существования Чуйско-Курайского ледово-подпрудного озера и как неоспоримое по форме и содержанию доказательство их абразионно-аккумулятивного генезиса. А–В – поперечный профиль через абразионные уступы

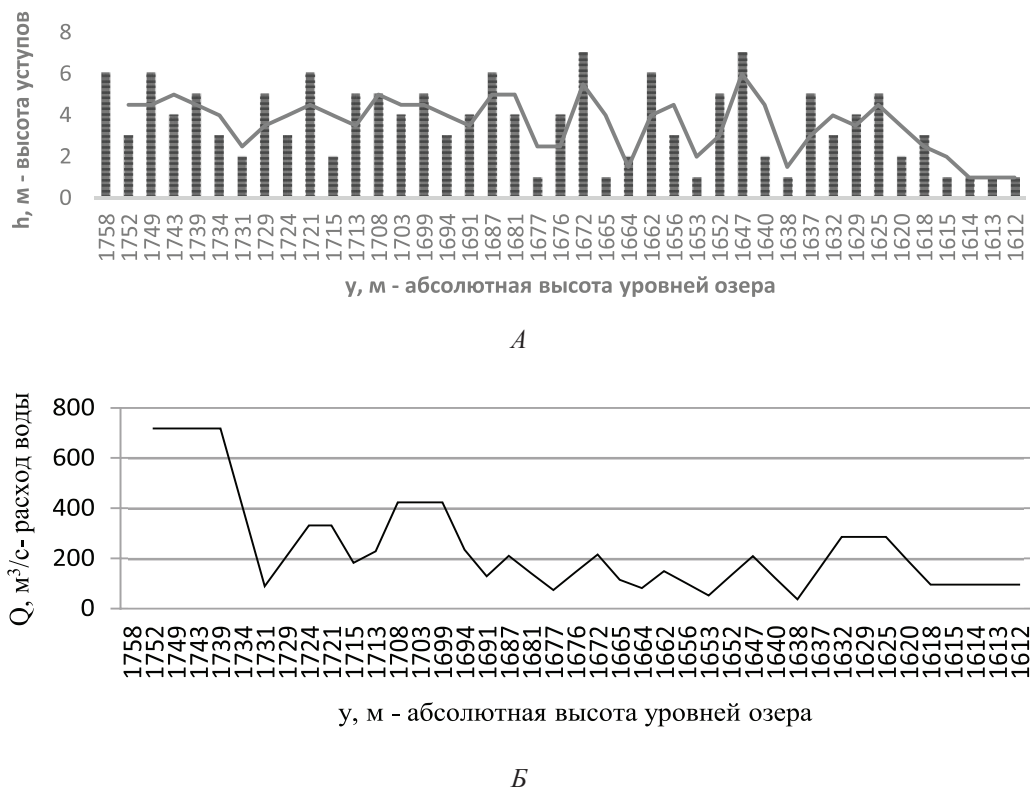


Рис. 2. Графики трендов. Изменения: А – высоты $h(y)$ абразионных уступов; Б – расходов $Q(y)$ воды. Курайская часть Чуйско-Курайского ледово-подпрудного озера

Закономерности изменения высот абразионных уступов и постановка задачи определения расхода воды. Абразионные уступы являются единственным из всех сохранившихся источником информации для определения Q во время спуска озера, и потому сравнительный анализ распределения их высот в зависимости от абсолютной высоты стояния уровня озера имеет определяющее значение. Основной причиной изменения высоты $h(t)$ абразионных уступов является прерывистое или происходящее с замедлением понижение уровня $y(t)$ водного бассейна, являющегося функцией $Q(t) = \omega \cdot v$, где ω – площадь поперечного сечения каналов стока в плотине; v – скорость течения воды в каналах. Существует еще одна причина формирования абразионных уступов, она обусловлена особенностями самоорганизационных процессов. Теоретически установлена возможность формирования террас в условиях медленного равномерного понижения уровня моря (или озера), как результат континуально-дискретного проявления внутренних самопроизвольно образующихся противоречий в процессах абразионно-аккумулятивной деятельности.

Однако для их развития необходимы идеальные сочетания условий по длительности времени, постоянству морфометрических характеристик исходной поверхности, показателей абразионной устойчивости пород и пр. Поэтому они в данном процессе не учитываются.

Объем V истекающей из озера воды и площадь S его водной поверхности во времени являются функциями понижения уровня $\Delta y(t) = Q$. Согласно данным [1], изменение высоты абразионных уступов ($\Delta h = \Delta y$) Чуйско-Курайского озера происходит стохастически, основной причиной, очевидно, являлось непостоянство площади поперечного сечения $\omega(t)$ каналов стока в ледовой плотине и расходов $Q(\omega)$ воды. В условиях кратковременности спуска озера выявить закономерности в случайных изменениях $\omega(t)$ и, соответственно, высоты абразионных уступов, не представляется возможным. Однако когда количество абразионных уступов, как в данном случае, велико (более 150), то логично считать, что понижение уровня озера было длительным, и тогда можно полагать, что на стохастичность распределения высот абразионных

уступов накладывались периодически действовавшие упорядоченные процессы. В таком случае в стохастическом распределении высот абразионных уступов должны наблюдаться закономерные изменения их высот. И тогда появляется возможность количественной оценки $V(y)$, $S(y)$, $\omega(t)$ и связанных с ними изменений расхода $Q(\omega)$ воды.

Сезонные тренды высот абразионных уступов и кластеры уровней озера. Для проверки гипотезы проведен анализ распределения высот $h(y)$ уступов в зависимости от абсолютной высоты y уровня озера. С использованием GPS и глазомерных методов измерения в августе 2005 г. был построен поперечный профиль лестницы уступов на левом борту Курайской части котловины в границах абсолютных высот 1612–1758 м, где абразионно-аккумулятивный террасовый комплекс морфологически выражен наиболее контрастно (рис. 1). В результате были установлены морфометрически четко выраженные 43 абразионно-аккумулятивных уступа различной высоты (рис. 2, А), по которым построен тренд (рис. 2, Б) их распределения. Он, как видно, характеризуется периодичностью чередования кластеров высот Δh абразионных уступов и уровней понижения озера (поскольку $\Delta h = \Delta y$), характерной для так называемых сезонных трендов.

Такой же сезонный тренд установлен по независимым результатам измерения высот абразионных уступов в Чуйской части озера [1], в пределах абсолютных высот 1802 – 1980 м. Он составлен по измерениям высот 34 абразионных уступов (к сожалению, в статье не указывается привязка точек измерения к координатам; главным же достоинством этих результатов, по утверждению авторов, является высокая точность измерений высоты, составлявшая 0,5 м). И в этом случае тренд имеет вид ясно выраженной сезонности (рис. 3, А): кластеры высоких уступов (4–7 м) чередуются с кластерами высот 1–3 м. Таким образом, тренды высот уступов, построенные на основе независимых исходных данных и для разных участков Чуйско-Курайской котловины, характеризуют закономерность понижения уровня ледово-подпрудного озера.

Это интереснейшее обстоятельство свидетельствует о ритмичности протекавшего процесса, наиболее вероятной причиной которого были сезонные (зима – лето) изменения водопропускной способности ($Q(\omega)$) каналов стока в ледовой плотине. Видимо,

оно было связано с физическим состоянием ледовой плотины, что определялось погодными условиями в зимнее и летнее время: кластеры, соответствующие минимальным значениям высот уступов, характеризуют зимний режим спуска озера, а максимальным – летним. С наступлением сезона преобладающих положительных температур воздуха (на переходах весна – лето – осень) понижение уровня существенно увеличивалось, а в зимнее время оно хотя и продолжалось, но было меньше.

Анализ трендов расхода Q воды и закономерности спуска озера. Учитывая выявленные закономерности сезонных трендов, для каждого кластера, соответствующего абсолютным высотам уровня озера, по номограмме [1] определены площадь $S(h)$, км² поверхности озера; объем $V(h)$, км³ воды в слое толщиной h , равной соответствующей высоте абразионных уступов. Для определения расхода $Q(h)$ воды при понижении уровня озера на h продолжительность сезонов принята близкой современной, составлявшей для кластеров зимних и летних уровней 7 и 5 месяцев соответственно. По результатам анализа составлены сезонные тренды расходов воды (рис. 2, Б и 3, Б).

Как следует из представленного фактического материала, опорожнение озера было неравномерным. Пропускная способность $\omega(t)$ плотины менялась не только от физических и, так сказать, конструктивных ее свойств, но еще и от климатических характеристик на границах перехода «зима – лето». Можно полагать, что в палеогеографическое зимнее время спуск озера мог останавливаться полностью; даже в настоящее время, при потеплении климата и ускоряющемся таянии ледников, расход воды в р. Чуя, по замерам у с. Чаган-Узун, в зимние месяцы сокращается до 5–6 м³/с, при максимальных летних расходах до 49 м³/с [5]. В то же время, судя по трендам $Q(h)$ (рис. 2, 3), понижение уровня озера в зимнее время могло сопровождаться паводками, следы которых наблюдаются в морфолитогенетических особенностях строения террасового комплекса в нижнем бьефе [6].

Результаты исследования и их обсуждение

На основе профилирования лестниц абразионных уступов на склонах Чуйской и Курайской частях котловин установлено определенным образом упорядоченное распределение их относительных высот

по абсолютной высоте стояния уровня ледово-подпрудного озера. Тренды профилей абразионных лестниц, формировавшихся при понижении уровня озера на 125 м за 9 лет в Чуйской части существовавшего водного бассейна и на 148 м за 8 лет в Курайской, выявляют периодическую упорядоченность по высоте их уступов. Известно, что устойчивость тренда определяется его протяженностью (в данном случае количественно охарактеризованная общая величина понижения уровня озера составляет 273 м); продолжительностью (по времени общая продолжительность спуска озера и абразионно-аккумулятивных процессов составляла 17 лет); числом количественно оцененных зависимых переменных (72 абразионных уступа). Таким образом, можно полагать, что установленная ясно выраженная упорядоченность распределения высот абра-

зионных уступов по абсолютной высоте стояния уровня озерного бассейна характеризует не что иное, как сезонные изменения расходов воды.

Анализ изменения уровня озера, проведенный по оставленным им следам абразионно-аккумулятивной деятельности, свидетельствует о континуально-дискретном его понижении. Тренды профиля высот $h(y)$ абразионных уступов и определенных по ним расходов $Q(h)$ для теплого и зимнего периодов года в пределах Чуйской части водного бассейна существенно различаются. Расходы воды в летний период, когда уровень воды снижался на 12–19 м, в пределах минимакса составляли $Q = 1000\text{--}2632 \text{ м}^3/\text{с}$. Зимние расходы воды в максимуме, при понижении уровня на 6–7 м, достигали $Q(h) = 500\text{--}700 \text{ м}^3/\text{с}$, а в минимуме – $Q = 14\text{--}43 \text{ м}^3/\text{с}$ (уровень озера понижался на 1–3 м).

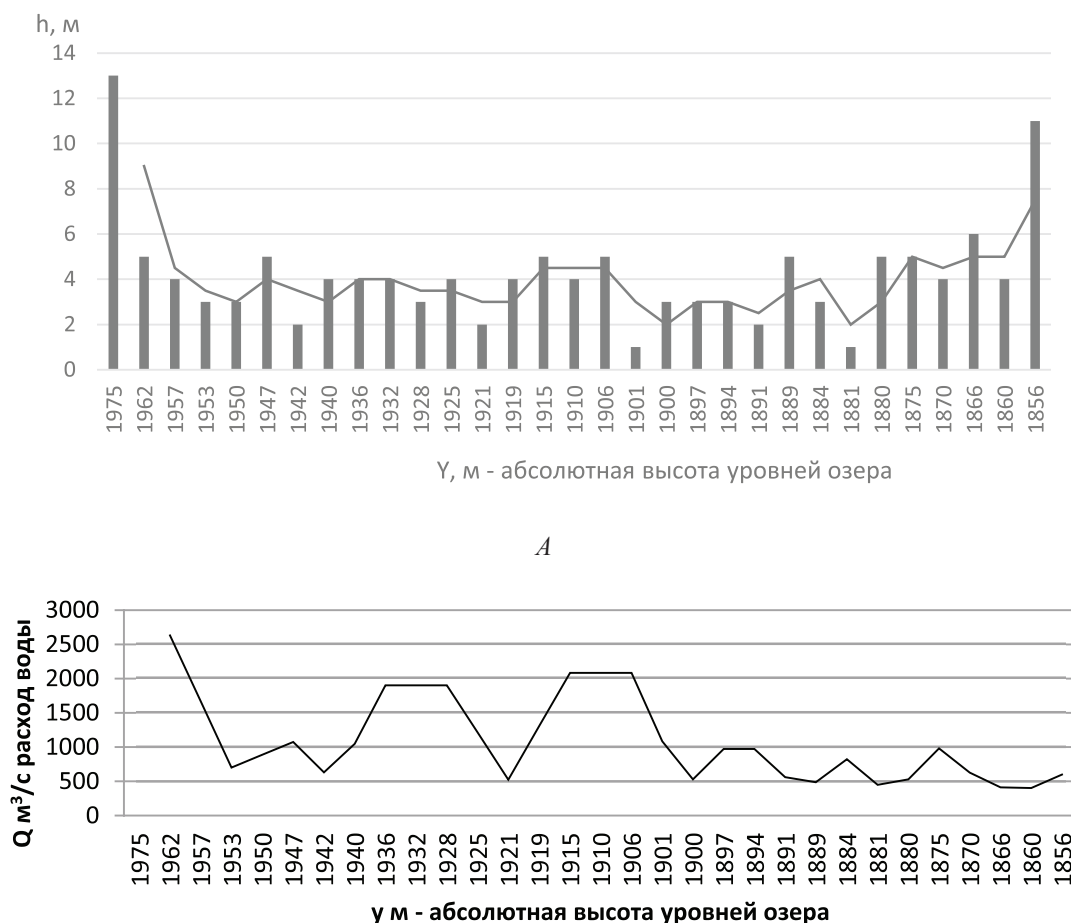


Рис. 3. Сезонные тренды изменения: (А) высот абразионных уступов и (Б) расходов воды (составлен по материалам [1])

Аналогичными закономерностями характеризуется континуально-дискретный процесс понижения уровня озера и расходов воды в Курайской части ледово-подпрудного озера. Здесь максимальные летние расходы воды составляли $Q = 284\text{--}717,3 \text{ м}^3/\text{с}$, а зимние – $95 \text{ м}^3/\text{с}$ (превышали современный летний расход в р. Чуя в два раза). Минимальный расход составлял менее $14 \text{ м}^3/\text{с}$.

Как следует из анализа фактического материала, опорожнение озера было неравномерным, и тем более не одномоментным. Результаты исследования опровергают утверждения о том, что лестница абразионных уступов является «...не свидетельствами долговременных береговых линий, а следами боковой водной эрозии при спуске палеозера после прорыва ледниковой плотины» [7, с. 76].

Конечно же, полученные количественные характеристики расходов воды из озера не претендуют на абсолютную точность. Тем не менее можно утверждать, что они с достаточной объективностью отражают сравнительный порядок величин, позволяющий увидеть близкий к реальному ход событий. Результаты проведенного анализа подтверждают ранее высказанные нами суждения [8, 9] о невозможности одновременного развития процессов абразионно-аккумулятивной переработки склонов котловины и катастрофического спуска озера, сопровождавшегося формированием водного потока со скоростью течения, превышавшей 10 м/с , и расходом воды $Q > 4,5 = 10 \text{ млн м}^3/\text{с}$.

Учитывая научно-теоретическую и прикладную значимость проблемы формирования ледово-подпрудных плотин и их разрушения с образованием катастрофических явлений преобразования экосистем, в дальнейшем необходимо проведение высокоточного нивелирования абразионных уступов в наиболее характерных участках Чуйско-Курайской котловины.

Список литературы

1. Окишев П.А. Реконструкции «флювиальных катастроф» в горах южной Сибири и их параметры / П.А. Окишев, П.С. Бородавко // Вестник Томского государственного университета. – 2001. – № 274. – С. 3–12.
2. Инишев Н.Г. Первая компьютерная модель течений в межгорной котловине при сбросе ледниково-подпрудного озера (на примере Курайской котловины, Горный Алтай) / Н.Г. Инишев, А.Н. Рудой, В.А. Земцов, Д.А. Вершинин // Докл. Акад. наук. – 2015. – Т. 461, № 2. – С. 220–222.
3. Jorgen Herget. Reconstruction of Pleistocene ice-dammed lake outburst floods in the mountains, Siberia // The

geological society of America. – Boulder, Colorado, USA, 2005. – 118 p.

4. Baker V.R. Extreme Events and Catastrophism in Geomorphology: Some Historical and Philosophical Perspectives // Gradualism vs Catastrophism in Landscape Evolution. Extended abstracts of International conference. Barnaul: Publishing House of Altai State University, 2015. – P. 9–12.

5. Ресурсы поверхностных вод СССР. Основные гидрологические характеристики. В 20 т. – Л.: Гидрометеиздат, 1969. – Т. 15, вып. 1, ч. 1. – 316 с.

6. Pozdnyakov A.V., Borodavko P.S. Algorithm of natural cataclysm in SE Altai at the Pleistocene / Holocene boundary and its effects on geosystems dynamics // Gradualism vs Catastrophism in Landscape Evolution. Extended abstracts of International conference. – Barnaul: Publishing House of Altai State University, 2015. – P. 55–60.

7. Зольников И.Д. Гляциальные суперпаводки на территории Горного Алтая в четвертичном периоде: условия формирования и геологические признаки / И.Д. Зольников, Е.В. Деев // Криосфера Земли. – 2013. – Т. XVII, № 4. – С. 74–82.

8. Поздняков А.В., Тимофеев Д.А. Происхождение гляциального рельефа Курайской котловины Горного Алтая // Геоморфология. – 2007. – № 2. – С. 78–89.

9. Поздняков А.В., Хон А.В. О генезисе «гигантской ряби» в Курайской котловине Горного Алтая // Вестник Томского государственного университета. – 2001. – Т. 274. – С. 24–33.

References

1. Okishev P.A. Rekonstrukcii «fluvialnykh katastrof» v gorah juzhnoj Sibiri i ih parametry / P.A. Okishev, P.S. Borodavko // Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. 2001. no. 274. pp. 3–12.
2. Inishev N.G. Pervaja kompjuternaja model techenij v mezhgornoj kotlovine pri sbrose lednikovo-podprudnogo ozera (na primere Kurajskoj kotloviny, Gornyj Altaj) / N.G. Inishev, A.N. Rudoj, V.A. Zemcov, D.A. Vershinin // Dokl. Akad. nauk. 2015. T. 461, no. 2. pp. 220–222.
3. Jorgen Herget. Reconstruction of Pleistocene ice-dammed lake outburst floods in the mountains, Siberia // The geological society of America. Boulder, Colorado, USA, 2005. 118 p.
4. Baker V.R. Extreme Events and Catastrophism in Geomorphology: Some Historical and Philosophical Perspectives // Gradualism vs Catastrophism in Landscape Evolution. Extended abstracts of International conference. Barnaul: Publishing House of Altai State University, 2015. pp. 9–12.
5. Resursy poverhnostnyh vod SSSR. Osnovnye gidrologicheskie harakteristiki. V 20 t. L.: Gidrometeoizdat, 1969. T. 15, vyp.1, ch. 1. 316 p.
6. Pozdnyakov A.V., Borodavko P.S. Algorithm of natural cataclysm in SE Altai at the Pleistocene / Holocene boundary and its effects on geosystems dynamics // Gradualism vs Catastrophism in Landscape Evolution. Extended abstracts of International conference. Barnaul: Publishing House of Altai State University, 2015. pp. 55–60.
7. Zolnikov I.D. Glacialnye superpavodki na territorii Gornogo Altaja v chetvertichnom periode: uslovija formirovaniya i geologicheskie priznaki / I.D. Zolnikov, E.V. Deev // Kriosfera Zemli. 2013. T. XVII, no. 4. pp. 74–82.
8. Pozdnyakov A.V., Timofeev D.A. Proishozhdenie gradovogo relefa Kurajskoj kotloviny Gornogo Altaja // Geomorfologija. 2007. no. 2. pp. 78–89.
9. Pozdnyakov A.V., Hon A.V. O genezise «gigantskoj rjab» v Kurajskoj kotlovine Gornogo Altaja // Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. 2001. T. 274. pp. 24–33.