

Двухлетний импакт-фактор РИНЦ – 0,736

Пятилетний импакт-фактор РИНЦ – 0,258

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 электронному каталогу «Почта России» – П7816

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР

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

ЗАМ. ГЛАВНОГО РЕДАКТОРА

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

Чернева Ирина Николаевна, к.с.-х.н.

Ответственный секретарь редакции

Бизенкова Мария Николаевна, к.м.н.

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

д.с.-х.н., доцент Абдулвалеев Р.Р. (Уфа); д.г.-м.н., проф., Абилахасимов Х.Б. (Астатна); д.т.н., проф. Айдовосов А. (Алматы); д.с.-х.н., проф. Алабушев А.В. (Зерноград); д.г.-м.н., проф., Алексеев С.В. (Иркутск); д.х.н., проф., Алоев В.З. (Нальчик); д.г.н., проф. Андреев С.С. (Ростов-на-Дону); д.г.н., доцент, Андреева Е.С. (Ростов-на-Дону); д.с.-х.н., доцент Анищенко Л.Н. (Брянск); д.с.-х.н., проф. Байрамбеков Ш.Б. (Камызяк); д.т.н., проф. Бейсембаев К.М. (Караганда); д.т.н., проф. Белозеров В.В. (Ростов-на-Дону); д.б.н., доцент Белоус О.Г. (Сочи); д.с.-х.н., проф. Берсон Г.З. (Великий Новгород); д.г.-м.н., проф. Бондарев В.И. (Екатеринбург); д.т.н., профессор Галкин А.Ф. (Ухта); д.г.-м.н., проф. Гавришин А.И. (Новочеркасск); д.с.-х.н., Горбачева А.Г. (Пятигорск); д.с.-х.н., Горянин О.И. (Самара); д.г.-м.н., проф. Гусев А.И. (Бийск); д.с.-х.н., проф. Данилин И.М. (Красноярск); д.б.н., доцент Долгов А.В. (Мурманск); д.э.н., проф. Долятовский В.А. (Ростов-на-Дону); д.х.н., проф. Дресвянников А.Ф. (Казань); д.г.н., проф. Егорина А.В. (Усть-Каменогорск); д.т.н., проф. Ерофеев В.И. (Томск); д.с.-х.н., проф. Залесов С.В. (Екатеринбург); д.с.-х.н., доцент Захарченко А.В. (Томск); д.с.-х.н., проф. Зволинский В.П. (Волгоград); д.х.н., проф. Ивашкевич А.Н. (Москва); д.б.н., доцент Кавцевич Н.Н. (Мурманск); д.т.н., проф. Калякин С.А. (Донецк); д.с.-х.н., проф. Караев М.К. (Махачкала); д.г.-м.н., проф. Кашаев А.А. (Иркутск); д.ф.-м.н., проф. Кобрунов А.И. (Ухта); д.г.-м.н., доцент Копылов И.С. (Пермь); д.г.-м.н., проф. Костицын В.И. (Пермь); д.с.-х.н., проф. Костылев П.И. (Зерноград); д.э.н., проф. Косякова И.В. (Самара); д.с.-х.н., Коцарева Н.В. (Белгород); д.т.н., доцент Кузьяков О.Н. (Тюмень); д.г.-м.н., проф. Кучеренко И.В. (Томск); д.б.н., проф. Ларионов М.В. (Саратов); д.г.-м.н., проф. Лебедев В.И. (Кызыл); д.ф.-м.н., проф. Лерер А.М. (Ростов-на-Дону); д.г.н., проф. Луговской А.М. (Москва); д.г.-м.н., проф. Мельников А.И. (Иркутск); д.т.н., проф. Мусаев В.К. (Москва); д.т.н., доцент Нехорошева А.В. (Ханты-Мансийск); д.с.-х.н., Никитин С.Н. (Ульяновск); д.с.-х.н., Оказова З.П. (Владикавказ); д.с.-х.н., проф. Партоев К. (Душанбе); д.с.-х.н., проф. Петелько А.И. (Мценск); д.т.н., проф. Петров М.Н. (Красноярск); д.т.н., проф. Пирумян Г.П. (Ереван); д.с.-х.н., проф. Проездов П.Н. (Саратов); д.г.-м.н., проф. Сакиев К.С. (Бишкек); д.б.н., Сибикеев С.Н. (Саратов); д.с.-х.н., доцент Сокольская О.Б. (Саратов); д.т.н., проф. Степанов В.В. (Санкт-Петербург); д.т.н., проф. Тарасенко А.А. (Тюмень); д.т.н. Теплухин В.К. (Октябрьский); д.э.н., проф. Титов В.А. (Москва); д.с.-х.н., проф. Титов В.Н. (Саратов); д.с.-х.н., проф. Тихановский А.Н. (Салехард); д.г.-м.н., проф. Трофименко С.В. (Нерюнгри); д.т.н., проф. Ульрих Е.В. (Кемерово); д.г.н., проф. Чодураев Т.М. (Бишкек); д.с.-х.н., проф. Шамшиев Б.Н. (Ош); д.т.н., проф. Шантарин В.Д. (Тюмень); д.т.н., проф. Шатов А.А. (Уфа); д.ф.-м.н., проф. Ширапов Д.Ш. (Улан-Удэ); д.т.н., проф. Шишелова Т.И. (Иркутск); д.ф.-м.н., проф. Шугунов Л.Ж. (Нальчик); д.г.-м.н., проф. Юргенсон Г.А. (Чита); д.г.н., проф. Яковенко Н.В. (Воронеж); д.т.н., проф. Ямалетдинова К.Ш. (Челябинск)

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

Свидетельство – **ПИ № ФС 77-63398.**

Все публикации рецензируются. Доступ к электронной версии журнала бесплатный.

Двухлетний импакт-фактор РИНЦ – 0,736.

Пятилетний импакт-фактор РИНЦ – 0,258.

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

Журнал включен в Реферативный журнал и Базы данных ВИНИТИ.

Учредитель, издательство и редакция:
ООО ИД «Академия Естествознания»

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

Адрес редакции: 440026, Пензенская область, г. Пенза, ул. Лермонтова, 3

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

Подписано в печать – 10.01.2020

Дата выхода номера – 10.02.2020

Формат 60x90 1/8

Типография

ООО «Научно-издательский центр

Академия Естествознания»,

410035, Саратовская область, г. Саратов, ул. Мамонтовой, 5

Техническая редакция и верстка

Байгузова Л.М.

Корректор

Галенкина Е.С.

Способ печати – оперативный.

Распространение по свободной цене.

Усл. п.л. 20,75

Тираж – 1000 экз. Заказ. УСЕ/12-2019

Подписной индекс П7816

© ООО ИД «Академия Естествознания»

СОДЕРЖАНИЕ

Сельскохозяйственные науки (06.01.00, 06.03.00)**СТАТЬИ**

ФЕРМЕНТАТИВНАЯ АКТИВНОСТЬ ЧЕРНОЗЕМА ОБЫКНОВЕННОГО
ПРИ РАЗЛОЖЕНИИ СОЛОМЫ В ПОЧВЕ

*Безуглова О.С., Наими О.И., Полиенко Е.А., Лыхман В.А.,
Дубинина М.Н., Поволоцкая Ю.С., Патрикеев Е.С.* 199

МЕЛКОДИСПЕРСНОЕ ОРОШЕНИЕ КАК ОСНОВНОЙ СПОСОБ РЕГУЛИРОВАНИЯ
УРОЖАЙНОСТИ, ВОДНО-ВОЗДУШНОГО И ТЕПЛОВОГО РЕЖИМОВ
В АГРОЦЕНОЗЕ ЧАЙНЫХ ПЛАНТАЦИЙ АДЫГЕИ

Добежина С.В., Туов М.Т., Пчихачев Э.К., Шишихов М.Б. 205

ВЛИЯНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ
И РЕГУЛЯТОРОВ РОСТА РАСТЕНИЙ НА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ
ПОКАЗАТЕЛИ КАЧЕСТВА ЗЕРНА ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ

Жеруков Т.Б., Кишев А.Ю., Тутукова Д.А. 211

ВЛИЯНИЕ АЛЮМОКИСЛОГО СТРЕССА НА МОРФО-БИОЛОГИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ
ГЕНОТИПОВ ОЗИМОЙ РЖИ

Кедрова Л.И., Уткина Е.И., Шляхтина Е.А., Парфенова Е.С., Шамова М.Г. 218

ФОРМИРОВАНИЕ ЛЕСОМЕЛИОРАТИВНЫХ КОМПЛЕКСОВ С УЧАСТИЕМ ТОПОЛЯ
БАЛЬЗАМИЧЕСКОГО В ЦЕНТРАЛЬНОМ ЧЕРНОЗЕМЬЕ РОССИИ

Михин В.И., Михина Е.А., Михина В.В. 224

КОМПОНЕНТНЫЙ СОСТАВ ЙОДНАКОПИТЕЛЬНЫХ СОРТОВ ЛИСТОВОГО САЛАТА
В УСЛОВИЯХ ЗАЩИЩЕННОГО ГРУНТА

Олива Т.В., Манохина Л.А., Кузьмина Е.А. 229

СЕЛЕКЦИОННАЯ ОЦЕНКА СОРТООБРАЗЦОВ И ЛИНИЙ ЯРОВОЙ ТВЁРДОЙ ПШЕНИЦЫ
В ЗАСУШЛИВЫХ УСЛОВИЯХ НИЖНЕГО ПОВОЛЖЬЯ

*Шьюрова Н.А., Субботин А.Г., Жужукин В.И.,
Нарушев В.Б., Мухатова Ж.Н., Башинская О.С.* 236

Науки о Земле (25.00.00)**СТАТЬИ**

РАЗВИТИЕ ГОРОДСКИХ ПОСЕЛЕНИЙ НИЖЕГОРОДСКОЙ ОБЛАСТИ

Аракчеева О.В., Кривдина И.Ю. 243

СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ДИАГНОСТИКИ ФАКТИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ УСТАНОВОК
ЭЛЕКТРОЦЕНТРОБЕЖНЫХ НАСОСОВ

Большунов А.В. 249

ПРИКАСПИЙСКАЯ ВПАДИНА И ЕЕ ОТОБРАЖЕНИЕ В ГЕОФИЗИЧЕСКИХ АНОМАЛИЯХ

Волкова Е.Н. 254

ПЕРСПЕКТИВЫ РАСШИРЕНИЯ СЫРЬЕВОЙ БАЗЫ ЗОЛОТО-СЕРЕБРЯНОГО
МЕСТОРОЖДЕНИЯ СЕНТЯБРЬСКОЕ СВ (ЧУКОТСКИЙ АВТОНОМНЫЙ ОКРУГ)

Гребенникова А.А. 260

ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕПЛОАККУМУЛИРУЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ
ГРУНТОВОГО ОСНОВАНИЯ ДЛЯ ПОДДЕРЖАНИЯ ТЕПЛОЭКОНОМНОГО
РЕЖИМА ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ЛИНЕЙНЫХ ОБЪЕКТОВ
ПОДЗЕМНОГО ГОРОДСКОГО ТРАНСПОРТА

Губеладзе О.А., Денисов О.В., Андреева Е.С. 266

ПРОСТРАНСТВЕННАЯ ДИФФЕРЕНЦИАЦИЯ ПРИРОДНЫХ И АНТРОПОГЕННЫХ
КОМПОНЕНТОВ ЛАНДШАФТНОЙ СТРУКТУРЫ ЮЖНОГО ПРЕДУРАЛЬЯ

Дубровская С.А., Ряхов Р.В.272

ВЫЯВЛЕНИЕ ТЕНДЕНЦИЙ В ЭКОЛОГО-ГИДРОХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВАХ
МАЛЫХ ПРОТОЧНЫХ ВОДОТОКОВ В УСЛОВИЯХ ТЕХНОГЕННОЙ НАГРУЗКИ
ГОРОДА НИЖНЕГО НОВГОРОДА

*Козлов А.В., Клочков Е.А., Бодякина М.А.,
Береснев А.А., Калинин З.С., Фирова А.А.*280

ХАРАКТЕРИСТИКА СОСТАВА ПОДЗОЛИСТОЙ ПОЧВЫ ОНЕЖСКОГО РАЙОНА

Кузнецова И.А., Мироненко К.А., Бедрин Д.Д.288

ИЗМЕРЕНИЕ КООРДИНАТ ПО СПУТНИКОВЫМ СНИМКАМ
ВДОЛЬ РУСЛА МАЛОЙ РЕКИ ИРОВКА В РЕСПУБЛИКЕ МАРИЙ ЭЛ

Мазуркин П.М., Георгиева Я.О.294

ИЗУЧЕНИЕ СОСТАВА СООБЩЕСТВА МИКРООРГАНИЗМОВ, ВЫДЕЛЕННОГО ИЗ КЕКА
ФИЛЬТРАЦИИ ПОСЛЕ ПЕРЕРАБОТКИ СУЛЬФИДНОЙ ЗОЛОТОСОДЕРЖАЩЕЙ РУДЫ

Пашикевич Р.И., Хайнасова Т.С.301

УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ ОТЛОЖЕНИЙ МОРСКИХ ИЗОТОПНЫХ СТАДИЙ 11-9
ОСТРОВА КУНАШИР (КУРИЛЫ)

Пушкар В.С., Микишин Ю.А.308

К ПРОБЛЕМЕ ОЦЕНКИ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ
МАЛОИНФОРМАТИВНЫХ ОБЪЕКТОВ

Сайфутдинов А.И., Ямалетдинова К.Ш., Янчушка А.П.315

ПРИРОДНО-РЕСУРСНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ РЕСПУБЛИКИ БАШКОРТОСТАН:
ОЦЕНКА, ТЕНДЕНЦИИ, ПРОБЛЕМЫ

Сафиуллин М.Р.321

ИЗУЧЕНИЕ БИОРАЗНООБРАЗИЯ РАСТЕНИЙ ЗАКАЗНИКА РЕГИОНАЛЬНОГО ЗНАЧЕНИЯ
«ИРТАКЛИНСКИЙ» СТЕПНОВСКОГО РАЙОНА СТАВРОПОЛЬСКОГО КРАЯ

Степаненко Е.Е., Зеленская Т.Г., Стукало В.А., Окрут С.В., Друп В.Д.327

ВОССТАНОВЛЕНИЕ ПРОЗРАЧНОСТИ ВОДЫ В ПОВЕРХНОСТНОМ СЛОЕ ОЗЕРА БАЙКАЛ
ПО ДАННЫМ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ

Сутырина Е.Н.333

РАЙОНИРОВАНИЕ ПРИБРЕЖНОЙ ТЕРРИТОРИИ ТИХООКЕАНСКОЙ РОССИИ
ПО СОЧЕТАНИЮ МИНЕРАЛЬНЫХ РЕСУРСОВ

Ткаченко Г.Г.339

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАДОНООПАСНОСТИ ТЕРРИТОРИЙ НЕКОТОРЫХ
ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКИХ СТРУКТУР ЗАПАДНО-СИБИРСКОЙ НИЗМЕННОСТИ

Токарева А.Ю., Алимова Г.С.347

ОБЗОРЫ

РОЛЬ РАЗНООБРАЗИЯ ПРИРОДНЫХ МИКРОБНЫХ СООБЩЕСТВ В ЦИКЛЕ УГЛЕРОДА
В ВОДАХ ЮЖНОГО ОКЕАНА

*Пономарева А.Л., Бакунина М.С., Еськова А.И.,
Дубовчук С.С., Шакиров Р.Б., Обжиров А.И.*353

CONTENTS

Agricultural sciences (06.01.00, 06.03.00)

ARTICLES

ENZYMATIC ACTIVITY OF ORDINARY BLACK EARTH DURING DECOMPOSITION OF STRAW IN THE SOIL

*Bezuglova O.S., Naimi O.I., Polienko E.A., Lykhman V.A.,
Dubinina M.N., Povolotskaya Yu.S., Patrikeev E.S.* 199

FINE IRRIGATION AS THE MAIN TOOL FOR PRODUCTIVITY, WATER-AIR AND HEAT REGULATION WITHIN AGRICENOSIS OF TEA PLANTATIONS IN ADYGEA REGION

Dobezhina S.V., Tuov M.T., Pchikhachev E.K., Shishkhov M.B. 205

EFFECT OF USING MINERAL FERTILIZERS AND PLANT GROWTH REGULATORS UPON TECHNOLOGICAL INDEXES OF WINTER WHEAT KERNEL QUALITY

Zherukov T.B., Kishev A.Yu., Tutukova D.A. 211

EFFECT OF ALUMINIUM-ACID STRESS UPON MORPHO-BIOLOGICAL INDICES OF WINTER RYE GENOTYPES

Kedrova L.I., Utkina E.I., Shlyakhtina E.A., Parfenova E.S., Shamova M.G. 218

FORMATION OF FOREST RECLAMATION COMPLEXES WITH BALSAMIC POPLAR IN THE CENTRAL BLACK EARTH REGION OF RUSSIA

Mikhin V.I., Mikhina E.A., Mikhina V.V. 224

COMPONENT COMPOSITION OF IODINE-ACCUMULATIVE VARIETIES OF LETTUCE IN GREENHOUSE CONDITIONS

Oliva T.V., Manokhina L.A., Kuzmina E.A. 229

SELECTIVE EVALUATION OF GRADE SAMPLES AND LINES OF SPRING HARD WHEAT IN DRY CONDITIONS OF LOWER VOLGA REGION

*Shyurova N.A., Subbotin A.G., Zhuzhukin V.I.,
Narushev V.B., Mukhatov Zh.N., Bashinskaya O.S.* 236

Earth sciences (25.00.00)

ARTICLES

DEVELOPMENT OF URBAN SETTLEMENTS OF NIZHNY NOVGOROD REGION

Arakcheeva O.V., Krivdina I.Yu. 243

MODERN METHODS FOR DIAGNOSING THE ACTUAL STATE OF ELECTRIC CENTRIFUGAL PUMP INSTALLATIONS

Bolshunov A.V. 249

CIS-CASPIAN DEPRESSION AND ITS REFLECTION IN GEOPHYSICAL ANOMALIES

Volkova E.N. 254

THE PROSPECTS OF EXPANDING THE RAW MATERIALS SOURCE OF GOLD-SILVER DEPOSIT Sentyaborskoe SV (CHUKOTKA AUTONOMOUS AREA)

Grebennikova A.A. 260

THE POSSIBILITY OF USING THE HEAT STORAGE CAPACITY OF THE SOIL BASE TO MAINTAIN THE HEAT-EFFICIENT MODE OF OPERATION OF LINEAR OBJECTS OF UNDERGROUND URBAN TRANSPORT

Gubeladze O.A., Denisov O.V., Andreeva E.S. 266

SPATIAL DIFFERENTIATION OF NATURAL AND ANTHROPOGENIC STRUCTURE COMPONENTS OF THE SOUTHERN PRE-URAL LANDSCAPES

Dubrovskaya S.A., Ryakhov R.V. 272

IDENTIFICATION OF TRENDS IN ECOLOGY-HYDROCHEMICAL PROPERTIES OF SMALL FLOW WATERCOURSES UNDER MAN-MADE LOAD OF THE NIZHNY NOVGOROD CITY

Kozlov A.V., Klochkov E.A., Bodyakshina M.A., Beresnev A.A., Kalinicheva Z.S., Firova A.A.280

CHARACTERISTICS OF THE COMPOSITION OF PODZOLIC SOIL OF ONEGA REGION

Kuznetsova I.A., Mironenko K.A., Bedrina D.D.288

MEASUREMENT OF COORDINATES BY SATELLITE IMAGES ALONG THE CHANNEL OF THE SMALL RIVER IROVKA IN THE REPUBLIC OF MARI EL

Mazurkin P.M., Georgieva Ya.O.294

STUDY OF THE COMPOSITION OF THE MICROORGANISM COMMUNITY ISOLATED FROM THE FILTRATION CAKE OBTAINED FROM THE PROCESSING OF GOLD BEARING ORE

Pashkevich R.I., Khaynasova T.S.301

CONDITIONS OF THE KUNASHIRI ISLAND (KURILE) DEPOSITION OF MARINE ISOTOPE STAGES 11-9

Pushkar V.S., Mikishin Yu.A.308

TO THE PROBLEM OF TECHNICAL CONDITION ASSESSMENT UNINFORMATIVE OBJECTS

Sayfutdinov A.I., Yamaletdinova K.Sh., Yanchushka A.P.315

NATURAL RESOURCE POTENTIAL OF THE REPUBLIC OF BASHKORTOSTAN: ASSESSMENT, TRENDS, PROBLEMS

Safullin M.R.321

STUDYING PLANT BIODIVERSITY OF THE ORGANIZATION OF REGIONAL IMPORTANCE «IRGAKLINSKY» OF STEPNOVSKY DISTRICT OF STAVROPOL REGION

Stepanenko E.E., Zelenskaya T.G., Stukalo V.A., Okrut S.V., Drup V.D.327

RETRIEVAL OF WATER TRANSPARENCY IN THE SURFACE LAYER OF LAKE BAIKAL FROM REMOTE SENSING DATA

Sutyryna E.N.333

ZONING OF THE COASTAL TERRITORY OF PACIFIC RUSSIA BY COMBINATION OF MINERAL RESOURCES

Tkachenko G.G.339

COMPARATIVE CHARACTERISTICS OF RADON HAZARD OF TERRITORIES OF SOME GEOMORPHOLOGICAL STRUCTURES OF THE WEST SIBERIAN LOWLAND

Tokareva A.Yu., Alimova G.S.347

REVIEWS

THE ROLE OF DIVERSITY OF NATURAL MICROBIAL COMMUNITIES IN THE CARBON CYCLE IN THE SOUTHERN OCEAN

Ponomareva A.L., Bakunina M.S., Eskova A.I., Dubovchuk S.S., Shakirov R.B., Obzhairov A.I.353

СТАТЬИ

УДК 631.46:631.87

**ФЕРМЕНТАТИВНАЯ АКТИВНОСТЬ ЧЕРНОЗЕМА ОБЫКНОВЕННОГО
ПРИ РАЗЛОЖЕНИИ СОЛОМЫ В ПОЧВЕ**

^{1,2}Безуглова О.С., ¹Наими О.И., ¹Полиенко Е.А., ¹Лыхман В.А.,

¹Дубинина М.Н., ¹Поволоцкая Ю.С., ¹Патрикеев Е.С.

¹ФГБНУ «Федеральный Ростовский аграрный научный центр», Ростовская обл., п. Рассвет,
e-mail: o.naimi@mail.ru;

²ФГАОУ ВО «Южный федеральный университет», Ростов-на-Дону, e-mail: lola314@mail.ru

В условиях лабораторного эксперимента изучалась ферментативная активность чернозема обыкновенного в процессе разложения внесенной в него соломы и влияние на нее гуминовых препаратов и компенсирующей дозы минерального азота. Эксперимент проводился в контролируемых условиях температуры и влажности, длился 12 месяцев и включал 4 варианта в трех повторностях. Цель работы – определить влияние внесения в почву гуминового препарата на ферментативную активность почвы и степень разложения соломы. Определяли ферменты из группы оксидаз и гидролаз: каталазу, инвертазу, фосфатазу. Степень разложения соломы контролировали по разложению целлюлозы. Показано, что внесение соломы в почву ведет к увеличению ее ферментативной активности. Обработка гуминовыми препаратами увеличивает скорость процессов разложения соломы и повышает биологическую активность почв, а внесение минерального азота дает дополнительное питание почвенным микроорганизмам, что увеличивает их активность в процессах биотрансформации растительных остатков. Выявлено существенное увеличение уровня ферментативной активности чернозема обыкновенного в варианте с обработкой модифицированным гуминовым препаратом БЮ-Дон-15, обогащенным культурой *Clostridium*. Максимальных величин в этом варианте достигли активность каталазы – 12,3 мл О₂/1 мин и активность инвертазы – 27,8 мг глюкозы на 1 г почвы/24 ч. Процент разложения целлюлозы был максимальным в варианте с внесением компенсирующей дозы минерального азота – 74,2%. Установлена положительная корреляция уровня инвертазной активности с содержанием гумуса в почве (коэффициент корреляции 0,67) и отрицательная – между активностью фосфатазы и содержанием подвижного фосфора (коэффициент корреляции – 0,80).

Ключевые слова: чернозем обыкновенный, солома, ферментативная активность, каталаза, инвертаза, фосфатаза, целлюлаза, гуминовые препараты

**ENZYMATIC ACTIVITY OF ORDINARY BLACK EARTH DURING
DECOMPOSITION OF STRAW IN THE SOIL**

^{1,2}Bezuglova O.S., ¹Naimi O.I., ¹Polienko E.A., ¹Lykhman V.A.,

¹Dubinina M.N., ¹Povolotskaya Yu.S., ¹Patrikeev E.S.

¹Federal Rostov Agricultural Research Center, Rostov Region, Rassvet, e-mail: o.naimi@mail.ru;

²Southern Federal University, Rostov-on-Don, e-mail: lola314@mail.ru

Enzymatic activity of black earth was studied within the process of decomposition of straw, introduced into the soil, as well as influence of humic preparations and a compensating dose of nitrogen under conditions of laboratory experiment. The experiment was conducted within controlled conditions of temperature and humidity, it lasted for 12 months and included 4 variants in three replicates. The objective of this work is to determine the effect of applying humic preparation upon enzymatic activity of the soil and degree of decomposition of straw. Enzymes from the group of oxidases and hydrolases were determined: catalase, invertase, phosphatase. Degree of decomposition of straw was controlled by the decomposition of cellulose. It is shown that the introduction of straw into the soil leads to an increase of its enzymatic activity. Treatment with humic preparations increases rate of decomposition of straw and increases biological activity of soils. Addition of mineral nitrogen gives additional nutrition to soil microorganisms, which increases their activity within biotransformation of plant residues. It was shown that treatment with modified humic preparation BIO-Don-15 with *Clostridium* culture significantly increased level of enzymatic activity of soil. The maximum values in this variant were registered for catalase activity – 12.3 ml O₂ / 1 min and invertase activity – 27.8 mg glucose per 1 g soil / 24 h. Percentage of cellulose decomposition was maximal for the variant with mineral nitrogen – 74.2%. A positive correlation was found between the invertase activity level and soil humus content (correlation coefficient 0.67) and negative correlation – between phosphatase activity and mobile phosphorus content (correlation coefficient – 0.80).

Keywords: black earth, straw, enzymatic activity, catalase, invertase, phosphatase, cellulase, humic preparations

Запашка соломы в почву является наиболее экологически приемлемым и эффективным способом утилизации побочной продукции растениеводства, при котором, в отличие от сжигания, не происходит загрязнения атмосферы окислами углерода

и азота. Внесение в почву соломы и пожнивных остатков зерновых культур является реальным средством пополнения органического вещества в почвах агроценозов в условиях отрицательного баланса гумуса в земледелии. При этом повышается пло-

дородие почвы, увеличивается ее биологическая активность, растет урожайность выращиваемых культур [1, 2]. Однако применение соломы в качестве органического удобрения ограничивается низкой скоростью ее разложения в почве, что обусловлено широким соотношением содержания углерода и азота входящих в ее состав органических веществ – целлюлозы, лигнина и кремнийорганических соединений. При разложении соломы в почве создается дефицит минерального азота, могут выделяться фитотоксичные соединения и накапливаться фитопатогены [3, 4]. Для получения положительного эффекта от внесения соломы необходимо обеспечить условия для ускорения процессов ее разложения. Известно, что внесение 10 кг/т минерального азота обеспечивает активное функционирование микрофлоры, участвующей в биотрансформации соломы. Обработка соломы различными биологическими препаратами, в том числе гуминовыми, также позволяет ускорить процессы ее минерализации и гумификации [4–6].

Важнейшую роль в процессах разложения соломы и образования гумуса в почве играют природные биокатализаторы – ферменты. Почвенные ферменты представляют собой высокомолекулярные белковые вещества – продукты метаболизма почвенного биоценоза. Они образуются в результате жизнедеятельности почвенной мезо- и микрофауны, прижизненных растительных корневых выделений, а также поступают в почву после отмирания высших растений и почвенных организмов [7, 8]. Ферментам свойственна высокая активность, которая сохраняется довольно продолжительное время, специфичность воздействия и зависимость от факторов внешней среды – влажности почв, температуры, кислотности (рН), химического и физического состава и т.д. [9].

Принимая участие в разложении остатков растений и микроорганизмов, синтезе и распаде гумуса, гидролизе органических соединений, ферменты могут быть индикаторами скорости разложения соломы в почве. В связи с этим целью нашей работы являлось изучение ферментативной активности чернозема обыкновенного в процессе разложения соломы в почве и влияние на нее обработки гуминовыми препаратами.

Материалы и методы исследования

Изучение ферментативной активности почв проводилось в условиях лабора-

торного эксперимента. Почву – чернозем обыкновенный карбонатный – из пахотного слоя смешивали с соломой озимой пшеницы (из расчета 6 т/га), измельченной до 2–3 см, и компостировали при температуре 20–22 °С и влажности почвы 60% от ПВ.

Опыт был заложен в трехкратной повторности и включал следующие варианты:

- 1 – почва + солома (контроль);
- 2 – почва + солома + гуминовый препарат ВЮ-Дон;
- 3 – почва + солома + гуминовый препарат ВЮ-Дон-15;
- 4 – почва + солома + минеральный азот (аммиачная селитра) из расчета 10 кг/т.

Обработка гуминовыми препаратами проводилась при закладке опыта. ВЮ-Дон – гуминовый препарат на основе вермикомпоста, содержит 2 г/л органического вещества гуминовых и фульвокислот. ВЮ-Дон-15 – модифицированный гуминовый препарат, обогащенный культурой *Clostridium*.

Образцы почв отбирались по истечении 1, 3, 5, 7, 9 и 12 месяцев компостирования почвы с соломой. Активность каталазы, инвертазы и фосфатазы определяли методами А.Ш. Галстяна [9]. Для определения целлюлазной активности почвы был использован аппликационный метод [10]. Результаты обработаны методами статистического анализа с помощью программы Excel; в тексте статьи и на графиках приведены средние величины.

Результаты исследования и их обсуждение

Ферментативная активность является наиболее стабильным параметром среди показателей, характеризующих биологическую активность почв [11]. Ферментативный состав почв весьма разнообразен и существенно меняется в пространстве и во времени. Черноземы характеризуются достаточно высоким уровнем активности изучаемых ферментов [12, 13]. В данном исследовании биологическое состояние чернозема обыкновенного оценивалось по активности ферментов двух классов: окислительно-восстановительных или оксидоредуктаз (каталазы) и гидролитических или гидролаз (инвертазы, фосфатазы и целлюлазы), активность которых является важнейшим показателем биологической активности почв и оценки антропогенного воздействия на них.

Каталаза относится к классу оксидоредуктаз. Она разрушает токсичную для растений перекись водорода, которая обра-

зуются в процессе их дыхания, в результате биохимических реакций окисления органических соединений и в процессе метаболизма аэробных организмов, в том числе целлюлозоразлагающих бактерий [9, 12].

Органическое вещество почв является одним из важнейших факторов, регулирующих активность каталазы в почве. Согласно работам некоторых авторов, активность каталазы возрастает при внесении соломы в почву, поскольку в процессе ее разложения увеличивается численность аэробной микрофлоры, образующих перекись в результате своей жизнедеятельности [5, 13]. Внесение соломы стимулирует протекание окислительно-восстановительных процессов в почве, что также оказывает влияние на активность каталазы.

До внесения соломы и обработки гуминовыми препаратами активность каталазы в черноземе в среднем составляла 7,9 мл O_2 /1 г/1 мин. В течение пяти месяцев компостирования почвы с соломой активность каталазы увеличивалась по всем вариантам, однако почва остается в разряде среднеобеспеченных по шкале Звягинцева [11]. После семи месяцев компостирования темпы повышения активности каталазы возрастают и почвы переходят в категорию высокообогатенных. По всем срокам наблюдения активность каталазы была наименьшей в контрольном варианте. Внесение гуминовых препаратов и азота стимулирует активность каталазы, особенно в варианте 3, где применялся гуминовый препарат Био-Дон-15. На этом варианте к концу опыта активность каталазы составила 12,3 мл O_2 /1 мин, что

превысило контроль на 0,7 мл, а вариант с минеральным азотом – на 0,2 мл (рис. 1).

За 12 месяцев компостирования активность каталазы на контроле увеличилась на 31,9%, на вариантах с гуминовыми препаратами Био-Дон и Био-Дон-15 соответственно на 34,2% и 35,8%, а на варианте с минеральным азотом – на 34,8%.

Гидролазы представляют собой обширный класс широко распространенных в почвах ферментов. Они осуществляют реакции гидролиза высокомолекулярных органических соединений, действуя на различные связи (гликозидные, пептидные, амидные) и играют важную роль в обогащении почв доступными питательными веществами [4, 9].

Инвертаза осуществляет гидролитическое расщепление сахарозы и ее производных по гликозидным связям до мономеров. Активность инвертазы определяется уровнем содержания органического вещества в почве и убывает по профилю, коррелируя с содержанием гумуса. Она в значительной степени отражает содержание в почве легкогидролизуемых углеводов, являющихся энергетическим материалом для многих почвенных гетеротрофов [11]. Некоторыми авторами отмечалась связь активности инвертазы с метаболической активностью почвенных микроорганизмов, что свидетельствует о преобладании в почве инвертазы микробного происхождения, однако активность инвертазы является более устойчивым показателем по сравнению с численностью микроорганизмов в почве, подверженной большим колебаниям [7].

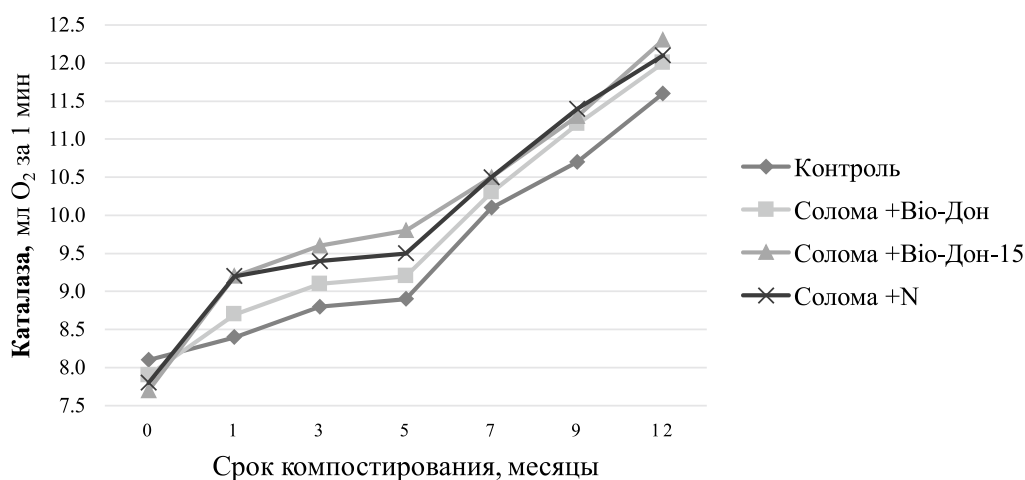


Рис. 1. Динамика активности каталазы в черноземе при разложении соломы

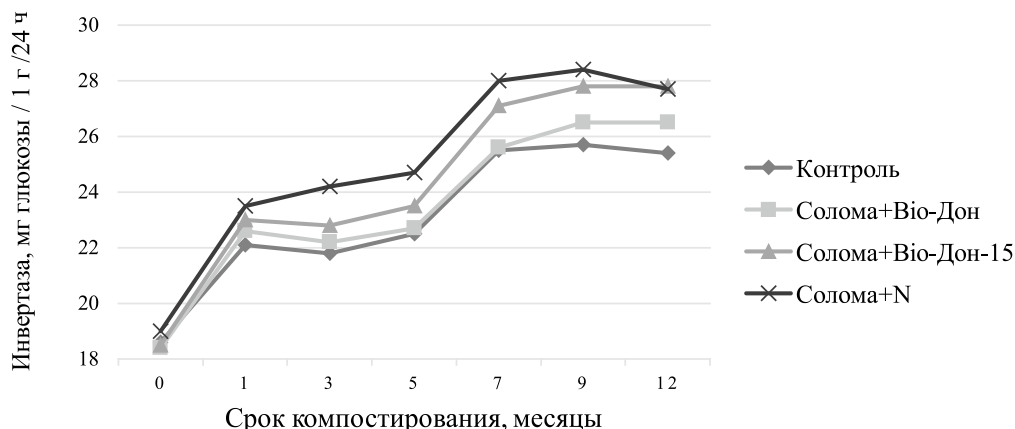


Рис. 2. Динамика активности инвертазы в черноземе при разложении соломы

Солома содержит большое количество углеводов и близких к ним соединений (до 60% от биомассы). Ее внесение в почву при благоприятном сочетании температуры и влажности стимулировало развитие пула гетеротрофных организмов и способствовало гидролизу легкодоступных углеводов, что выразилось в повышении инвертазной активности почвы. До внесения соломы уровень активности инвертазы в почве составлял в среднем 18,6 мг глюкозы на 1 г почвы за 24 ч. Через месяц компостирования активность инвертазы выросла во всех вариантах опыта. Наибольший рост наблюдался в вариантах 3 и 4 – 23,0 и 23,5 мг глюкозы/1 г/24 ч соответственно (рис. 2).

После семи месяцев компостирования активность инвертазы резко возрастает, а с 7-го по 12-й – находится примерно на одном уровне, что говорит о том, что основная масса внесенной соломы уже «переработана» микроорганизмами (рис. 2). За весь период компостирования наибольший рост активности инвертазы наблюдался в вариантах с гуминовым препаратом ВЮ-Дон-15 и – на 33,5%, тогда как в варианте с минеральным азотом рост активности составил 31,6%, а на контроле – 26,8%. Уровень инвертазной активности положительно коррелирует с содержанием гумуса в почве ($r = 0,67$).

Фосфатаза отвечает за минерализацию органического фосфора, она катализирует гидролиз фосфорорганических соединений по фосфорно-эфирным связям, а активность фосфатазы характеризует интенсивность связанных с этим биохимических

процессов. Этот фермент играет важную роль в обеспечении растений фосфором, высвобождая фосфорную кислоту из органических соединений, поступающих с растительными остатками [7, 9]. При недостатке в почве доступного фосфора происходит дополнительное выделение ферментов микроорганизмами и растениями, что ведет к возрастанию фосфатазной активности. Справедливо и обратное утверждение – при накоплении большого количества подвижного фосфора активность фосфатазы снижается.

Проведенные анализы показали, что в течение первого месяца эксперимента активность фосфатазы резко выросла на всех вариантах. Если до внесения соломы в почву она составляла в среднем 6,2 мг P_2O_5 /100 г почвы/1 ч, то через месяц она варьировала от 8,2 (на контроле) до 8,8 мг P_2O_5 /100 г почвы/1 ч (в варианте с внесением минерального азота). В варианте с обработкой препаратом ВЮ-Дон-15 активность фосфатазы составила 8,6 мг P_2O_5 /100 г/1 ч, что превышает контрольный вариант на 0,4 мг. Затем в течение эксперимента активность фосфатазы снижалась к исходным позициям (рис. 3).

Снижение активности фосфатазы свидетельствует о накоплении доступного фосфора в почве. В результате проведенного корреляционно-регрессионного анализа установлено наличие достоверной обратной связи на достаточно высоком уровне значимости между активностью фосфатазы и содержанием подвижного фосфора ($r = -0,80$), что согласуется с исследованиями других авторов [9, 14].

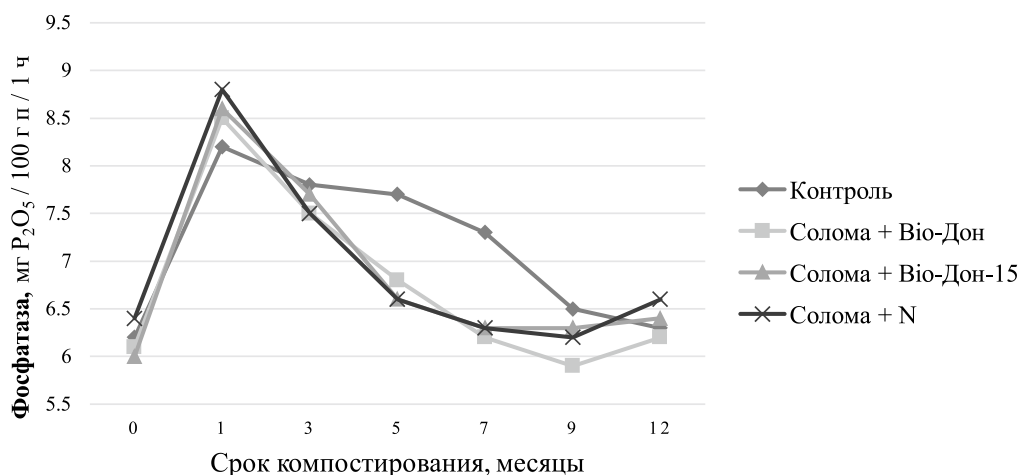


Рис. 3. Динамика активности фосфатазы в черноземе при разложении соломы

Целлюлоза является основной частью растительных организмов и представляет собой важный материал для гумификационных процессов. Содержание ее в растительных остатках достигает 50 и более процентов сухого вещества. Трансформация целлюлозы осуществляется группой микроорганизмов, способных продуцировать фермент целлюлаза. По прошествии двух месяцев с момента внесения раствора гуминовых препаратов «БИО-Дон», «БИО-Дон-15» и минерального азота мы наблюдали достаточно высокую степень разложения целлюлозы. Так, на контроле за два месяца разложилось 39,5% целлюлозы, что можно оценить как среднюю степень разложения по шкале Звягинцева [11]. Применение гуминового препарата БИО-Дон стимулировало процесс разложения соломы, что отразилось на увеличении целлюлазной активности почвы до 45,2%. Значительное увеличение степени разложения целлюлозы – до 65,9% – наблюдалось в варианте 3 с применением биопрепарата БИО-Дон-15, что позволяет оценить интенсивность разрушения клетчатки на этом варианте как сильную. Однако целлюлазная активность на этом варианте все же ниже, чем на варианте с применением минерального азота – 74,2%. Очевидно, внесение азотного удобрения создает более благоприятные условия для питания микроорганизмов, их усиленного развития и размножения и, как следствие, – повышения биологической активности почв.

Закключение

Активность каталазы постоянно растет на протяжении опыта и достигает

максимальных величин в варианте с обработкой гуминовым препаратом БИО-Дон-15 – 12,3 мл O_2 /1 мин.

Активность инвертазы имеет два периода с максимальными темпами роста – в первый месяц и 5–7 месяц компостирования почвы с соломой. За весь период компостирования наибольший рост активности инвертазы наблюдался в вариантах с гуминовым препаратом БИО-Дон-15 – на 33,5%, тогда как в варианте с минеральным азотом рост активности составил 31,6%, а на контроле – 26,8%. Установлена положительная корреляция уровня инвертазной активности с содержанием гумуса в почве с коэффициентом корреляции 0,67.

Активность фосфатазы резко возрастает в первый месяц компостирования, а затем снижается по мере накопления подвижного фосфора в почве. Между активностью фосфатазы и содержанием подвижного фосфора установлено наличие достоверной обратной связи на достаточно высоком уровне значимости ($r = -0,80$).

Процент разложения целлюлозы был максимальным в варианте с внесением компенсирующей дозы минерального азота – 74,2% что превысило контроль на 34,7%, а вариант с гуминовым препаратом БИО-Дон-15 – на 8,3%.

Таким образом, наши исследования экспериментально подтвердили, что внесение соломы в почву ведет к увеличению ее ферментативной активности. Внесение компенсирующей дозы минерального азота дает дополнительное питание почвенным микроорганизмам и повышает их активность в процессах биотрансформации

соломы. Обработка соломы гуминовыми препаратами увеличивает скорость процессов ее разложения, что выражается в росте ферментативной активности почвы. Выявлено существенное увеличение уровня ферментативной активности чернозема обыкновенного в варианте с обработкой модифицированным гуминовым препаратом ВЮ-Дон-15, который сопоставим с таковым на варианте с внесением минерального азота.

Список литературы / References

- Куликова А.Х., Яшин Е.А., Хисамова К.Ч. Влияние соломы яровой пшеницы на урожайность ячменя и баланс элементов питания в черноземе типичном // *Агрохимия*. 2017. № 3. С. 48–57.
- Kulikova A.Kh., Yashin E.A., Khisamova K.Ch. The effect of spring wheat straw on barley productivity and the balance of nutrients in typical chernozem // *Agrokhimiya*. 2017. № 3. P. 48–57 (in Russian).
- Зубарев Ю.Н., Фомин Д.С. Влияние основной обработки и заделки соломы в почву на засоренность и урожайность зерновых культур в звене «озимая рожь – ячмень – овёс» в Предуралье // *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2011. № 1 (20). С. 42–46.
- Zubarev Yu.N., Fomin D.S. Influence of the basic processing of soil and straw in soil on productivity and its structure in a link «a winter rye – barley – oats» in Preduralie // *Agrarnaya nauka Yevro-Severo-Vostoka*. 2011. № 1 (20). P. 42–46 (in Russian).
- Наими О.И. Особенности использования соломы в качестве органического удобрения // *Международный журнал гуманитарных и естественных наук*. 2019. № 9–1. С. 10–13. DOI: 10.24411/2500-1000-2019-11552.
- Naimi O.I. Features of the use of straw as an organic fertilizer // *Mezhdunarodnyy zhurnal gumanitarnykh i yestestvennykh nauk*. 2019. № 9–1. P. 10–13 (in Russian).
- Еремин Д.И., Ахтямова А.А. Возможности ускорения разложения соломы яровой пшеницы в условиях лесостепной зоны Зауралья // *Агропродовольственная политика России*. 2015. № 4 (40). С. 35–38.
- Erem D.I., Akhtyamova A.A. Possibilities of decomposition of spring wheat straw accelerating in the conditions of the forest-steppe zone of the Trans-Urals // *Agroprodovol'stvennaya politika Rossii*. 2015. № 4 (40). P. 35–38 (in Russian).
- Наими О.И., Безуглова О.С., Полиенко Е.А. Динамика ферментативной активности чернозема обыкновенного при внесении соломы // *Здоровые почвы – гарант устойчивого развития: материалы научно-практ. конф. Курск*, 2018. С. 73–77.
- Naimi O.I., Bezuglova O.S., Polienko E.A. The dynamics of the enzymatic activity of ordinary chernozem when adding straw // *Zdorovyye pochvy – garant ustoychivogo razvitiya: materialy nauchno-prakt. konf. Kursk*, 2018. P. 73–77 (in Russian).
- Русакова И.В., Воробьев Н.И. Использование биопрепарата Баркон для инокулирования соломы, применяемой в качестве удобрения // *Достижения науки и техники АПК*. 2011. № 8. С. 25–28.
- Rusakova I.V., Vorob'ev N.I. Use biopreparation Barkon for inoculation of straw, applicable as fertilizers // *Dostizheniya nauki i tekhniki APK*. 2011. № 8. P. 25–28 (in Russian).
- Звягинцев Д.Г. Имобилизованные ферменты в почвах // *Микробные метаболиты*. М.: Изд. МГУ, 1979. С. 31–46.
- Zvyagintsev D.G. Immobilized Enzymes in Soils // *Microbial Metabolites*. M.: Izd. MGU, 1979. P. 31–46 (in Russian).
- Наими О.И., Кучерубова О.Ю. Влияние антропогенных факторов на ферментативную активность чернозема обыкновенного // *Пути повышения эффективности орошаемого земледелия*. 2015. № 2 (58). С. 58–62.
- Naimi O.I., Kucherubova O.Yu. The influence of anthropogenic factors on the enzymatic activity of ordinary chernozem // *Puti povysheniya effektivnosti oroshayemogo zemledeliya*. 2015. № 2 (58). P. 58–62 (in Russian).
- Хазиев Ф.Х. Методы почвенной энзимологии. М.: Наука, 2005. 254 с.
- Khaziev F.Kh. Methods of Soil Enzymology. M.: Nauka, 2005. 254 p. (in Russian).
- Методы почвенной микробиологии и биохимии / Отв. ред. Звягинцев Д.Г. М.: Изд. МГУ, 1991. 304 с.
- Methods of Soil Microbiology and Biochemistry / *Otv. red. Zvyagintsev D.G.* M.: Izd. MGU, 1991. 304 p. (in Russian).
- Звягинцев Д.Г. Биологическая активность почв и шкалы для оценки некоторых ее показателей // *Почвоведение*. 1978. № 6. С. 48–54.
- Zvyagintsev D.G. Biological activity of soils and scales for assessing some of its indicators // *Soil Science*. 1978. № 6. P. 48–54 (in Russian).
- Наими О.И. Активность каталазы в черноземе обыкновенном и влияние на нее антропогенных факторов // *Международный журнал гуманитарных и естественных наук*. 2018. № 11–1. С. 12–15. DOI: 10.24411/2500-1000-2018-10142.
- Naimi O.I. The catalase activity of the ordinary chernozem and effect of the anthropogenic factors on its level // *Mezhdunarodnyy zhurnal gumanitarnykh i yestestvennykh nauk*. 2018. № 11–1. P. 12–15 (in Russian).
- Пилецкая О.А., Прокопчук В.Ф. Ферментативная активность черноземовидной почвы на фоне длительного применения удобрений // *Вестник СВНЦ ДВО РАН*. 2014. № 4. С. 41–45.
- Piletskaya O.A., Prokopchuk V.F. Enzymatic activity of chernozem-like soil on the background of prolonged use of fertilizers // *Vestnik SVNTS DVO RAN*. 2014. № 4. P. 41–45 (in Russian).
- Куликова А.Х., Антонова С.А., Козлов А.В. Ферментативная активность почвы в зависимости от системы удобрения // *Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии*. 2017. № 4 (40). С. 36–43. DOI: 10.18286/1816-45-2017-4-36-43.
- Kulikova A.Kh., Antonova S.A., Kozlov A.V. Enzymatic activity of the soil depending on the fertilizer system // *Vestnik Ul'yanskoys gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii*. 2017. № 4 (40). P. 36–43 (in Russian).

УДК 633.72:631.6(470.621)

МЕЛКОДИСПЕРСНОЕ ОРОШЕНИЕ КАК ОСНОВНОЙ СПОСОБ РЕГУЛИРОВАНИЯ УРОЖАЙНОСТИ, ВОДНО-ВОЗДУШНОГО И ТЕПЛОВОГО РЕЖИМОВ В АГРОЦЕНОЗЕ ЧАЙНЫХ ПЛАНТАЦИЙ АДЫГЕИ

Добежина С.В., Туов М.Т., Пчихачев Э.К., Шишхов М.Б.

ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт цветоводства и субтропических культур», Сочи, e-mail: supk@vniisubtrop.ru

В статье приведены результаты трехлетних исследований по изучению мелкодисперсного орошения на чайных плантациях в условиях Адыгеи. Орошение способствовало увеличению урожайности чайных насаждений в среднем за три года на 65%. Урожайность при поливе составила 56 ц/га, тогда как без орошения – 34 ц/га. Установлено, что под воздействием полива формируется благоприятный микроклимат в экосистеме чайного растения: температура воздуха на уровне шпалеры снизилась на 8–10 °С, достигнув оптимальных значений 23–25 °С; влажность увеличилась на 20–40% и находилась в пределах 75–95%; запасы влаги в почве поддерживаются в диапазоне, в котором корневая система растений не испытывает недостатка влаги (71,4–84,7% от НВ). Оптимальный водный режим подтверждается показателями концентрации клеточного сока в трехлистных флешах чая 8–9% за период сбора. На основании множественного корреляционно-регрессионного анализа получена математическая модель, позволяющая прогнозировать и регулировать уровень концентрации клеточного сока в трехлистных флешах чая: $Y = 19,61 + 0,039 X_1 - 0,338 X_2 - 0,056 X_3$, где Y – концентрация клеточного сока, %; X_1 – температура воздуха, °С; X_2 – влажность почвы корнеобитаемого слоя 0–60 см, %; X_3 – относительная влажность воздуха, %. Выборочный множественный коэффициент корреляции $R_b = 0,95$, значим, связь между результативным признаком и совокупностью факториальных признаков, включенных в регрессионную модель, тесная. Получена положительная корреляция между концентрацией клеточного сока в листьях чая и температурой воздуха ($r = 0,90$) и отрицательная корреляция между концентрацией клеточного сока и влажностью почвы ($r = -0,90$) и воздуха ($r = -0,77$).

Ключевые слова: мелкодисперсное орошение, чай, водный, воздушный и тепловой режимы, концентрация клеточного сока

FINE IRRIGATION AS THE MAIN TOOL FOR PRODUCTIVITY, WATER-AIR AND HEAT REGULATION WITHIN AGRICENOSIS OF TEA PLANTATIONS IN ADYGEA REGION

Dobezhina S.V., Tuov M.T., Pchikhachev E.K., Shishkhov M.B.

Federal State Budgetary Scientific Institution «Russian Research Institute of Floriculture and Subtropical Crops», Sochi, e-mail: supk@vniisubtrop.ru

The article presents the results of 3 years study of fine irrigation effect upon tea plantations in the conditions of Adygea Region. Irrigation contributed to an increase in productivity of tea plantings by 65% over 3 years. Productivity during irrigation was 56 centner / ha, while in the non-irrigated control it equaled 34 centner / ha. A favorable environment is created in the ecosystem of tea plantations under the effect of fine irrigation: air temperature at the trellis level decreased by 8–10 °C to the optimum values of 23–25 °C; humidity increased by 20–40% and was within range of 75–95%; optimal soil moisture level was preserved for the root system (71.4–84.7% of HB). The optimal water regime is confirmed by indicators of the concentration of cell sap in tea flushes of 8–9% during leaf harvesting period. Based on multiple correlation and regression analysis, a mathematical model was obtained that enables prediction and adjustment of level of cell sap concentration in 3-leaf tea flushes: $Y = 19.61 + 0.039 X_1 - 0.338 X_2 - 0.056 X_3$, where Y is concentration of cell sap, %; X_1 – air temperature, °C; X_2 – soil moisture content of the root layer of 0–60 cm, %; X_3 – relative humidity%. Sample multiple correlation coefficient $R_b = 0.95$ was significant, a close relationship between the resultant trait and the totality of factorial traits included in the regression model was observed. Based on multiple correlation and regression analysis, a mathematical model was developed, and it provides for predicting and adjusting level of cell sap concentration in 3-leaf tea flushes. A positive correlation was obtained between concentration of cellular sap in tea leaves and air temperature ($r = 0.90$) and a negative correlation was found between the concentration of cellular sap and soil moisture ($r = -0.90$) and air ($r = -0.77$).

Keywords: fine irrigation, tea, water potential, air and thermal conditions, the concentration of cell sap

Чайное растение, в соответствии с местом его исторического происхождения (районы Китая и Индии с теплым, влажным муссонным климатом, где максимум осадков выпадает в летнее время и господствуют туманы) очень требовательно к гидротермическим условиям. Самая северная

граница культивируемого ареала чая в России находится в Республике Адыгея.

Основными факторами, лимитирующими урожайность растений чая, здесь выступают гидротермические условия: низкие температуры воздуха в зимние и ранневесенние периоды, недостаточная влагообеспе-

ченность в сочетании с высокой температурой и атмосферной засухой в летние месяцы (июль – август). Этим и обусловлена низкая по зоне урожайность 20 ± 5 ц/га [1, 2].

Интенсификация отрасли чаеводства в Республике Адыгея возможна только в том случае, если будут созданы условия, отвечающие требованиям культуры, при которых раскрывались бы генетически заложенные потенциальные возможности урожайности [3].

Появление атмосферной засухи при небольшом дефиците воды в почве сразу влияет на состояние чайных растений: рост, урожайность и устойчивость к стрессовым воздействиям окружающей среды значительно снижается [4, 5]. Для устранения этого неблагоприятного фактора необходимо увеличение влажности и снижение температурных параметров околоземного слоя воздуха.

Наиболее перспективным с этой позиции является мелкодисперсное орошение, которому в настоящее время уделяется большое внимание. При этом методе полива насыщается влагой приземный слой воздуха, окружающий растения чая. Увлажненный воздух имеет более высокую плотность и образует защитный слой (экранирует) между растениями и верхними слоями сухого воздуха. Из-за испарения мелкодисперсной воды с поверхности листьев начинается охлаждение растений. Кроме того, значительно снижается поливная норма и, поскольку поверхностный сток не происходит, эрозия исключается, а структура почвы и ее физико-химические параметры сохраняются [6].

Цель исследования: изучить воздействие мелкодисперсного орошения на урожайность, водно-воздушный и температурный режимы в агроценозе чайной плантации в условиях Адыгеи.

Материалы и методы исследования

Экспериментальные исследования проводились в 2016–2018 гг. на плантациях чая популяции Кимынь в пос. Цветочный, Майкопский район, на базе Адыгейского филиала ФГБНУ ВНИИ цветоводства и субтропических культур. В схему опыта входили варианты:

Вариант 1. Контроль (без полива)

Вариант 2. МДП с разовой поливной нормой $20 \text{ м}^3/\text{га}$.

Примечание: МДП – мелкодисперсный полив. Схема посадки $1,5 \times 0,33$ м. Размер опытных делянок составлял 5 пог. м, повторность в опыте трехкратная.

Мелкодисперсный полив был проведен в неблагоприятные для растений чая периоды, которые возникали в результате отсутствия осадков, повышения температуры воздуха свыше 30°C и при снижении относительной влажности воздуха, с 11 ч до 16 ч, длительностью по 10 мин каждый час с интервалом 50 мин.

На основании агрохимического обследования почвы опытного участка перед закладкой опыта, с учетом фактической урожайности плантации (20 ± 5 ц/га), были рассчитаны необходимые дозы минеральных удобрений ($\text{N}250 \text{ P}100 \text{ K}100$ кг/га д.в.), согласно существующим рекомендациям [7, 8]. Удобрения вносились одинаково по вариантам опыта.

В молодых побегах чая (трехлистных флешах) определяли концентрацию клеточного сока с помощью рефрактометра. Растительные образцы отбирали до и после поливов, а также в динамике листосборного периода в зависимости от метеоусловий года [9].

Измерения температуры воздуха проводили психрометром Ассмана на уровне листосборной поверхности чайной шпалеры на высоте 90–100 см от поверхности почвы до и после полива. Относительную влажность воздуха рассчитывали по разности показаний сухого и влажного термометра и определяли по психрометрической таблице [10]. Одновременно снимались показания температуры и относительной влажности воздуха прибором «Регистратор температуры и влажности воздуха (логгер) EClerk-M-RHT» с мая по сентябрь, ежедневно, через каждые 3 ч.

Анализ почвы на влажность проводили термостатно-весовым методом. Пробы почвы отбирались на глубину корневого слоя 0,6 м, через 0,1 м на стационарных участках до и после полива [11]. Сбор урожая и его учет проводился с мая по сентябрь согласно указаниям по технологии выращивания чая [8]. Анализ метеорологических показателей проведен по данным метеостанции Майкопской опытной станции (МОС) ВИР. Обработка результатов исследований выполнена с применением пакета программ Statistika-6.0 и Microsoft Excel.

Результаты исследования и их обсуждение

Урожайность культуры чая тесно связана с характером погодных условий в период листосбора. Растению чая для формирования высокого урожая требуется как минимум 600–800 мм осадков за вегетационный период (апрель–сентябрь) и не меньше 100 мм в течение 1 месяца [12].



Рис. 1. Урожайность чайной плантации, т/га, 2016–2018 гг.

Самым благоприятным сезоном из трех лет исследований для чайной культуры стал 2016 г. – за вегетацию выпало 704 мм осадков. Вегетационный период 2017 г. по температурным условиям отличался коротким листосборным периодом июнь – август (осадков выпало 476 мм). В сентябре рост чая полностью прекратился из-за сильных перепадов ночных и дневных температур – 5 °С и 25 °С соответственно. Наиболее засушливым из трех лет исследований был 2018 г. (осадков выпало 395 мм), в августе наблюдалась сильная атмосферная засуха с высокими температурами воздуха до + 37–38 °С.

Мелкодисперсное орошение существенно увеличило урожайность чайной плантации. Средняя за три года урожайность при поливе составила 5,6 т/га, тогда как на неорошаемом варианте – 3,4 т/га (рис. 1).

С помощью корреляционно-регрессионного анализа выявлена тесная связь между урожайностью на контроле и количеством выпавших осадков за период вегетации (коэффициент корреляции $r = 0,989$).

Основным физиологическим диагностическим показателем влагообеспеченности растений чая является концентрация клеточного сока (ККС) в молодых побегах (трехлистных флешах). Оптимальному значению соответствует величина равная 8–9%. Граничное значение ККС, при котором начинаются нарушения водного режима, у растений чая составляет 10%. Показатели выше 12% указывают на напряженные гидротермические условия и существенные нарушения водного режима растений [9].

На рис. 2 представлена динамика изменения ККС в зависимости от осадков и орошения по годам исследований 2016–2018 гг.

Мелкодисперсный полив способствовал поддержанию концентрации клеточного сока в оптимальном диапазоне 8–9% в течение всего листосборного периода, тогда как без полива с июля по сентябрь ККС превышала 10% граничное значение и достигала максимумов в августе и сентябре 13,0; 12,7; 13,5% соответственно по годам исследований, что свидетельствовало о серьезных нарушениях водного режима у растений чая.

Для выявления сопряженного воздействия на ККС влажности почвы, температуры и влажности воздуха проведен множественный корреляционно-регрессионный анализ и получена математическая модель:

$$Y = 19,61 + 0,039 X_1 - 0,338 X_2 - 0,056 X_3, \quad (1)$$

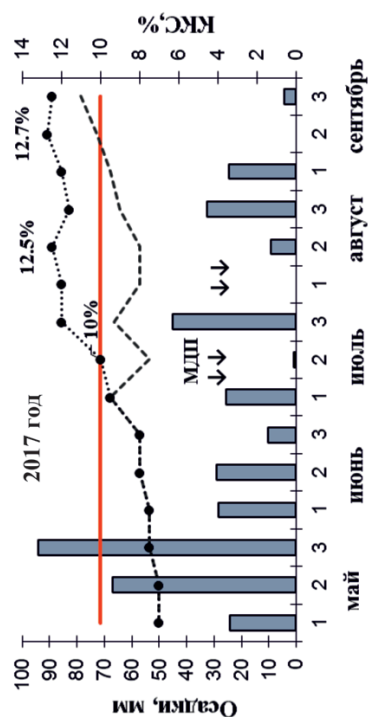
где Y – концентрация клеточного сока в трехлистных флешах чая, %

X_1 – температура воздуха, °С;

X_2 – влажность почвы в корнеобитаемом слое растений чая (0–60 см), %.

X_3 – относительная влажность воздуха, %.

Коэффициент множественной корреляции является значимым ($R_b = 0,95$). Получена тесная связь результативного признака с совокупностью факторных признаков, включенных в регрессионную модель. Коэффициент детерминации ($D = 90,30$) показывает, что изменения показателей ККС на 90,30% объясняются за счет вариации признаков включенных в модель.



Примечание: Мелкодисперсный полив ↓ осуществлялся:

2016 г.: 13.07. – 16.07.; 02.08. – 05.08.; 30.08.–31.08.

2017 г.: 11.07. – 14.07.; 07.08. – 10.08.

2018 г.: 02.07. – 05.07.; 14.08. – 17.08.

8–9% – оптимальный водный режим чайного растения

10% – начало нарушений водного режима

12–13% – серьезные нарушения

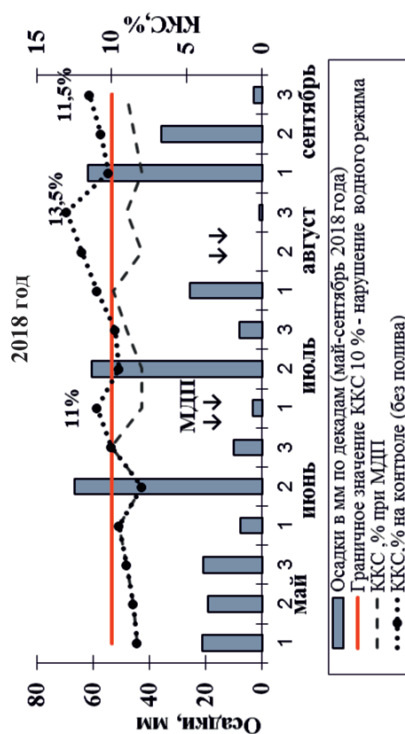
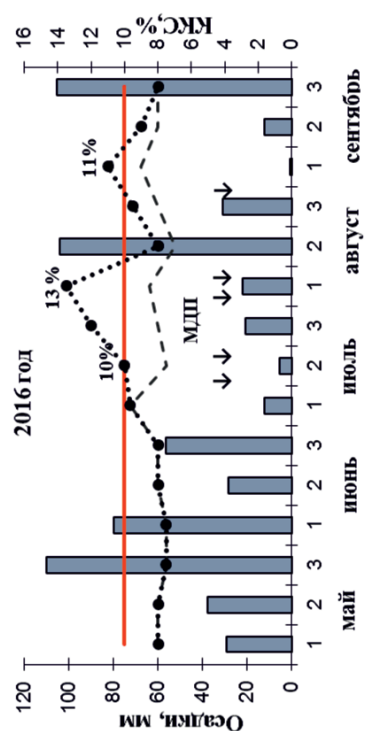


Рис. 2. Воздействие мелкодисперсного полива на концентрацию клеточного сока в флешах чайного растения в течение периода листопада по годам исследований 2016–2018 гг.

Получена положительная корреляция между ККС и температурой воздуха ($r = 0,90$) и отрицательная корреляция между ККС и влажностью почвы и воздуха. Коэффициенты парной корреляции представлены в табл. 1.

Таблица 1

Парные коэффициенты корреляции, характеризующие тесноту взаимосвязи ККС с температурой, влажностью почвы и воздуха

Факториальные признаки	Парные коэффициенты корреляции
X_1 температура воздуха, °C	0,9036
X_2 влажность почвы в слое 0–60 см, %	–0,9004
X_3 относительная влажность воздуха, %	–0,7671

В табл. 2 приведены коэффициенты эластичности, которые показывают, на сколько процентов изменяется ККС при увеличении соответствующего факториального признака на 1 процент.

Сравнивая коэффициенты эластичности по абсолютной величине, можно утверждать, что наибольшее влияние на ККС оказы-

вает влажность почвы (54%), затем следует влажность воздуха (34,9%) и в последнюю очередь – температура воздуха (10,7%).

Таблица 2

Коэффициенты эластичности

Факториальный признак	Изменение результативного признака (в %)
Температура воздуха	0,107
Влажность почвы	–0,540
Влажность воздуха	–0,349

Полученная математическая модель позволяет прогнозировать и регулировать уровень концентрации клеточного сока в трехлистных флешах чая в зависимости от изучаемых параметров.

Для большинства культурных растений оптимальной является влажность почвы от 70 до 100% от наименьшей влагоемкости (НВ). Влажность ниже 70% от НВ соответствует началу затормаживания процессов роста и снижению урожайности [10]. Своевременное орошение чайных растений способствовало сохранению влагозапасов в почве в оптимальном диапазоне (71–84,7% НВ), в то время как без полива влажность почвы начинала снижаться с середины июля от 70% НВ до минимальных значений в августе – 57% НВ и сентябре – 51% НВ.

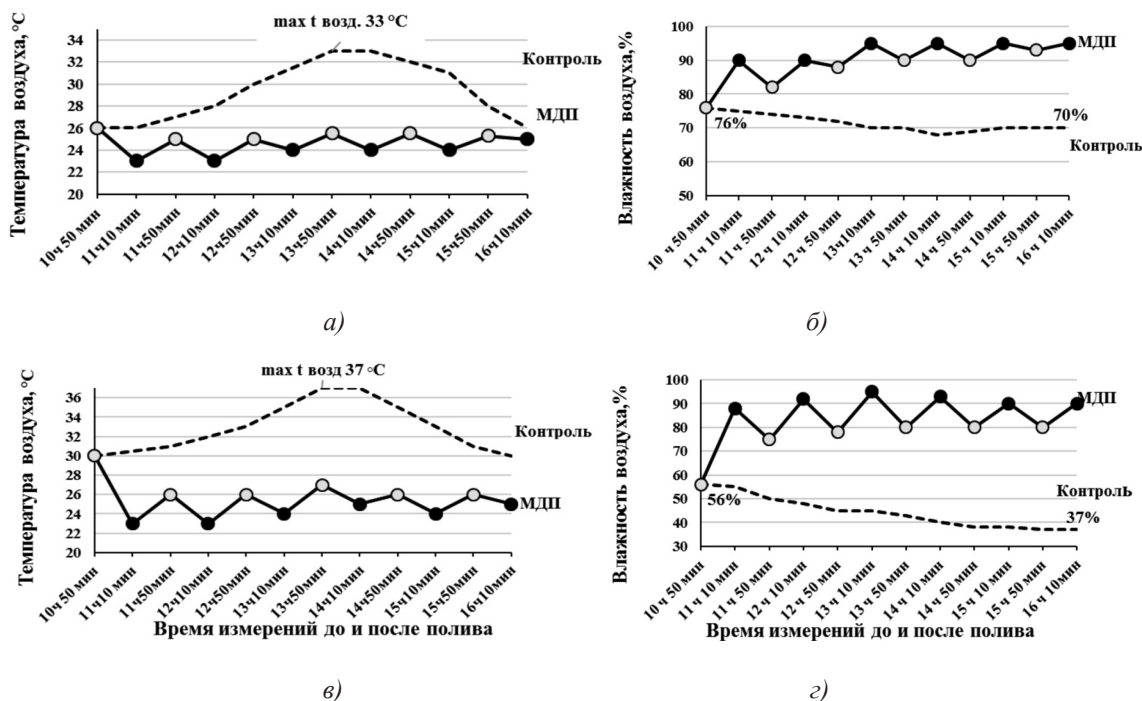


Рис. 3. Влияние мелкодисперсного полива на температуру и влажность воздуха на уровне чайной плантации: а, б – 02.07.2018; в, г – 15.08.2018.

Примечание: о – до полива; ● – после полива

УДК 631.8:631.55:633.111.1"324"

ВЛИЯНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ И РЕГУЛЯТОРОВ РОСТА РАСТЕНИЙ НА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ КАЧЕСТВА ЗЕРНА ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ

¹Жеруков Т.Б., ¹Кишев А.Ю., ²Тутукова Д.А.

¹ФГБОУ ВО «Кабардино-Балкарский государственный аграрный университет им. В.М. Кокова», Нальчик, e-mail: zherukovtimur@mail.ru;

²Институт сельского хозяйства – филиал Кабардино-Балкарского научного центра РАН, e-mail: djudi_12@mail.ru

Рост урожайности озимой пшеницы в современных условиях просто немалозначим без использования различных средств химизации. В представленной статье приводятся данные результатов исследования влияния использования разнообразных регуляторов роста растений на ряд технологических показателей качества урожая зерна озимой пшеницы в условиях степной зоны Кабардино-Балкарской Республики. Объектами исследования выступали сорта озимой пшеницы «Престиж» и «Августа». По результатам проводимых наблюдений во время вегетационного периода можно было отметить положительную динамику пищевого режима почвы в результате применения минеральных удобрений. Улучшение пищевого режима в почве внесением удобрений и обработка регуляторами роста в течение вегетации изменяли структуру урожая и качественные показатели зерна. Увеличивался прирост вегетативной массы, накопление АСВ, условия развития генеративных органов улучшались. Урожай зерна формировался различно в зависимости от применяемых регуляторов роста, а также вносимых минеральных удобрений. Отмечено высокое действие на величину урожая применяемых минеральных удобрений и регуляторов роста. Значение имело увеличение коэффициента продуктивной кустистости, отмечен заметный рост степени озерненности колосьев, либо увеличение значений массы 1000 зерен, либо все перечисленные факты вместе. Выяснилось, что величина урожайности, технологические показатели как зерна, так и муки, по сорту озимой пшеницы Августа были выше, чем соответствующие показатели, формируемые сортом Престиж. Наилучшим оказался вариант с применением минерального удобрения в дозе $N_{90}P_{90}K_{60}$. На этом варианте достигнутые величины прибавки урожайности составляли 14,6 ц/га. Растения в опыте реагировали на применение регулятора роста «Силк» в дозе 30 мл/га прибавкой в среднем на 12,5 ц/га.

Ключевые слова: озимая пшеница, регуляторы роста, минеральные удобрения, показатели структуры урожая, урожайность, биохимические показатели качества, содержание белка, содержание крахмала, содержание золы, хлебопекарные показатели качества, стекловидность зерна, содержание сырой клейковины, сила муки, объемный выход хлеба, общая хлебопекарная оценка

EFFECT OF USING MINERAL FERTILIZERS AND PLANT GROWTH REGULATORS UPON TECHNOLOGICAL INDEXES OF WINTER WHEAT KERNEL QUALITY

¹Zherukov T.B., ¹Kishev A.Yu., ²Tutukova D.A.

¹Kabardino-Balkarian State Agrarian University V.M. Kokov, Nalchik, e-mail: zherukovtimur@mail.ru;

²Institute of Agriculture – branch of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, e-mail: djudi_12@mail.ru

Growth in productivity of winter wheat in modern conditions is unthinkable without facilitation of various chemicals. The presented article provides result data of researching effect of various plant growth regulators upon a line of technological indexes of winter wheat crop quality in conditions of steppe area of Kabardino-Balkarian republic. Objects of the research were varieties of winter wheat «Prestige» and «Augusta». According to the results of observation during vegetative period, we can outline a positive dynamic of soil feeding regime as a result of implementing mineral fertilizers. Improvement in feeding regime within soil via introducing fertilizers and treating it with growth regulators during vegetation altered crop structure and qualitative characteristics of grain. Addition of vegetative mass was considered, as well as accumulation of absolute dry matter, conditions of generative organs' development improved. Grain harvest was formed differently depending on the implemented growth regulators, as well as introduced mineral fertilizers. We have underlined a high influence upon yield volume by the introduced mineral fertilizers and growth regulators. A high significance had an increase in coefficient of effective bushing, a significant growth in kernel number in colons was registered, or increase in test weight, or both of the mentioned factors. It was discovered that amount of yields, technological indexes of both grain and flour were higher for winter wheat variety «Augusta» than corresponding indexes, formed by variety «Prestige». The most optimal was the variant with implementation of mineral fertilizer in dose $N_{90}P_{90}K_{60}$. With this option the obtained amounts of yields addition equaled 14,6 centner/ha. Plants in this experiment reacted to implementation of growth regulator «Silk» in dosage 30ml/ha by adding an average 15,5 centner/ha.

Keywords: winter wheat, growth regulators, mineral fertilizers, indexes of crop structure, yields, biochemical indexes of quality, protein content, starch content, ash content, baking quality indicators, vitreousity of grain, wet gluten content, flour strength, volume bread output, overall baking grade

Почвенное плодородие сильно влияет на урожайность озимой пшеницы и она хорошо отзывается на его увеличение [1].

Высокие урожаи зерна этой культуры, формируются при благоприятном сочетании многочисленных факторов, среди которых

можно назвать почвенно-климатические условия, уровень и культуру агротехники. Однако, несмотря на эти непреложные факторы, в настоящее время в руках товаропроизводителей аграрного сектора оказались современные инструменты, использование которых способно оперативно и эффективно повысить значения урожайности. Одним из таких инструментов является целый ряд препаратов, объединенных в группу стимуляторов роста растений. Стимуляторы роста растений могут быть как естественного, природного происхождения, так и искусственного, синтезированного человеком. Синтезированные препараты представляют собой аналоги фитогормонов.

Данная группа препаратов оказывает комплексное действие на целый ряд биохимических и физиологических процессов организма растений. Благодаря их использованию стало возможным значительно увеличить скорость наступления тех или иных фенологических фаз. Это явление выливается в сокращение периода вегетации, что имеет под собой такую важную практическую составляющую, как возможность разведения по времени, например, периода цветения и засушливые этапы летнего периода, дает возможность более оптимального использования сельхозтехники во время пиковых нагрузок при уборке.

Стимуляторы роста растений широко применяются в сельском хозяйстве. Их применение позволяет ускорить наступление фенологических фаз, тем самым способствуя сокращению вегетационного периода в целом, а это в свою очередь дает возможность более рационально использовать сельскохозяйственную технику во время уборки урожая. Семенной материал или растения, обработанные стимуляторами роста, лучше реагируют на неблагоприятные условия внешней среды. Благодаря своему происхождению вещества данной группы являются безопасными и нетоксичными как для человека, так и для окружающей среды.

В данной статье на примере проведенных исследований российских и зарубежных ученых показано их положительное влияние на рост и развитие растений, урожайность, показатели структуры урожайности и качество зерна; на ряд биохимических показателей качества зерна озимой пшеницы, на хлебопекарные достоинства зерна и муки из него. Применение стимуляторов роста растений оправдано не только со стороны экологичности и высокой эффективности применения препаратов, но и малообъ-

ёмностью использования, а следовательно, экономически выгодно. Таким образом, в настоящее время важным является разработка и применение в сельском хозяйстве стимуляторов роста растений.

В проводимых нами опытах целью ставилось выявление зависимости технологических показателей качества зерна озимой пшеницы от используемых минеральных удобрений и регуляторов роста растений. В рамках обозначенной цели ставились задачи, в число которых входило определение степени влияния применяемых регуляторов роста растений, а также минеральных удобрений на элементы структуры формирующегося урожая озимой пшеницы, на величину урожайности и прибавок урожая, на показатели качества зерна.

Материалы и методы исследования

Исследования закладывались в условиях ЗАО НП «Рассвет» Прохладненского района, расположенного в степной зоне Кабардино-Балкарской Республики. Опыты проводили в 2017–2018 гг. по сортам пшеницы «Престиж» и «Августа».

2016–2017 и 2017–2018 сельскохозяйственные годы характеризовались преобладанием положительных температурных отклонений от нормы и неравномерным распределением осадков по территории степной зоны КБР, особенно в теплое время года. Дожди часто носили локальный характер, достигая местами критерия опасного явления (ОЯ). Осадков за период выпадало по территории в среднем 480–655 мм, что близко к средним многолетним значениям.

Предшественником выступала кукуруза на силос. Посев узкорядным способом, норма высева 5,5 млн всхожих зерен. Повторность в опыте соблюдали трехкратную, делянки располагали рендомизированным методом. Площадь заложенной учетной делянки составляла 50 м². Минеральные удобрения вносили следующим образом: полную норму фосфорных и калийных удобрений вносили осенью под основную обработку почвы, азотные удобрения вносили весной после возобновления вегетации, затем в фазу кущения – начале выхода в трубку и в виде листовых подкормок в фазу цветения.

Дозы регуляторов роста применяемых по растениям: препарат Альбит – 35 г/га; препарат Силк – 30 мл/га. Посевы обрабатывали проводили в момент фаз кущения и колошения. Расход рабочей жидкости устанавливали на уровне 300–400 л/

га. Перед уборкой проводили отбор растительных образцов для анализа структуры формирующегося урожая. При проведении данного анализа нами учитывались следующие показатели: число колосьев на одном растении, количество зерен в одном колосе, количество продуктивных стеблей в одном растении, массу 1000 семян, содержание белка (колориметрический метод Лоури), значение урожайности (учет урожайности проводили поделочно, путем сплошного обмолота делянок, используя поправку на 14 % влажность и 100 % чистоту.). Технологические показатели качества зерна нами оценивались по требованиям: натуру зерна определяли по ГОСТ 10841-64; стекловидность зерна по ГОСТ 10987-64; массовую долю сырой клейковины определяли по ГОСТ 54458-2011 (ручным методом); значение качества клейковины оценивали по значению индекса деформации клейковины в единицах прибора ИДК-1; массовую долю белка в зерне по ГОСТу 108460-91 (по Кьельдалю); значение реологических свойств теста с использованием ГОСТ Р 51415-99; число падения оценивали по ГОСТ 30498-97. Проведение пробной лабораторной выпечки (методом «ремикса») позволяло оценить совокупность хлебопекарных качеств.

Результаты исследования и их обсуждение

По результатам проводимых наблюдений во время вегетационного периода можно было отметить положительную ди-

намику пищевого режима почвы в результате применения минеральных удобрений. Это, а также использование на посевах озимой пшеницы регуляторов роста изменяло значение качественных показателей зерна, структуру урожая. [1] Отмечалась положительная динамика в накоплении сухих веществ (АСВ), заметно прирастала вегетативная масса, создавались благоприятные условия для развития генеративных органов растений.

Проанализировав цифровой материал из табл. 1, делаем следующие выводы. Применение минеральных удобрений в количестве $N_{90}P_{90}K_{60}$ позволило получить в нашем опыте самое продуктивное растение. На данном варианте опыта формировались посевы со значениями показателей, превосходящими данные других вариантов. Выше были значения кустистости, высоты растений, длины колоса и других показателей. Использование на посевах озимой пшеницы регуляторов роста так же, хотя и в меньшей степени, положительно сказывалось на значениях показателей кустистость, высота растений, длина колоса и проч. [2]. Из перечня применяемых в опыте регуляторов роста растений препарат Силк однозначно выгодно отличался по величинам прироста значений изучаемых биометрических показателей.

Сравнивая между собой исследуемые сорта пшеницы, отмечаем, что по перечню исследуемых биометрических показателей наиболее выгодно отличался сорт «Августа», формируя более высокие значения представленных в табл. 1 показателей.

Таблица 1

Показатели структуры урожая озимой пшеницы от применения регуляторов роста и минеральных удобрений (среднее за 2017–2018 гг.)

Вариант	Кустистость		Высота растений, см	Длина колоса, см	Кол-во колосьев, шт.	Кол-во зерен в колосе, шт.
	общая	продукт.				
сорт озимой пшеницы «Престиж»						
1. Контроль	333	281	83,7	5,6	11	17
2. Альбит	487	301	97,5	6,6	12	25
3. Силк	563	304	100,5	7,1	14	27
4. N ₉₀ P ₉₀ K ₆₀	567	308	112,3	7,2	14	29
сорт озимой пшеницы «Августа»						
1. Контроль	338	285	85	5,9	11,6	17,9
2. Альбит	494	306	99	6,9	13	26
3. Силк	571	309	102	7,5	15	28
4. N ₉₀ P ₉₀ K ₆₀	576	313	114	7,6	15	30

Таким образом, формируемый в нашем опыте урожай зерна озимой пшеницы формировался по-разному в зависимости от применяемого препарата и используемых минеральных удобрений [3]. В одних случаях играло роль увеличение так называемого коэффициента продуктивной кустистости растений, в других случаях проявлялся рост озерненности колосьев либо увеличение значений показателя массы 1000 зерен или все перечисленные факты вместе. В целом же можно сделать вывод о том, что при выращивании озимой пшеницы в условиях данного хозяйства, располагающегося в степной зоне КБР, регуляторы роста, а также вносимые минеральные удобрения (согласно схеме опыта) оказывали высокое положительное воздействие на формирующиеся показатели.

Таблица 2

Результат действия регуляторов роста растений и минеральных удобрений на урожайность озимой пшеницы (среднее за 2017–2018 гг.), ц/га

Вариант	Средняя урожайность с 1 га, ц	Прибавка
сорт озимой пшеницы «Престиж»		
1. Контроль	31,8	0,0
2. Альбит	41,7	+9,9
3. Силк	43,3	+11,5
4. $N_{90}P_{90}K_{60}$	45,3	+13,5
сорт озимой пшеницы «Августа»		
1. Контроль	32,7	0,0
2. Альбит	43,6	+10,9
3. Силк	45,2	+12,5
4. $N_{90}P_{90}K_{60}$	47,3	+14,6

Примечание:

$HCP_{0,95}$ фактору А (ц/га) = 1,5.

$HCP_{0,95}$ фактору В (ц/га) = 1,3.

$HCP_{0,95}$ факторам АВ (ц/га) = 2,9.

Ошибка опыта (%) = 2,0.

Приводимый в табл. 2 цифровой материал позволяет сделать однозначный вывод о проявлении положительного эффекта в результате использования в заданных нормах препаратов регуляторов роста растений и минеральных удобрений. Урожайность изучаемой культуры в результате применения данных приемов однозначно возрастала. Так, например, сорт озимой пшеницы Престиж на контрольном варианте формировал значение урожайности в пределах 31,8 ц/га. Применение препарата Альбит

вызывало прирост урожайности на 9,9 ц/га. Большие результаты продемонстрировало применение препарата Силк, на данном варианте зафиксирована прибавка урожайности к контролю в пределах 11,5 ц/га. Однако наибольшей эффективностью отличился вариант с применением полного минерального удобрения в норме $N_{90}P_{90}K_{60}$. Применение минерального удобрения дало прибавку урожайности в пределах 13,5 ц/га.

Схожая тенденция проявлялась в случае с сортом озимой пшеницы «Августа». Таким же образом отреагировали посевы данного сорта озимой пшеницы на применение регуляторов роста растений Альбит и Силк, формируя прибавки к значениям контрольных вариантов в пределах 10,9 и 12,5 ц/га соответственно. На применение полного минерального удобрения в норме $N_{90}P_{90}K_{60}$ сорт озимой пшеницы Августа отреагировал увеличением значения прибавки урожайности к значению контрольного варианта до 14,6 ц/га. Указанные в табл. 2 высокие значения прибавок к урожайности пшеницы, превышающие значения средних прибавок урожайности по данным производителя в РФ, на наш взгляд объясняются хорошей влагообеспеченностью посевов в годы проведения исследований в период цветения и налива зерна.

Сравнивая между собой по вариантам опыта сорта пшеницы «Престиж» и «Августа», отметим, что последний сорт по всем вариантам опыта показывал конкурентное преимущество, формируя большие значения урожайности и прибавок к контролю.

Таблица 3

Влияние применения регуляторов роста и минеральных удобрений на ряд биохимических показателей качества озимой пшеницы (среднее за 2017–2018 гг.)

Вариант	Белок, %	Крахмал, %	Зола, %
сорт озимой пшеницы «Престиж»			
1. Контроль	13,90	64,70	2,01
2. Альбит	14,25	68,64	1,84
3. Силк	14,76	69,55	1,75
4. $N_{90}P_{90}K_{60}$	15,06	67,02	1,64
сорт озимой пшеницы «Августа»			
1. Контроль	14,32	66,64	2,07
2. Альбит	14,68	70,70	1,90
3. Силк	15,20	71,64	1,80
4. $N_{90}P_{90}K_{60}$	15,51	69,03	1,69

Собранный в табл. 3 материал свидетельствует о том, что из всех вариантов опыта именно вариант с применением полного минерального удобрения в норме $N_{90}P_{90}K_{60}$ обеспечивает наибольшее количество белка в зерне озимой пшеницы. По данному варианту значение рассматриваемого показателя достигало величины 15,06% (сорт Престиж) и 15,5% (сорт Августа). Чуть меньшие значения данного показателя фиксировались на варианте с применением препарата Силк. Применение препарата Альбит по посевам озимой пшеницы позволило достигнуть значения показателя в 14,25%, что на 0,35% выше значения контрольного варианта.

Сорт озимой пшеницы «Августа» изначально показал более высокие значения показателя содержания белка на контрольных вариантах – 14,32% против 13,9% по сорту «Престиж». Эта же тенденция прослеживалась и по всем остальным вариантам в опыте. Значения показателя содержания белка по сорту Августа было выше и при применении препарата Альбит и Силк, и применении полного минерального удобрения $N_{90}P_{90}K_{60}$ (соответственно 14,68; 15,2 и 15,51%).

Таким образом, можно отметить, что в результате проведения исследований прослеживалась прямая зависимость значений показателя содержания белка в зерне от изучаемых в опыте факторов [4].

Табличные данные ясно свидетельствуют нам и о том, что содержание крахмала и золы в зерне озимой пшеницы сортов «Престиж» и «Августа» также изменялось в опыте по вариантам. При этом наблюдается особенность, заключающаяся в увеличении процента содержания крахмала от первого до третьего вариантов (с применением регуляторов роста растений) и снижении его содержания на варианте с применением минерального удобрения. Так, на контрольном варианте по сорту озимой пшеницы Августа содержание крахмала составило порядка 66,64%. На этом же варианте в зерне озимой пшеницы сорта «Престиж» крахмала содержалось в пределах 64,7% (на 1,94% меньше).

Применение регуляторов роста по обоим сортам озимой пшеницы вызывало увеличение содержания крахмала. На регулятор роста Альбит сорт пшеницы «Августа» отреагировал увеличением значений рассматриваемого показателя до 70,7% (или на 4,06% к контрольному варианту). Применение регулятора роста Силк показало

лучшие результаты – содержание крахмала в зерне возросло до 71,64% (прибавка к контролю 5%).

Примерно таким же образом отреагировал на применение препаратов регуляторов роста растений и сорт озимой пшеницы «Престиж». На варианте с применением регулятора роста Альбит значение содержания крахмала в зерне возросло по сравнению с контрольным вариантом на 3,94% и составило порядка 68,64%. На применение регулятора роста растений Силк посеvy озимой пшеницы сорта «Престиж» отреагировали прибавкой к контролю в пределах 4,85%, значение рассматриваемого показателя составило при этом 69,55%.

Как уже упоминалось выше, применение в качестве варьировющего фактора в опыте полного минерального удобрения в норме $N_{90}P_{90}K_{60}$ по обоим сортам озимой пшеницы вызывало некоторое снижение значений рассматриваемого показателя относительно значений вариантов с применением регуляторов роста. Так, по сорту озимой пшеницы Августа на четвертом варианте опыта значение показателя содержания крахмала составило 69,03% (прибавка к контрольному варианту 2,39%), что на 2,61% ниже значений показателя, полученного на варианте 3. Подобная тенденция наблюдалась и в случае с сортом озимой пшеницы «Престиж» – на варианте 4 в образцах зерна содержание крахмала достигало 67,02% (прибавка к контролю 2,32%), что на 2,53% ниже значений показателя, полученного на варианте 3.

Проведение лабораторного анализа содержания золы требуется при оценке хлебопекарных качеств пшеничной муки. Между выходом получаемой муки и значениями показателя содержания в зерновках золы наблюдается обратная корреляция [5]. Исходя из данных табл. 3, отмечаем, что по вариантам нашего опыта содержание золы по сорту «Престиж» колебалось от 1,64 до 2,01%, по сорту «Августа» разброс значений показателя составлял от 1,69 до 2,07%. Максимум значений показателя фиксировали на контрольном варианте по обоим сортам пшеницы.

Данные опыта показывают также, что изменение пищевого режима растений оказывает влияние и на такие технологические показатели качества, как процент содержания белка, содержания сырой клейковины, значение показателя стекловидности. Колебание значений данных показателей рассматривается в пределах одного из сортов.

Таблица 4

Зависимость значений хлебопекарных качеств озимой пшеницы от применения регуляторов роста и минеральных удобрений (среднее за 2017–2018 гг.)

Вариант	Зерно		Мука		Хлеб	
	Стекловидность (в %)	Белок (в %)	Содержание сырой клейковины (в %)	Сила муки (в Дж)	Объемный выход из 100 г муки (мл)	Общая хлебопекарная оценка (в баллах)
сорт озимой пшеницы «Престиж»						
1. Контроль	68,7	13,90	22,8	353,8	621,7	3,4
2. Альбит	79,9	14,25	28,1	363,9	657,1	3,9
3. Силк	80,9	14,76	28,3	379,1	687,5	4,8
4. N ₉₀ P ₉₀ K ₆₀	83,9	15,06	29,2	409,4	707,7	5,0
сорт озимой пшеницы «Августа»						
1. Контроль	71,3	14,32	23,7	367,2	645,3	3,5
2. Альбит	82,9	14,68	29,2	377,7	682,1	4,0
3. Силк	84,0	15,20	29,4	393,5	713,6	5,0
4. N ₉₀ P ₉₀ K ₆₀	87,1	15,51	30,3	425,0	734,6	5,2

Согласно представленных в табл. 4 данным, значения таких показателей, как содержание в зерновках сырой клейковины, содержание белка, значение стекловидности по изучаемым сортам озимой пшеницы, имеют неодинаковые числовые значения [5]. Собранный цифровой материал говорит о разнице по значениям показателя стекловидности между изучаемыми вариантами до 18,4% [6]. Максимальным значением показателя стекловидности в опыте по обоим сортам пшеницы отличался вариант с применением минеральных удобрений – по сорту «Престиж» до 83,9% и по сорту «Августа» до 87,1%. Минимальное значение стекловидности зерна в опыте фиксировали на контроле – 68,7% и 71,3% соответственно. По содержанию белка разница между вариантами опыта составляла от 1,2 до 3,2% (в случае с сортом «Престиж»), и от 1,3 до 3,3% (сорт пшеницы «Августа»).

Проведение ряда лабораторных помолов позволило установить, что в муке из помола зерна озимой пшеницы «Престиж», процент белка по вариантам опыта колебался от значений 22,8% (на неудобренном и необработанном контрольном варианте) до значений 29,2% (при использовании минеральных удобрений в норме N₉₀P₉₀K₆₀).

Выводы

Таким образом, на основании проведенных в 2017–2018 гг. исследований и наблюдений нами сделаны следующие выводы. Применение под культуру озимой пшеницы полного минерального удобрения (N₉₀P₉₀K₆₀)

проявлялось в виде заметного роста прибавок урожаев зерна. Величина прибавки достигала значений 14,6 ц/га. Использование в опыте регулятора роста растений торговой марки Силк (применяемые дозы препарата – 30 мл/га) отзывалось ростом прибавок урожая к контролю до 12,5 ц/га. Рост прибавок урожайности к контролю обеспечивался изменением значений таких показателей, как дружность и своевременность появления всходов на поверхности почвы, ростом значений показателей общей кустистости, а также продуктивной кустистости. Необходимо также отметить факт роста значений таких показателей, тесно коррелирующих со значениями урожайности, как значение показателя характер накопления растением абсолютно-сухого вещества (отмечалось значение данного показателя в период полной спелости до 332 г), кроме того нами были зафиксированы изменения в положительную сторону значений тех показателей, которые принимают непосредственное участие в формировании структуры ожидаемого урожая, а именно длинные колосья (в среднем возросла до 7,1 см), озерненности, полученной с одного колоса (в среднем до 30 шт.), массы 1000 зерен (в среднем до 46 г) и т.д.

Бесспорно, что по результатам исследований, проведенных с зерном изучаемых сортов пшеницы, а также с мукой, полученной из зерна данных сортов, сорт пшеницы «Августа» по комплексу хлебопекарных качеств превосходил сорт «Престиж». В пользу такого вывода говорит анализ полученных

значений по таким показателям, как содержание белка, процент сырой клейковины, сила муки, объемный выход хлеба и проч. Из анализируемых наилучшим по комплексу обозначенных признаков оказался вариант, предусматривавший внесение в почву под культуру минеральных удобрений в количестве $N_{90}P_{90}K_{60}$. На втором месте по эффективности расположился вариант с применением регулятора роста Силк.

Список литературы / References

1. Жеруков Т.Б., Кишев А.Ю., Тутукова Д.А. Регуляторы роста растений и технологические показатели качества зерна озимой пшеницы при возделывании в условиях степной зоны КБР // Международные научные исследования. 2016. № 4 (29). С. 21–24.
2. Zherukov T.B., Kishev A.Yu., Tutukova D.A. The plant growth regulators and technological indicators of grain quality of winter wheat cultivated under conditions of the steppe zone KBR // International Scientific Research. 2016. № 4 (29). P. 21–24 (in Russian).
3. Магомедов К.Г., Ханиева И.М., Кишев А.Ю., Бозиев А.Л., Жеруков Т.Б., Шибзухов З.Г.С., Амшонов А.Э. Восстановитель плодородия почв // Fundamental and applied science-2017: materials of the XIII International scientific and practical conference. Editor: Michael Wilson. Sheffield, United Kingdom: Science and Education Publishing, 2017. С. 74–77.
4. Magomedov K.G., Khanieva I.M., Kishev A.Yu., Bosiyev A.L., Zherukov T.B., Shibzukhov Z.G.S., Amshokov A.E. Soil fertility restorer // Fundamental and applied science-2017: XIII International Scientific and Practical Conference. Editor: Michael Wilson. Sheffield, United Kingdom: Science and Education Publishing, 2017. P. 74–77 (in Russian).
5. Ханиева И.М., Бозиев А.Л. Влияние микроэлементов и инокуляции семян на продуктивность посевов гороха // Зерновое хозяйство. 2005. № 8. С. 21–22.
6. Khanieva I.M., Bosiyev A.L. Influence of microelements and inoculation of seeds on the productivity of pea crops // Zernovoye khozyaystvo. 2005. № 8. P. 21–22 (in Russian).
7. Ткачук О.А., Павликова Е.В., Орлов А.Н. Эффективность применения регуляторов роста при возделывании яровой пшеницы в условиях лесостепной зоны Среднего Поволжья // Молодой ученый. 2013. № 4. С. 677–679.
8. Tkachuk O.A., Pavlikova E.V., Orlov A.N. The effectiveness of the use of growth regulators in the cultivation of spring wheat in the forest-steppe zone of the Middle Volga // (Molodoy uchenyy. 2013. № 4. P. 677–679 (in Russian).
9. Исайчев В.А., Провалова Е.В. Влияние регуляторов роста на ранних этапах роста и развития растений озимой пшеницы // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2012. № 3 (27). С. 80–85.
10. Isaichev V.A., Provalova E.V. Influence of growth regulators on early stages of growth and development of winter wheat plants // Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: nauka i vyssheye professional'noye obrazovaniye. 2012. № 3 (27). P. 80–85 (in Russian).
11. Гафуров Р.М., Рахимов В.М., Молодчуев А.А. Оценка применения нового регулятора роста растений в посевах озимой пшеницы // Агрохимический вестник. 2012. № 4. С. 20–21.
12. Gafurov R.M., Rahimov V.M., Molodchuev A.A. Appraisal of new plant growth regulator application for winter wheat cultivation // Agrokhimicheskiy vestnik. 2012. № 4. P. 20–21 (in Russian).

УДК 633.14:631.415.1:631.559

ВЛИЯНИЕ АЛЮМОКИСЛОГО СТРЕССА НА МОРФО-БИОЛОГИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ГЕНОТИПОВ ОЗИМОЙ РЖИ¹Кедрова Л.И., ¹Уткина Е.И., ²Шляхтина Е.А., ¹Парфенова Е.С., ¹Шамова М.Г.¹ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока», Киров;²Фаленская селекционная станция – филиал ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока, e-mail: utkina.e.i@mail.ru

Изучены показатели урожайности 10 сортов озимой ржи селекции ФАНЦ Северо-Востока на нейтральном почвенном фоне и в условиях повышенной кислотности. Уникальный естественный провокационный фон характеризуется высоким содержанием ионов алюминия – 25,5–26,7 мг/100 г почвы при pH солевой вытяжки – 3,66–3,78. Гидротермические условия в годы исследований (2010–2016) различались во все периоды вегетации, что позволило объективно оценить реакцию сортов на алюмо- и кислотоустойчивость. Урожайность сортов по годам варьировала на нейтральном фоне от 3,95 до 5,86 т/га, а в условиях алюмокислого стресса – от 2,17 до 3,60 т/га. В условиях эдафического стресса среднее снижение урожайности составило 37,5%. Морфологические составляющие продуктивности генотипов показали, что эдафический стресс приводит к снижению кущения растений на 28,9%, зимостойкости – на 30,4%, продуктивного стеблестоя – на 31,8%. Выделены сорта устойчивые к повышенной почвенной кислотности: Фаленская 4, Флора, Рушник, Графиня, Рада и Кипрез. Снижение их урожайности составило 26,8–36,8%. Сорта Кировская 89, Батист, Ниоба и Сармат характеризуются повышенной депрессией урожайности (41,4–52,5%). Адаптивные сорта Флора, Рада и Кипрез, имеющие превосходство по урожайности на 0,24–0,57 т/га относительно кислотоустойчивого стандарта Фаленская 4 проявили стабильность в период изучения и выделены как источники селекционно-ценных признаков для использования в селекционных программах других регионов страны. По результатам оценки в 2016 г. сорт Кипрез передан на Государственное сортоиспытание сельскохозяйственных культур, как наиболее стабильный по формированию урожайности для возделывания на низкоплодородных кислых почвах.

Ключевые слова: озимая рожь, сорта, кислотность почв, провокационный фон, урожайность, зимостойкость, морфо-биологические показатели, алюмоустойчивость

EFFECT OF ALUMINIUM-ACID STRESS UPON MORPHO-BIOLOGICAL INDICES OF WINTER RYE GENOTYPES¹Kedrova L.I., ¹Utkina E.I., ²Shlyakhtina E.A., ¹Parfenova E.S., ¹Shamova M.G.¹North-East Federal Agrarian Scientific Center, Kirov,²Falenki BS – Branch of the FARC North-East, s. Falenki, Kirov region, e-mail: utkina.e.i@mail.ru

Productivity indices of 10 varieties of winter rye of the North-East Federal Agrarian Scientific Center selection on a neutral soil background and in conditions of high acidity were studied. A unique natural provocative background is characterized by a high content of aluminum ions – 25.5–26.7 mg / 100 g of soil with a salt extraction pH of 3.66–3.78. The hydrothermal conditions during the years of research (2010–2016) differed in all periods of vegetation, which made it possible to objectively evaluate the reaction of varieties to aluminum and acid resistance. Yields of varieties over the years varied against a neutral background from 3.95 to 5.86 t / ha, and under conditions of alumina stress, from 2.17 to 3.60 t / ha. Under conditions of edaphic stress, average decrease in yield equaled 37.5%. Morphological components of productivity of genotypes showed that edaphic stress leads to a decrease in tillering of plants by 28.9%, winter hardiness – by 30.4%, productive stalk – by 31.8%. Varieties, resistant to high soil acidity were identified: Falenskaya 4, Flora, Rushnik, Grafinya, Rada and Kiprez. Decrease in their productivity amounted to 26.8–36.8%. Varieties Kirovskaya 89, Batist, Nioba and Sarmat are characterized by increased yield depression (41.4–52.5%). Adaptive varieties Flora, Rada and Kiprez, having a yield superiority of 0.24–0.57 t / ha with respect to the acid-resistant standard Falenskaya 4, showed stability during the study period and were identified as sources of selection-valuable traits for use in breeding programs in other regions of the country. According to the results of the assessment in 2016, the Kiprez variety was transferred to the State variety testing of crops, as the most stable in terms of yield formation for cultivation on low-fertile acidic soils.

Keywords: winter rye, varieties, soil acidity, provocative background, productivity, winter hardiness, morphological and biological indicators, aluminum resistance

В Нечерноземной зоне России более 60 млн га занимают низкоплодородные кислые почвы, которые негативно влияют на формирование урожайности сельскохозяйственных культур [1]. В условиях кислой почвенной среды, особенно с повышенным содержанием ионов Al^{+3} , недобор урожая может составить до 80% [2]. Большие площади низкоплодородных земель (более 70%) находятся в Северо-Восточном

регионе РФ. В Кировской области их свыше 80%, из них третья часть – сильнокислые с $pH < 4,5$ [3].

Создание толерантных сортов, наряду с известкованием почвы, является одним из рациональных путей снижения токсичности повышенной кислотности. Теоретическое обоснование селекции на алюмо-кислотоустойчивость в нашей стране подтверждено исследованиями Э.Л. Кли-

машевского [4]. В ФАНЦ Северо-Востока создан и включен в Государственный реестр селекционных достижений, допущенных к использованию в Российской Федерации, первый алюмотолерантный сорт ячменя Новичок [5], что подтверждает перспективность селекции в этом направлении.

Наши исследования по созданию кислотоустойчивых сортов озимой ржи начаты в конце 1980-х гг. [6]. Используются естественные провокационные почвенные фоны и современные методы эдафической селекции [7].

Цель исследования: выявить влияние алюмокислого стресса на урожайность и основные показатели продуктивности районированных и перспективных сортов озимой ржи.

Материалы и методы исследования

Исследования проведены на 10 внесенных в Государственный реестр селекционных достижений и перспективных сортах озимой ржи селекции ФАНЦ Северо-Востока в течение 2010–2016 гг. Почва опытных участков дерново-подзолистая среднесуглинистая. Предшественник – чистый пар. Агрохимическая характеристика питомника с нейтральным типом почв: содержание гумуса – 2,43–3,56%; содержание подвижного фосфора – 334–349 мг/кг; обменного калия – 232–304 мг/кг почвы; pH солевой вытяжки – 5,0–5,4. Характеристика опытного алюмокислого участка: содержание ионов Al^{3+} – 25,5–26,7 мг/100 г почвы; под-

вижного фосфора – 72–108 мг/кг; обменного калия – 78–100 мг/кг почвы; pH солевой вытяжки – 3,66–3,78.

Изучение сортов проведено по схеме рендомизированных блоков, в шестикратной повторности с нормой высева 6 млн всхожих семян на 1 га, учетная площадь делянки – 10 м². Погодные условия в годы исследований различались во все периоды вегетации растений, что позволило объективно оценить реакцию сортов на алюмо- и кислотоустойчивость.

Статистическая обработка результатов исследований проведена методами дисперсионного и корреляционного анализов с использованием Пакета программ статистического и биометрико-генетического анализа в растениеводстве и селекции AGROS (версия 2.07.), Microsoft Office Excel, а также в соответствии с методикой Б.А. Доспехова (1979) [8].

Результаты исследования и их обсуждение

Изучались районированные и перспективные сорта селекции ФАНЦ Северо-Востока: Флора, Рада, Кипрез, Кировская 89, Графиня, Рушник, Сармат, Батист, Ниоба. Сравнение показателей проводили с высокостойким, кислотоустойчивым стандартом Фаленская 4.

Средняя урожайность сортов по годам зависела от гидротермических условий и варьировала на нейтральном по кислотности фоне от 3,95 до 5,86 т/га, а в условиях алюмокислого стресса – от 2,17 до 3,60 т/га (рис. 1).

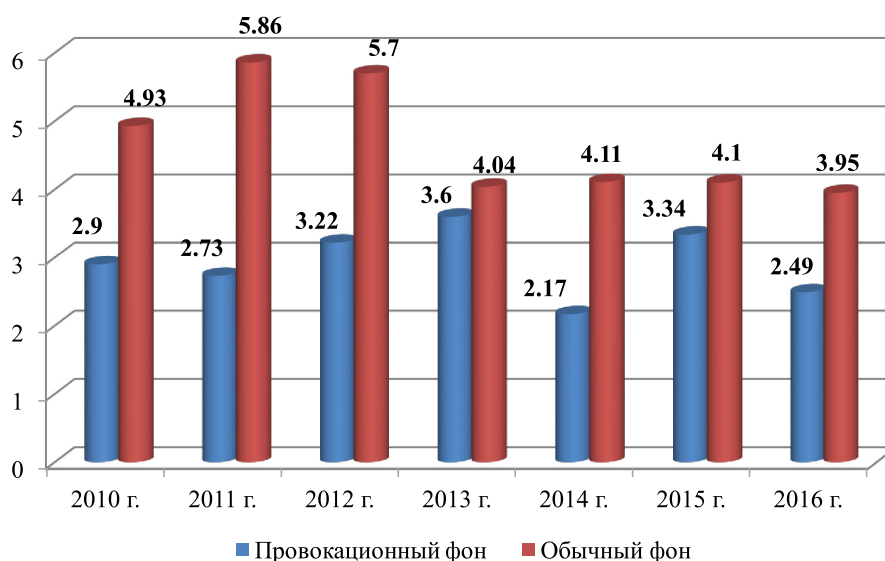


Рис. 1. Урожайность сортов озимой ржи на разных почвенных фонах

Степень урожайности значительно зависела от складывающихся условий осенне-зимней вегетации и весеннего развития растений. В условиях эдафического стресса на гидротермические условия накладывается негативное действие повышенной кислотности почвы, что привело к снижению урожайности в среднем за годы изучения на 37,5%. Но определенную зависимость показателя урожайности на обычном фоне и степени его депрессии на провокационном выявить затруднительно, сказывается влияние погодных условий. Максимальная средняя урожайность изучаемых сортов на нейтральной почве получена в благоприятных 2011 г. (5,86 т/га) и 2012 г. (5,70 т/га). При этом снижение показателя на варианте эдафического стресса было наибольшим и составило в 2011 г. – 53,4%; в 2012 г. – 43,5%. Наименьшее снижение урожайности отмечено в 2013 г. (10,9%) и 2015 г. (18,5%).

В табл. 1 представлены показатели выравнивания урожайности по годам. Отсутствие стрессового фактора обусловило большую выравниваемость урожайности изучаемых сортов. Коэффициент вариации признака изменялся от 7,2 до 25,5%.

В благоприятных условиях 2012 г. разброс по величине урожайности был ми-

нимальным ($CV = 7,2\%$). Тогда в период возобновления весенней вегетации происходило интенсивное таяние снега, а теплая погода способствовала активной регенерации растений. Наибольшее варьирование урожайности ($CV = 25,5\%$) наблюдалось в 2014 г. Осенние условия заделки осенью 2013 г. характеризовались нестабильностью гидротермического режима, снижением содержания сахаров в узлах кущения растений на 2% по сравнению с другими годами и повреждением посевов шведской мухой до 9,2%. К тому же весной отмечен затяжной период таяния снегового покрова и 100%-ное поражение посевов снежной плесенью (*M. nivale*). В результате чего снизилась зимостойкость сортов, как основной показатель урожайности.

Условия эдафического стресса способствовали градации сортов по устойчивости к экстремальным факторам. Сортная вариация урожайности по годам изменялась от 18,6 до 41,2%. Четкая сортная дифференциация по признаку алюмо- и кислототолерантности зафиксирована в благоприятный по развитию 2012 г., когда эдафический стресс был основным негативным фактором развития растений.

Таблица 1

Варьирование урожайности сортов ржи в зависимости от почвенных условий

Почвенный фон	Коэффициент вариации, CV%						
	2010 г.	2011 г.	2012 г.	2013 г.	2014 г.	2015 г.	2016 г.
Провокационный	21,1	27,1	36,9	25,1	27,9	18,6	41,2
Нейтральный	18,2	10,9	7,2	15,3	25,5	10,4	12,7

Таблица 2

Влияние почвенного стресса на морфо-биологические показатели сортов озимой ржи, 2010–2016 гг.

Показатели	Фоны		Степень депрессии, %
	нейтральный	провокационный	
Урожайность, т/га	4,67	2,92	37,5
Зимостойкость, %	71,6	49,8	30,4
Устойчивость к полеганию, балл	7,5	8,1	
Высота стебля, см	120,4	110,8	8,0
Количество продуктивных стеблей на 1 м ² , шт.	463	316	31,8
Продуктивная кустистость, шт.	4,5	3,2	28,9
Длина колоса, см	11,0	10,6	3,6
Количество колосков в колосе, шт.	36,9	33,0	10,6
Озерненность, %	82,3	77,2	6,2
Масса 1000 зерен, г	29,3	31,3	–

Анализ морфо-биологических признаков установил, что повышенная кислотность почвы отрицательно влияет на основные параметры урожайности сортов озимой ржи. На кислом фоне усиливается поражение посевов снежной плесенью [9], регенерационная способность растений ослабевает, зимостойкость снижается на 30,4% (табл. 2). Это явилось главной причиной низкой урожайности в опыте. В условиях северного земледелия толерантность сортов к поражению снежной плесенью и активная регенерация после поражения являются важнейшими факторами обеспечения стабильной урожайности озимой ржи.

Изучение морфологических составляющих продуктивности генотипов озимой ржи показало, что эдафический стресс приводит к снижению кущения растений на 28,9%, изреживанию стеблестоя в зимне-весенний период и снижению продуктивного стеблестоя на 31,8%. Параметры колоса изменились незначительно. Крупность зерна повысилась на 2 г благодаря большей разреженности посевов и пониженной продуктивной кустистости. Полегаемость сортов снизилась по причине уменьшения высоты растений и снижения продуктивного стеблестоя на единице площади.

В результате исследований выявлены существенные межсортные различия толерантности к эдафическому стрессу (рис. 2).

Оценка средней урожайности сортов на двух почвенных фонах выявила более

устойчивые к алюмокислотному стрессу сорта Фаленская 4, Флора, Рушник, Графиня, Рада и Кипрез, снижение их урожайности составило 26,8–36,8%. Выделены сорта с повышенной (41,4–52,5%) депрессией урожайности в условиях провокационного фона (Кировская 89, Батист, Ниоба, Сармат).

Основным критерием оценки на кислото- и алюмотолерантность является сравнение урожайности изучаемых сортов с высокозимостойким, адаптивным и кислотоустойчивым стандартом Фаленская 4 [10]. Из представленного сортимента сорта Флора, Рада и Кипрез в среднем за годы изучения превысили стандарт на 0,24–0,57 т/га (табл. 3). Для внедрения сортов в производство ценным является то, что данные сорта проявили стабильность в период изучения, достоверно превышая стандарт по урожайности или практически находясь на его уровне. Наибольшей стабильностью характеризовался сорт Кипрез. Данный сорт в 2016 г. передан на государственное сортоиспытание для возделывания на низкоплодородных кислых почвах.

Урожайность сорта Графиня по средним значениям находится на уровне стандарта Фаленская 4, однако характеризуется нестабильностью формирования по годам: от достоверного снижения (2015, 2016 гг.) до значительного превышения (2010, 2011, 2013 гг.). Аналогичная реакция на эдафический стресс отмечена у сорта Рушник.

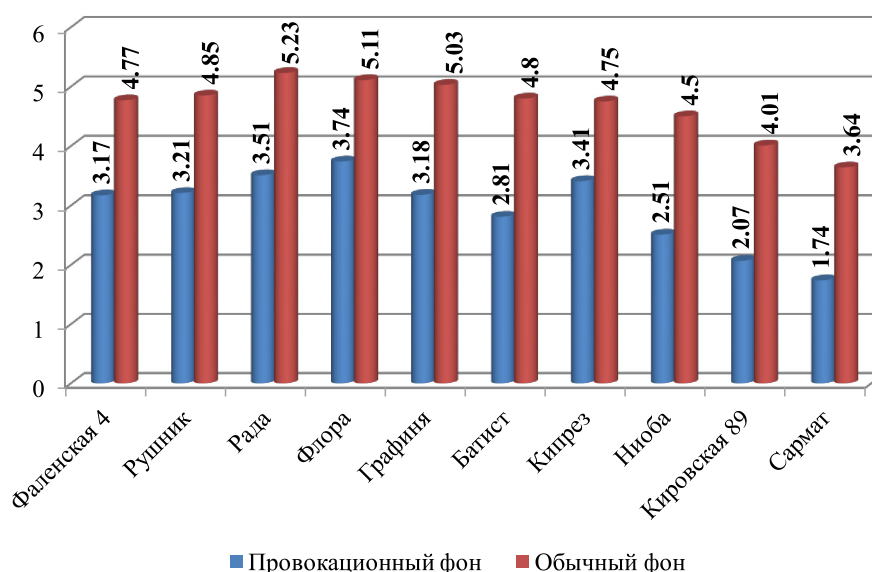


Рис. 2. Урожайность сортов озимой ржи на разных почвенных фонах (2010–2016 гг.)

Таблица 3

Урожайность сортов озимой ржи в стрессовых условиях
в сравнении со стандартом Фаленская 4

Сорт	Годы исследований							Сред.
	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	
	Урожайность на провокационном фоне, т/га							
Фаленская 4 – стандарт	2,76	2,20	3,58	4,08	2,60	3,61	3,37	3,17
	Отношение к стандарту, т/га ±							
Флора	+1,04	+1,52	+0,92	+0,37	+0,14	+0,09	–0,06	+0,57
Рада	+0,48	+1,74	–0,03	+0,18	+0,17	–0,20	–0,11	+0,32
Кипрез	+0,64	+0,18	+0,09	–0,06	+0,32	+0,27	+0,26	+0,24
Рушник	+0,64	+0,70	+0,78	–0,01	0	–0,49	–1,33	+0,04
Графиня	+0,40	+1,02	–0,11	+0,59	+0,06	–0,32	–1,63	0
Батист	–0,10	–0,56	+0,13	–1,90	–0,37	+0,40	–0,05	–0,35
Ниоба	–0,08	+0,50	–0,42	–1,23	–0,92	–0,32	–2,14	–0,66
Кировская 89	–0,64	–0,26	–0,63	–1,36	–1,31	–0,51	–0,99	–0,81
Сармат	–0,94	+0,50	–2,29	–1,43	–1,36	–1,80	–2,66	–1,42
НСР ₀₅	0,24	0,27	0,48	0,59	0,14	0,27	0,23	–

Заключение

Сравнительное испытание сортов озимой ржи на нейтральном и провокационном почвенных фонах, изучение морфологических составляющих их продуктивности показало, что урожайность сортов в условиях эдафического стресса уменьшается за счет понижения зимостойкости и весенней регенерации растений после поражения снежной плесенью, снижения кушения и продуктивной кустистости.

Доказана межсортовая вариабельность устойчивости к кислым почвам. Сорта Флора, Рада и Кипрез, имеющие превосходство по урожайности на 0,24–0,57 т/га относительно кислотоустойчивого сорта Фаленская 4, являются источниками кислотности и алюмоустойчивости для использования в селекционных программах регионов страны. По результатам оценки сорт Кипрез передан на государственное сортоиспытание сельскохозяйственных культур

Список литературы / References

1. Косарева И.А. Изучение коллекций сельскохозяйственных культур и диких родичей по признакам устойчивости к токсическим элементам кислых почв // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2012. Т. 170. С. 34–44.

Kosareva I.A. The study of crops and wild relatives collections for signs of resistance to toxic elements of acid soils // Trudy po prikladnoy botanike, genetike i selektsii. 2012. V. 170. P. 35–45 (in Russian).

2. Югай А.М. Эффективность производства и уровень кислотности почв // Вестник АПК Верхневолжья. 2015. № 4 (32). С. 3–8.

Yugay A.M. Production efficiency and level of acidity of soils // Vestnik APK Verkhnevolzh'ya. 2015. № 4 (32). P. 3–8 (in Russian).

3. Бурков Н.А. Охрана окружающей среды Кировской области: Проблемы и перспективы. Киров, 1993. 352 с.

Burkov N.A. Environmental protection of the Kirov region: Problems and prospects. Kirov, 1993. 352 p. (in Russian).

4. Климашевский Э.Л. Генетическая вариабельность устойчивости растений к ионной токсичности (водорода и алюминия) в зоне корней: теория и практические аспекты // Сельскохозяйственная биология. 1980. Т. 15. № 2. С. 270–277.

Klimashevsky E.L. Genetic variability of plant resistance to ionic toxicity (hydrogen and aluminum) in the root zone: theory and practical aspects // Sel'skokhozyaystvennaya biologiya. 1980. V. 15. № 2. P. 270–277 (in Russian).

5. Щенникова И.Н. Селекция ячменя в Волго-Вятском регионе: дис. ... докт. с.-х. наук. Москва, 2016. 349 с.

Schennikova I.N. Barley Breeding in the Volga-Vyatka Region: dis. ... dokt. s.-kh. nauk. Moscow, 2016. 349 p. (in Russian).

6. Кедрова Л.И., Уткина Е.И. Влияние почвенной кислотности на урожайность озимой ржи и возможности эдафической селекции // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2018. № 6 (67). С. 17–25. DOI: 10.30766/2072-9081.2018.67.6.17-25.

Kedrova L.I., Utkina E.I. The influence of soil acidity on the yield of winter rye and the possibility of edaphic selection // Agrarnaya nauka Yevro-Severo-Vostoka. 2018. № 6 (67). P. 17–25 (in Russian).

7. Уткина Е.И., Кедрова Л.И., Шляхтина Е.А. Стрессоустойчивость сортов озимой ржи в условиях Кировской области // Методы и технологии в селекции растений: Материалы Всероссийской научно-практической конференции с Международным участием. Киров: НИИСК Северо-Востока, 2014. С. 107–110.

Utkina E.I., Kedrova L.I., Shlyakhtina E.A. Stress tolerance of winter rye varieties in the Kirov region // Metody i tekhnologii v selektsii rasteniy: Materialy Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii s Mezhdunarodnym uchastiyem. Kirov: NIISKH Severo-Vostoka, 2014. P. 107–110 (in Russian).

8. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). М.: Колос, 1979. 336 с.

Dospikhov B.A. Methods of field experience (with the basics of statistical processing of research results. M.: Kolos, 1979. 336 p. (in Russian).

9. Пономарева Л.В., Дричко В.Ф., Цветкова Н.П., Кудрявцев Д.В. Содержание подвижного алюминия и кислотность почвы на фоне бактериализации алюмотолерантными штаммами как приема повышения устойчивости растений // Сельскохозяйственная биология. 2010. Т. 45. № 1. С. 104–109.

Ponomareva L.V., Drichko V.F., Tsvetkova N.P., Kudryavtsev D.V. Content of mobile aluminium and soil acidity on the

background of cultivation of aluminum-tolerant bacteria for the purpose of rising of plant's resistance // Sel'skokhozyaystvennaya biologiya. 2010. V. 45. № 1. P. 104–109 (in Russian).

10. Уткина Е.И., Кедрова Л.И., Шляхтина Е.А., Парфенова Е.С., Шамова М.Г., Сысоев В.А., Чанчжун Ж. Реакция сорта озимой ржи Фаленская 4 в экстремальных условиях средовых факторов // Достижение науки и техники АПК. 2015. Т. 29. № 11. С. 55–57.

Utkina E.I., Kedrova L.I., Shlyakhtina E.A., Parfenova E.S., Shamova M.G., Sysuev V.A., Changzhun Zh. Reaction of winter rye variety Falenskaya 4 under extreme conditions environmental factors // Dostizheniye nauki i tekhniki APK. 2015. Vol. 29. № 11. P. 55–57 (in Russian).

УДК 630*266:633.878.32(470.32)

**ФОРМИРОВАНИЕ ЛЕСОМЕЛИОРАТИВНЫХ КОМПЛЕКСОВ
С УЧАСТИЕМ ТОПОЛЯ БАЛЬЗАМИЧЕСКОГО
В ЦЕНТРАЛЬНОМ ЧЕРНОЗЕМЬЕ РОССИИ****Михин В.И., Михина Е.А., Михина В.В.***ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова»,
Воронеж, e-mail: lesomel@yandex.ru*

Лесомелиоративные комплексы в условиях Центрально-Чернозёмного региона представлены защитными насаждениями, где сохранность составляет около 600 тыс. га и на долю лесных полос с участием быстрорастущих пород приходится около 20%. В лесомелиоративных объектах наибольшее распространение получил тополь бальзамический, который по своим эколого-биологическим свойствам наиболее приемлем для искусственного защитного лесоразведения. В лесных культурах вводится чистыми рядами или формируются насаждения с его участием. Рост его в лесных полосах предопределяется почвенными условиями. Снижение показателей почвенного плодородия приводит к существенному уменьшению биометрических показателей роста. Выращивание быстрорастущих пород связано с лесокультурными и агротехническими приёмами. Во вновь создаваемых защитных насаждениях для тополя бальзамического оптимальной густотой следует считать 3333–4000 шт/га. В возрасте 4 лет ветрозащитная высота составляет 1,8–2,0 м, в возрасте 18 лет – 10,3–14,3 м, среднегодовой прирост равен 0,57–0,78 м/год. Снижение активности в росте наступает в возрасте 16–22 лет. С увеличением ширины лесных полос биометрические показатели роста снижаются. Оптимальной шириной тополёвых насаждений следует считать 7,5–10,0 м. На чернозёмах и тёмно-серой лесной почве в возрасте 25–35 лет показатели роста по высоте в центральных рядах выше показателей крайних рядов на 4,4–7,6% и соответственно ниже показатели роста по диаметру на 4,3–11,3%. Чистые по составу лесные полосы в возрасте 19–27 лет шириной 7,5–12,0 м имеют ажурно-продуваемую и продуваемую конструкцию. Наибольшие площади, защищаемые 1 км лесополос, находятся в приполосных зонах среди насаждений продуваемой структуры.

Ключевые слова: защитные насаждения, тополь бальзамический, рост, биометрические показатели, оптимальная густота, ширина, конструкция, влияние

**FORMATION OF FOREST RECLAMATION COMPLEXES WITH BALSAMIC
POPLAR IN THE CENTRAL BLACK EARTH REGION OF RUSSIA****Mikhin V.I., Mikhina E.A., Mikhina V.V.***Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Voronezh State University
of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov», Voronezh, e-mail: lesomel@yandex.ru*

Forest reclamation complexes in the conditions of Central Black Earth region are represented by protective stands, where conservation is about 600 thousand hectares and about 20% of the forest strips with the participation of fast-growing species account for. In forest reclamation sites, balsamic poplar is most widely used, which in terms of its ecological and biological properties is most suitable for artificial protective afforestation. In forest cultures, it is introduced in clean rows or stands are formed with its participation. Its growth in forest belts is determined by soil conditions. A decrease in soil fertility results in a significant decrease in biometric growth indicators. The cultivation of fast-growing species is associated with forestry and agricultural practices. In the newly created protective stands for balsam poplar, 3333–4000 pcs / ha should be considered as the optimal density. At the age of 4 years, the windproof height is 1.8–2.0 m, at the age of 18 years – 10.3–14.3 m, where the average annual growth is 0.57–0.78 m / year. A decrease in activity in growth occurs at the age of 16–22 years. With an increase in the width of forest strips, biometric indicators of growth decrease. The optimal width of poplar stands should be considered 7.5–10.0 m. On black earth and dark gray forest soil at the age of 25–35 years, the height growth indicators in the central rows are higher than the extreme rows by 4.4–7.6% and respectively, the growth rates in diameter are 4.3–11.3% lower. Pure composition of forest strips at the age of 19–27 years with a width of 7.5–12.0 m have an openwork-blown and blown design. The largest areas protected by 1 km of forest belts are in stripe zones among the stands of the blown structure.

Keywords: protective plantings, balsamic poplar, growth, biometric indicators, optimal density, width, construction, influence

Системы защитных насаждений преобразуют аграрные ландшафты. Формирование оптимальных структур искусственных насаждений с учётом почвенно-гидрологических условий является важным условием лесомелиорации территорий [1]. Для максимальной защиты межполосных полей осуществляется подбор ассортимента древесных пород и кустарников. Рост, состояние растительного сообщества за-

щитных насаждений зависит от лесокультурных и агротехнических приёмов создания. Быстрорастущие породы способны в максимальные сроки обеспечивать формирование ветрозащитной высоты [2]. В работах В.В. Танюкевича [3], Н.И. Балакай [4] отмечается, что дальность мелиоративного влияния лесополос, площадь покрытия защищённого ландшафта предопределяется энергией роста пород, особен-

ностью конструкции самих насаждений. Лесомелиоративные комплексы формируются на ландшафтно-геохимической основе с учётом адаптивно-ландшафтных систем земледелия [5].

Цель исследования: научно обосновать параметры искусственных защитных лесных насаждений с участием тополя бальзамического с учётом агротехнических и лесокультурных приёмов создания, мелиоративной оценки.

Материалы и методы исследования

Защитные насаждения с участием тополя бальзамического изучались в течение последних 30 лет в границах Белгородской области (лесостепные условия, пробн. площади 101, 107, 169, 181, 242, 248; степные условия, пробн. площади 288, 289), Воронежской области (лесостепные условия, пробн. площади 21, 49, 51, 60, 62, 64, 160, 278, 291; степные условия, пробн. площади 150, 166, 190, 192, 292, 294), Липецкой области (лесостепные условия, пробн. площади 22, 240, 243, 247, 287, 293), где определялись биометрические показатели роста по общепринятой методике [6]. Диаметр определялся через среднюю площадь сечения среднего дерева, высота – по графику высот, бонитет – по таблице М.М. Орлова, ход роста – по годичным кольцам спилов модельных деревьев. Рассчитывалась эффективность мелиоративного влияния [3, 5], что позволило установить оптимальные параметры полезащитных лесных полос с учётом их лесоводственно-мелиоративной оценки. Материалы полевых исследований обрабатывались современными методами вариационной статистики с получением значений высокой степени достоверности и различия [7].

Результаты исследования и их обсуждение

Лесомелиоративные комплексы в условиях Центрально-Чернозёмного региона представлены защитными насаждениями, где их сохранность составляет около 600 тыс. га и на долю лесных полос с участием быстрорастущих пород приходится около 20%. Лесомелиоративные объекты представлены различными видами тополей. Наибольшие площади занимает тополь бальзамический (*Populus balsamifera* L.), который по своим эколого-биологическим свойствам наиболее приемлем для искусственного защитного лесоразведения.

Рост тополя бальзамического в защитных насаждениях предопределяется почвенными условиями (табл. 1).

В трёхрядных лесных полосах из тополя (Тб) в возрасте 17 лет (Воронежская область, лесостепные условия) при размещении 2,5×1,0 м наибольшие показатели по среднему диаметру и высоте (17,7 и 12,7 м) выявлены на более плодородных почвах (чернозём типичный). Снижение показателей почвенного плодородия приводит к существенному уменьшению биометрических показателей роста. Так, средний диаметр на чернозёме выщелоченном меньше на 9,9%, средняя высота на 9,5% по сравнению с показателями на чернозёме типичном и, соответственно, меньше на 14,9 и 27,0%, чем на чернозёме карбонатном (пробн. площади 21, 51, 62). Аналогичные результаты имеют место в степных условиях Воронежской области и в возрасте 23 лет (пробн. площади 150, 192). Различия в показателях роста тополя на чернозёме выщелоченном и обыкновенном составляют 8,0–18,5%.

Таблица 1
Биометрический потенциал тополя бальзамического в зависимости от почвенных условий

№ п/п	Почвенные условия	Схема создания/ Число рядов	Размещение пород, м	Возраст, лет	Диаметр, см	Высота, м	Бонитет
51	Чернозём выщелоченный	Тб-Тб-Тб/ 3	2,5×1,0	17	16,1 ± 0,4	11,6 ± 0,1	Ia
62	Чернозём типичный	Тб-Тб-Тб/ 3	2,5×1,0	17	17,7 ± 0,2	12,7 ± 0,2	Ia
21	Чернозём карбонатный	Тб-Тб-Тб/ 3	2,5×1,0	17	15,4 ± 0,3	10,6 ± 0,2	I
150	Чернозём обыкновенный	Тб-Тб-Тб/ 3	2,5×1,0	23	20,0 ± 0,3	13,0 ± 0,2	Ia
192	Чернозём выщелоченный	Тб-Тб-Тб/ 3	2,5×1,0	23	21,6 ± 0,3	15,4 ± 0,4	Ia

Выращивание быстрорастущих пород связано с лесокультурными и агротехническими приёмами (табл. 2). В возрасте 19 лет на чернозёме обыкновенном (Воронежская область, степные условия) наибольшие показатели роста по диаметру (на 7,4%), высоте (на 9,2%) выявлены в лесных полосах с размещением пород 3,0×1,0 м (густота растений 3333 шт/га) по отношению к лесомелиоративным насаждениям с меньшей площадью питания растений (2,5×0,7 м) и большей первоначальной густотой (5714 шт/га) (пробн. площади 292,294). В искусственных линейных насаждениях в возрасте 22 лет на чернозёме выщелоченном (пробн. площади 166, 190) лучший рост тополя по биометрическим показателям (на 8,4–13,1%) выявлен при густоте 4000 шт/га (размещение 2,5×1,0 м) по сравнению с вариантами с густотой 5714 растений на 1 га (размещение 2,5×0,7 м). Следовательно, во вновь создаваемых защитных насаждениях для тополя бальзамического оптимальной густотой следует считать 3333–4000 шт/га.

Наибольшее представление об изменении показателей ветрозащитной высоты тополя показывают материалы хода роста (табл. 3).

Данные по активности в росте по высоте у тополя свидетельствуют, что средний прирост до 28 лет равен 0,57–0,78 м/год. Снижение активности в росте наступает с возраста 16–22 лет. Лучшими почвами для роста тополя являются чернозём типичный и выщелоченный.

Показатели роста тополя зависят от параметров ширины насаждения (табл. 4).

В возрасте 20 лет на чернозёме выщелоченном (Липецкая область, лесостепные условия) с увеличением ширины лесных полос отмечается снижение параметров роста. Так, в искусственных линейных насаждениях средний диаметр составляет 20,2 см, средняя высота – 14,6 м (размещение пород 3,0×1,0 м, ширина 9,0 м). При ширине лесных полос 12,0 м диаметр соответственно меньше на 7,4%, высота – на 6,5%, ширине 15,0 м – на 19,5% и 20,6% (пробн. площади 22, 287, 293). В более старшем возрасте (48 лет) на чернозёме типичном проявляются аналогичные закономерности. Различия по биометрическим показателям роста для лесных полос шириной 7,5 м и 12,5 м достигают 10,0–11,3% (пробн. площади 240, 243, 247). Следовательно, оптимальной шириной ползащитных насаждений из тополя бальзамического следует считать 7,5–10,0 м.

Таблица 2

Рост тополя бальзамического в зависимости от агротехнических приёмов выращивания

№ п/п	Почвенные условия	Возраст, лет	Густота создания, шт/га, размещение, м	Диаметр, см	Высота, м	Бонитет
292	Чернозём обыкновенный	19	3333 (3,0×1,0)	17,4 ± 0,3	14,2 ± 0,1	Ia
294	Чернозём обыкновенный	19	5714 (2,5×0,7)	16,2 ± 0,1	13,0 ± 0,2	Ia
166	Чернозём выщелоченный	22	4000 (2,5×1,0)	19,8 ± 0,2	16,8 ± 0,3	Ia
190	Чернозём выщелоченный	22	5714 (2,5×0,7)	17,5 ± 0,2	15,5 ± 0,3	Ia

Таблица 3

Ход роста по высоте тополя бальзамического на разных почвах

Возраст, лет	Чернозём типичный	Чернозём выщелоченный	Тёмно-серая лесная почва	Чернозём обыкновенный
4	2,0	2,2	2,1	1,8
6	4,2	4,0	3,8	3,6
8	6,2	5,8	5,4	4,9
10	8,3	7,6	6,2	5,4
12	10,2	8,8	8,2	7,6
14	12,1	9,9	9,3	8,5
16	13,2	10,9	10,0	9,3
18	14,3	12,4	11,7	10,3
20	–	14,0	12,6	11,5
22	–	14,7	13,5	–
24	–	15,8	14,2	–
26	–	16,5	15,2	–
28	–	17,4	16,3	–

Таблица 4

Рост тополя бальзамического в лесополосах при различных параметрах ширины

№ п/п	Почвенные условия	Возраст, лет	Ширина, м	Размещение пород, м	Диаметр, см	Высота, м	Бонитет
287	Чернозём выщелоченный	20	9,0	3,0×1,0	20,2 ± 0,4	14,6 ± 0,2	Ia
293	Чернозём выщелоченный	20	12,0	3,0×1,0	18,8 ± 0,3	13,4 ± 0,3	Ia
22	Чернозём выщелоченный	20	15,0	3,0×1,0	16,9 ± 0,2	12,1 ± 0,1	Ia
240	Чернозём типичный	48	12,5	2,5×0,7	35,9 ± 0,3	23,9 ± 0,2	Ia
243	Чернозём типичный	48	7,5	2,5×0,7	39,5 ± 0,2	26,6 ± 0,3	Ia
247	Чернозём типичный	48	10,0	2,5×0,7	37,1 ± 0,3	25,2 ± 0,2	Ia

Таблица 5

Характеристика роста тополя бальзамического в зависимости от расположения в насаждении

№ п/п	Возраст, лет	Состав насаждения	Крайние (опушечные) ряды		Средние (центральные) ряды		Различия, %	
			показатели				высоте	диаметру
			высота, м	диаметр, см	высота, м	диаметр, см		
Чернозём типичный								
242	26	10Тб	19,6±0,2	28,1±0,1	20,9±0,2	26,5±0,3	6,6	8,7
248	29	10Тб	21,8±0,3	31,2±0,2	23,0±0,2	29,3±0,1	5,5	6,1
Чернозём выщелоченный								
169	27	10Тб	17,8±0,2	26,8±0,2	19,1±0,3	23,8±0,2	7,3	11,3
181	31	10Тб	20,6±0,2	30,1±0,1	21,8±0,2	28,3±0,1	5,8	6,0
Тёмно-серая лесная почва								
101	25	10Тб	15,6±0,3	23,3±0,3	16,8±0,2	21,8±0,3	7,6	6,4
107	33	10Тб	20,9±0,2	31,0±0,1	21,8±0,2	28,8±0,2	4,4	7,1
Чернозём обыкновенный								
288	30	10Тб	16,7±0,2	27,0±0,1	17,6±0,2	25,2±0,1	5,4	6,7
289	35	10Тб	19,3±0,3	30,9±0,2	20,6±0,2	29,6±0,2	6,7	4,3

Тополь бальзамический имеет определённые закономерности в росте в зависимости от произрастания в защитном насаждении (табл. 5).

В условиях типичного чернозёма (Белгородская область, лесостепные условия) в возрасте 26–29 лет у тополя бальзамического отмечается превышение по высоте средних рядов над опушечными на 5,5–6,6% и отставание их соответственно по диаметру на 6,1–8,7% (пробн. площади 242, 248). На чернозёме выщелоченном в возрасте 27–31 года проявляются аналогичные закономерности. Средний диаметр крайних рядов больше на 6,0–11,3%, чем показатель в средних рядах. При этом средняя высота центральных рядов также больше высоты опушечных рядов (на 5,8–7,3%) (пробн. площади 169, 181). На тёмно-серых лесных почвах в лесополосах в возрасте 25–33 лет лучший рост тополя бальзамического по высоте

отмечается в средних рядах (на 4,4–7,6%), чем в опушечных. Показатель среднего диаметра в таких лесополосах в центральных рядах меньше на 6,4–7,1%, чем в крайних (пробн. площади 101, 107).

В возрасте 30–35 лет на чернозёме обыкновенном (Белгородская область, степные условия) также обследованы полезащитные лесные полосы с установлением особенностей роста тополя в зависимости от места расположения (пробн. площади 288, 289). Установлено, что показатели роста по высоте в центральных рядах выше показателей крайних рядов на 5,4–6,7% и, соответственно, ниже показателей роста по диаметру на 4,3–6,7%, где различия достоверны на высоком уровне значимости ($t_b = 3,21 - 4,28 > t_{0,05} = 2,02$; $td = 3,57 - 12,85 > t_{0,05} = 1,99$).

Лесные полосы формируют различную структуру в зависимости от их параметров создания (табл. 6).

Таблица 6

Эффективность полезащитных насаждений из тополя бальзамического

№ п/п	Схема создания/ Число рядов	Возраст, лет	Ширина, м	Высота, м	Дальность ветроза- щитного влияния, м	Площадь, защищаемая 1 км полосы, га
49	Т6-Т6-Т6-Т6/4	27	10,0	17,5	525	52,5
60	Т6-Т6-Т6/3	24	9,0	16,8	420	42,0
160	Т6-Т6-Т6/3	27	7,5	18,1	452	45,2
291	Т6-Т6-Т6-Т6/4	24	12,0	16,1	483	48,3
64	Т6-Т6-Т6/3	19	9,0	13,3	333	33,3
278	Т6-Т6-Т6-Т6/4	19	12,0	12,5	375	37,5

Чистые тополёвые лесные полосы (Воронежская область, лесостепные условия) шириной 7,5–12,0 м в возрасте 19–27 лет формируют ажурно-продуваемую (пробн. площади 60, 64, 160) и продуваемую структуру (пробн. площади 49, 278, 291). При этом дальность их мелиоративного влияния ограничивается 25 и 30Н (высот).

Наибольшие площади, защищаемые 1 км лесополос (37,5 га, 48,3 и 52,5 га), находятся в приполосных зонах среди насаждений продуваемой конструкции, что необходимо учитывать при формировании систем полезащитного ветроломного назначения.

Заключение

В системе лесных полос из тополя бальзамического в возрасте 17–23 лет (размещение 2,5×1,0 м) выявлены наиболее значимые биометрические показатели роста (на 6,9–20,0%) на весьма плодородных почвах (чернозём типичный, выщелоченный) по сравнению с насаждениями, произрастающими на чернозёме обыкновенном и карбонатном. Активность в росте отмечается до возраста 16–22 лет, где среднегодовой прирост равен 0,56–0,78 м/год. На чернозёмах (обыкновенный, выщелоченный) в возрасте 19–22 лет наибольший рост тополя бальзамического по диаметру и высоте отмечается при первоначальной густоте посадки растений 3333–4000 шт/га и размещением посадочных мест 2,5–3,0×1,0 м. Тополь бальзамический в возрасте 20–48 лет на чернозёме выщелоченном и типичном наибольшие биометрические показатели роста (на 6,5–20,6%) имеет при ширине насаждений до 10 м по отношению к защитным объектам шириной 12,5–15,0 м. В возрасте 25–35 лет на тёмно-серых лесных почвах и чернозёмах средняя высота средних рядов у тополя больше крайних на 4,4–7,6%, а диаметр центральных рядов меньше опушечных на 4,3–11,3%. Искусственные

линейные насаждения из тополя бальзамического в возрасте 19–27 лет в среднем имеют дальность ветрозащитного мелиоративного влияния 25–30Н (375–525 м). Наибольшая площадь, защищаемая 1 км лесополос, отмечается среди насаждений продуваемой структуры, которая формируется с учётом четырех рядов при ширине между-рядий 2,5–3,0 м.

Список литературы / References

1. Ивонин В.М. Лесомелиорация ландшафтов: учебник. Новочеркасск: НГМА, 2010. 170 с.
2. Ивонин В.М. Land reclamation of landscapes: a textbook. Novocherkassk: NGMA, 2010. 170 p. (in Russian).
3. Михин В.И., Михина Е.А., Михин Д.В. Рост тополя бальзамического в защитных насаждениях в условиях Центрального Черноземья // Современные вопросы науки XXI век. Сборник статей. Тамбов: ТОИПКРО, 2011. Вып. 7, ч. 5. С. 95–96.
4. Mihin V.I., Mihina E.A., Mihin D.V. Growth of balsamic poplar in protective plantings in the conditions of the Central Black Earth Region // Sovremennyye voprosy nauki XXI vek. Sbornik statey. Tambov: TOIPKRO, 2011. Vyp. 7, ch. 5. P. 95–96 (in Russian).
5. Танюкевич В.В. Продуктивность и мелиоративная роль лесных полос степных агролесоландшафтов. Новочеркасск: Лик, 2012. 175 с.
6. Tanyukevich V.V. Productivity and reclamation role of forest strips of steppe agroforestry landscapes. Novocherkassk: Lik, 2012. 175 p. (in Russian).
7. Балакай Н.И. Полезащитные лесные полосы // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. 2013. № 50. С. 17–24.
8. Balakai N.I. Protective forest belts // Puti povysheniya effektivnosti oroshayemogo zemledeliya. 2013. № 50. P. 17–24 (in Russian).
9. Турусов В.И., Чеканышкин А.С., Тищенко В.В., Годунов С.И., Ялманов И.В. Агроэкологическая роль лесных полос в преобразовании ландшафтов (на примере Каменной Степи). Каменная Степь, 2012. 191 с.
10. Turusov V.I., Chekanyshkin A.S., Tishchenko V.V., Godunov S.I., Yalmanov I.V. Agroecological role of forest strips in the transformation of landscapes (on the example of the Stone Steppe). Kamennaya Step', 2012. 191 p. (in Russian).
11. ГОСТ 56-69-83. Площадки пробные лесоустроительные. Методы закладки. М.: Издательство стандартов, 1984. 60 с.
12. Кудряшов Н.Н. Вариационная статистика: учебное пособие. Пенза: ФГБОУ ВО Пензенский ГАУ, 2018. 131 с.
13. Kudryashov N.N. Variational statistics: a training manual. Penza: FGBOU VO Penzenskiy GAU, 2018. 131 p. (in Russian).

УДК 635.044:635.5:631.8

КОМПОНЕНТНЫЙ СОСТАВ ЙОДНАКОПИТЕЛЬНЫХ СОРТОВ ЛИСТОВОГО САЛАТА В УСЛОВИЯХ ЗАЩИЩЕННОГО ГРУНТА

Олива Т.В., Манохина Л.А., Кузьмина Е.А.

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

Проведены исследования по изучению компонентного состава пяти сортов йоднакопительных листовых салатов: Вишневая дымка, Сезон чудес, красностигматный Файер, Чудо четырех сезонов и Долче Вита. Все исследования были проведены в условиях защищенного грунта в ООО Сельскохозяйственное предприятие «Теплицы Белогорья» на ватоминеральных кубиках с использованием системы капельного полива. В исследованиях показано, что дополнительная обработка растений салата йоднасыщенным гуминовым удобрением стимулирует процессы метаболизма и развитие ассимиляционного хлорофиллсодержащего аппарата в тканях листьев растений салатов всех пяти сортов. Максимальное стимулирующее воздействие гуминового удобрения выразилось в увеличении значений площади листовой поверхности и в содержании зеленого пигмента хлорофилла. Обнаружено, что гуминовое удобрение способствовало увеличению в зеленой массе листьев салата массовой доли сухого вещества и азота, макро- и микроэлементов (кальция, фосфора, калия, серы, магния, железа, меди, цинка и марганца), а также витамина С. Все растения пяти сортов салата обладали пластичностью по отношению к биогенному элементу йоду. Концентрация йода в листьях салата под влиянием применения йоднасыщенного гуминового удобрения возрастала значительно, в 10–25 раз ($p \leq 0,001$). Максимальное содержание йода обнаружено в зеленой массе салата сортов Сезон чудес и красностигматный Файер. Применение йоднасыщенного гуминового удобрения также увеличивало урожайность растений салата в среднем в 1,2–1,95 раза. Полученная тепличная зеленая продукция салатов соответствовала требованиям экологической безопасности: содержания нитратов и тяжелых металлов (кадмия, свинца, мышьяка и ртути) были значительно ниже предельно допустимых концентраций для пищевой продукции.

Ключевые слова: теплица, ватоминеральные кубики, йоднасыщенное гуминовое удобрение, йоднакопительные сорта листового салата

COMPONENT COMPOSITION OF IODINE-ACCUMULATIVE VARIETIES OF LETTUCE IN GREENHOUSE CONDITIONS

Oliva T.V., Manokhina L.A., Kuzmina E.A.

The Belgorod State Agrarian University named after V. Gorin, Maysky, e-mail: olivatv@mail.ru

Research has been carried out in order to study component composition of five varieties of iodine-accumulating lettuce: Cherry Haze, Season of Miracles, Red Leaf Fayer, Marvel of the Four Seasons, Dolce Vita. All tests were carried out in greenhouse conditions within LLC «Agricultural enterprise «Teplitsy Belogorya» in mineral cotton cubes with usage of drip irrigation systems. The study shows demonstrates that additional treatment of lettuce plants with iodine-enriched humic fertilizer stimulates metabolic processes and development of assimilation chlorophyll-carrying apparatus in leaf tissue of lettuce plants for all five varieties. Maximum stimulating effect of humic fertilizer was expressed in increase in leaf surface area and content of green pigment chlorophyll. It was discovered that humic fertilizer provided for an increase of dry matter within green mass of salad leaf, as well as nitrogen, macro- and microelements (calcium, phosphorus, potassium, sulphur, magnesium, iron, copper, zinc and manganese), and vitamin C. All plants of five salad varieties possessed certain plasticity against biogenic element iodine. Concentration of iodine in salad leaves under the influence of applied iodine-enriched humic fertilizer increased 10–25 times ($p \leq 0,001$). Maximum concentration of iodine was found in green mass of varieties Season of Miracles and Red Leaf Fayer. Implementing iodine-enriched humic fertilizer also increased yields of salad plants by an average of 1,2–1,95. The receive greenhouse green salad product corresponded to requirements of ecologic safety: concentration of nitrates and heavy metals (cadmium, lead, arsenic and mercury) was significantly lower that utmost allowed concentrations for nutritional products.

Keywords: greenhouse, mineral cotton cubes., iodine-accumulating humic fertilizer, iodine-enriched varieties of lettuce

Жизненно важные функции организма человека зависят от йодсодержащих тиреоидных гормонов, для синтеза которых требуется постоянное поступление йода в организм в строго определенном количестве. Потребность в биогенном элементе йоде зависит от его состояния в органической или минеральной форме, а также возрастает при разных биологических нагрузках. Так как минеральные соединения йода нестойкие и имеют невысокую эффективность

усвоения, перспективным способом профилактики йодной недостаточности становится биологический способ [1]. Для этого необходимо разрабатывать агротехнологии повышения содержания этого биогенного элемента в органической составляющей растительной или животной пищи. Поэтому поиск йоднакопительных культур сельскохозяйственных растений – это путь для разработки эффективных способов профилактики йоддефицита и гипотиреоза. Бо-

лее того, йодистые микроудобрения сами могут быть стимуляторами продуктивности растений. А некорневые подкормки йодистыми микроудобрениями дают преимущество в виде непосредственного введения в растения необходимого количества микроэлемента и обеспечивают так называемый «безбарьерный тип» питания, что дает возможность отслеживать содержание йода в тканях растения в нужных количествах. Такими «управляемыми» культурами могут быть тепличные листовые салаты. Несомненно, с учетом их круглогодичного выращивания и наличия в зелени разных витаминов, макро- и микроэлементов, в том числе и йода, салатные овощи являются лучшим примером оздоровительного питания для населения разных возрастов [2–4].

Цель исследования заключается в изучении влияния йодсодержащего гуминового препарата на компонентный состав йоднакопительных сортов листового салата, выращиваемых в теплице на ватоминеральных кубиках. Задача исследования – выявить самые перспективные и максимально накапливающие биогенный элемент йод листовые салаты.

Все исследования были проведены в 2015–2017 гг. в ООО СХП «Теплицы Белогорья» и в лаборатории биотехнологических исследований агрономического факультета ФГБОУ ВО «Белгородский государственный аграрный университет имени В.Я. Горина» по тематическому плану-заданию научно-исследовательских работ Минсельхоза России и ФГБОУ ВО «Белгородский ГАУ».

Материалы и методы исследования

Ранее нами было изучено накопление биогенного йода в широко известном йоднакопительном салате сорта Лолло Росса [5]. Но современный рынок предлагает большое разнообразие сортов йоднакопительных салатов. Нами изучено выращивание пяти сортов отечественных производителей семян йоднакопительных листовых тепличных салатов: Вишневая дымка и Сезон чудес (производитель семян ООО «Агрофирма ЭЛИТА»), краснолистный Файер (группа компаний «ГАВРИШ»), Чудо четырех сезонов и Дольче Вита (ООО «Семена НК»). Согласно сортовой характеристике все сорта салатов имеют отличный тонкий маслянистый вкус, яркий внешний вид с интенсивно вишневым или бронзово-красным цветом полухрустящего листа.

Проведение научно-производственного опыта осуществлялось в салатном отделении теплицы ООО СХП «Теплицы Белогорья» в соответствии с общепринятыми методиками в овощеводстве защищенного грунта [6]. Параметры среды для выращивания овощей в салатном отделении были следующие: освещение не менее 8 тыс. люкс, температура воздуха ночью – не менее 15 °С, днем – 21 °С, температура питательного раствора не менее 15 °С. Разница между поливным раствором и концентрацией в ватоминеральном кубике составляла около 1–1,5 мСм/см. Известно, что тепличные овощные салаты очень чувствительны к факторам внешней среды, в том числе к недостатку или избытку минеральных элементов. Согласно технологии выращивания листовых салатов, разработанной в теплице, содержание питательных элементов в капельном растворе составляло для катионов: N-NH₄ – 0,2; K – 6,9; Na – 0,8; Ca – 4,1; Mg – 1,5 ммоль/л; для анионов: N-NO₃ – 23,5; P – 1,1; SO₄ – 1,5; HCO₃ – 1,6 мкмоль/л; для минеральных элементов: B – 60,0; Fe – 40,0; Zn – 5,2; Mn – 2,2; Cu – 0,9 мкмоль/л. pH раствора равнялся 6,64.

Сев салата проводился нами вручную с помощью бамбуковой палочки в ватоминеральные кубики производства ЗАО «Завод нестандартного оборудования и металлоизделий», г. Белгород (ТУ 5762-013-54655944-2013). Перед севом семена растений пяти сортов салата замачивали в течение 4 ч в дистиллированной воде (контрольный вариант) и в йоднасыщенном растворе гуминового удобрения в концентрации 0,001 % (опытный вариант). Исходя из соображений, что йод растениями салата не может быть накоплен из окружающей закрытой среды теплицы и калий – тоже необходимый питательный элемент для сельскохозяйственных культур, рабочий раствор гуминового препарата готовили на основе раствора 0,02 % йодида калия. После массовых всходов, а затем каждые семь дней, дополнительно вегетативно обрабатывали (опрыскивали) растения листовых салатов йоднасыщенным гуминовым удобрением (опытный вариант) и дистиллированной водой (контрольный вариант). Продолжительность вегетативных наблюдений за ростом листовых салатов составляла 30 суток. В конце наблюдений из каждого варианта научно-производственного опыта для морфологических и биохимических исследований методом рандомизации отбирали по 10 растений. Исследования

включали: определение средней массы, ширины и длины одного листа, количества листьев в розетке и средней массы всего растения. Фотосинтетическую активность зеленого листа характеризовали, оценивая высечку ткани листа, площадь листовой поверхности и концентрации суммарного хлорофилла в тканях листа, а также питательных элементов по традиционным методам химического анализа [7]. Математическую обработку результатов исследования осуществляли методом дисперсионного анализа с использованием компьютерной программы Excel в среде операционной системы Microsoft Windows. Достоверность разницы между сравниваемыми величинами определяли по аргументу Стьюдента (t_d), достоверность представленных результатов оценивалась с учетом градации $p \leq 0,05$, $p \leq 0,01$ и $p \leq 0,001$.

Результаты исследования и их обсуждение

Массовые всходы растений разных сортов салата появились на 3–5 день после сева. Для опытного варианта исследований, после замачивания семян салата в йоднасыщенном гуминовом удобрении, было отмечено увеличение энергии прорастания и лабораторной всхожести растений. Усиление энергии прорастания семян привело к увеличению всхожести в среднем на 3% и в дальнейшем к улучшению метрической характеристики листьев розетки салатов. Сравнительная с контрольным вариантом биометрическая характеристика листьев пяти сортов салата, обрабатываемых раствором йоднасыщенного гуминового удобрения, представлена в табл. 1.

Согласно данным таблицы, ответная реакция растений пяти сортов листового салата на применение йоднасыщенного гуминового удобрения в целом положительная, хотя не все изменения листовой пластинки подтверждаются статистическим анализом и достоверны. Максимальное стимулирующее воздействие гуминового удобрения выразилось в увеличении значений площади листовой поверхности и в улучшении развития ассимиляционного аппарата. Это согласуется с выводами ряда других научных работ [8]. Среднее содержание суммарного хлорофилла в зеленой массе листьев салата показано в табл. 2.

Результаты табличных данных свидетельствуют, что гуминовое удобрение стимулировало образование зеленого пигмента в листьях всех пяти сортов салата по сравнению с контролем. По уровню содержания на 1 см² площади листа суммарного хлорофилла растения салата в контрольном варианте располагаются в следующий убывающий ряд: крастнолистный Файер – Сезон чудес – Вишневая дымка – Дольче вита – Чудо четырех сезонов. В опытном варианте ряд накопления хлорофилла на 1 см² площади листа выглядит иным образом: красностный Файер – Чудо четырех сезонов – Сезон чудес – Вишневая дымка – Дольче вита. Можно считать, что самым отзывчивым сортом на гуминовое удобрение является сорт салата Чудо четырех сезонов. Уровень содержания зеленого пигмента на 1 см² площади листа возрос в среднем в 2,1 раза. Наименьшее увеличение накопления хлорофилла на см² площади листа салата отмечено для сорта Дольче Вита (в среднем в 1,2 раза).

Таблица 1
Средняя метрическая характеристика листовых салатов, 30 сут. вегетации

Сорт салата		Средняя длина листа, см	Средняя ширина листа, см	Масса листьев, г	Площадь листовой поверхности, см ²
Вишневая дымка	контроль	14,25 ± 0,46	8,36 ± 0,52	6,13 ± 0,49	162,88 ± 19,76
	опыт	17,67 ± 0,51**	9,57 ± 0,58	13,30 ± 0,55**	422,27 ± 22,17**
Сезон чудес	контроль	21,43 ± 0,57	9,53 ± 0,51	14,93 ± 0,49	592,23 ± 19,56
	опыт	25,64 ± 0,59**	11,48 ± 0,55*	16,81 ± 0,58*	627,90 ± 20,34
Краснолистный Файер	контроль	10,12 ± 0,54	8,24 ± 0,47	5,18 ± 0,52	187,96 ± 22,56
	опыт	14,25 ± 0,58**	9,75 ± 0,46*	8,79 ± 0,58**	301,71 ± 22,51**
Чудо четырех сезонов	контроль	9,17 ± 0,56	9,12 ± 0,49	4,83 ± 0,51	197,87 ± 18,41
	опыт	11,32 ± 0,53*	9,68 ± 0,51	5,70 ± 0,49	241,30 ± 19,35
Дольче Вита	контроль	10,75 ± 0,54	8,23 ± 0,47	7,15 ± 0,62	252,24 ± 20,37
	опыт	11,47 ± 0,59	9,16 ± 0,53	13,94 ± 0,67**	315,70 ± 21,89*

Примечания: * $p \leq 0,05$; ** $p \leq 0,01$ по сравнению с контрольным вариантом.

Таблица 2

Среднее содержание хлорофилла в листьях салата, 30 сут. вегетации

Сорт салата		Суммарное содержание хлорофилла		
		мг/кг	мг/растение	мкг/см ²
Вишневая дымка	контроль	1200 ± 8	6,160 ± 0,01	38,03 ± 0,11
	опыт	1540 ± 10**	20,48 ± 0,03***	48,53 ± 0,08**
Сезон чудес	контроль	1660 ± 12	24,78 ± 0,01	41,86 ± 0,10
	опыт	1980 ± 15**	33,28 ± 0,05***	52,99 ± 0,10**
Краснолистный Файер	контроль	1760 ± 12	9,12 ± 0,02	48,50 ± 0,15
	опыт	2160 ± 12*	27,30 ± 0,05***	90,40 ± 0,24***
Чудо четырех сезонов	контроль	1220 ± 6	8,720 ± 0,01	34,57 ± 0,10
	опыт	1660 ± 8**	23,14 ± 0,03***	73,30 ± 0,14***
Дольче Вита	контроль	1500 ± 10	8,55 ± 0,01	35,43 ± 0,10
	опыт	1640 ± 10*	8,64 ± 0,02	41,14 ± 0,12*

Примечания: *p ≤ 0,05; **p ≤ 0,01; ***p ≤ 0,001 по сравнению с контролем.

Таблица 3

Средний химический состав зелени листового салата, 30 сут. вегетации

Сорт салата		Сухое вещество, %	Массовая доля золы, %	Массовая доля азота, %	Массовая доля белка, %
Вишневая дымка	контроль	4,29 ± 0,12	0,97 ± 0,02	0,18 ± 0,01	1,12 ± 0,04
	опыт	4,93 ± 0,12	1,02 ± 0,02	0,21 ± 0,02	1,30 ± 0,05
Сезон чудес	контроль	4,92 ± 0,10	1,02 ± 0,01	0,20 ± 0,02	1,25 ± 0,05
	опыт	5,10 ± 0,10	1,12 ± 0,02	0,21 ± 0,04	1,28 ± 0,04
Краснолистный Файер	контроль	5,07 ± 0,10	1,13 ± 0,01	0,19 ± 0,01	1,19 ± 0,05
	опыт	5,65 ± 0,14	1,22 ± 0,02	0,23 ± 0,01	1,45 ± 0,10
Чудо четырех сезонов	контроль	4,09 ± 0,10	1,04 ± 0,01	0,17 ± 0,02	1,10 ± 0,08
	опыт	4,75 ± 0,12	1,19 ± 0,02	0,19 ± 0,02	1,22 ± 0,08
Дольче Вита	контроль	4,61 ± 0,10	0,98 ± 0,01	0,19 ± 0,01	1,18 ± 0,04
	опыт	5,64 ± 0,14*	1,19 ± 0,04	0,19 ± 0,01	1,20 ± 0,04

Примечания: *p ≤ 0,05 по сравнению с контрольным вариантом.

Таким образом, вегетативная обработка розетки салата йодированным гуминовым удобрением способствовала лучшему развитию листьев и увеличивала общее содержание хлорофилла в организме растения. Следовательно, будут ожидаемы положительные изменения в метаболизме организма растений [9, 10]. В табл. 3 представлена средняя биохимическая характеристика зеленой листовой массы салата в пересчете на натуральное вещество.

Данные таблицы показывают, что применение гуминового удобрения положительно повлияло на характеристики растений салата всех пяти сортов по сравнению с контрольным вариантом. Повышение концентрации зеленого пигмента и оптимизация ассимилирующих функций листа увеличивали массовые доли сухого вещества,

сырой золы, общего азота и белка в зелени пяти сортов салата.

В табл. 4–6 приведены средние результаты минерального состава растений в пересчете на натуральное вещество.

Дополнительное применение гуминового удобрения способствовало накоплению листьями четырех сортов салата, за исключением сорта краснолистный Файер, биогенного кальция. Увеличение массовых долей фосфора и калия в зелени растений салата обнаружено для всех пяти сортов салата, причем максимальное значение содержания фосфора отмечено для салата сорта Сезон чудес (p ≤ 0,01). Массовая доля натрия в тканях листьев салата достоверно возрастала для двух сортов салата Вишневая дымка и Сезон чудес (p ≤ 0,01).

Таблица 4

Среднее содержание минеральных элементов кальция, фосфора, калия и натрия в зелени растений салата, % (натуральное вещество), 30 сут. вегетации

Сорт салата		Массовая доля кальция	Массовая доля фосфора	Массовая доля калия	Массовая доля натрия
Вишневая дымка	контроль	0,050 ± 0,001	0,037 ± 0,002	0,408 ± 0,001	0,015 ± 0,001
	опыт	0,062 ± 0,002*	0,041 ± 0,002*	0,468 ± 0,002*	0,024 ± 0,002*
Сезон чудес	контроль	0,059 ± 0,001	0,043 ± 0,001	0,467 ± 0,002	0,022 ± 0,002
	опыт	0,081 ± 0,001**	0,081 ± 0,002**	0,504 ± 0,001*	0,041 ± 0,001**
Краснолистный Файер	контроль	0,081 ± 0,001	0,044 ± 0,001	0,488 ± 0,002	0,022 ± 0,002
	опыт	0,076 ± 0,001	0,046 ± 0,001	0,551 ± 0,002*	0,023 ± 0,003
Чудо четырех сезонов	контроль	0,069 ± 0,002	0,043 ± 0,002	0,384 ± 0,002	0,024 ± 0,002
	опыт	0,073 ± 0,001	0,045 ± 0,001	0,446 ± 0,002*	0,025 ± 0,002
Дольче Вита	контроль	0,077 ± 0,002	0,052 ± 0,002	0,438 ± 0,002	0,022 ± 0,002
	опыт	0,087 ± 0,001*	0,054 ± 0,001	0,522 ± 0,002*	0,021 ± 0,002

Примечания: * $p \leq 0,05$; ** $p \leq 0,01$ по сравнению с контрольным вариантом.

Таблица 5

Среднее содержание минеральных элементов серы, магния и железа в зелени растений салата, 30 сут. вегетации (натуральное вещество)

Сорт салата		Сера, г/кг	Магний, г/кг	Железо, мг/кг
Вишневая дымка	контроль	0,154 ± 0,004	0,427 ± 0,005	9,61 ± 0,01
	опыт	0,221 ± 0,002*	0,454 ± 0,002*	12,55 ± 0,03*
Сезон чудес	контроль	0,197 ± 0,003	0,330 ± 0,001	15,56 ± 0,06
	опыт	0,242 ± 0,002**	0,443 ± 0,003**	27,61 ± 0,10**
Краснолистный Файер	контроль	0,154 ± 0,002	0,444 ± 0,004	28,61 ± 0,02
	опыт	0,181 ± 0,001	0,525 ± 0,005**	37,82 ± 0,02*
Чудо четырех сезонов	контроль	0,127 ± 0,002	0,405 ± 0,002	24,28 ± 0,02
	опыт	0,171 ± 0,004	0,617 ± 0,001**	26,15 ± 0,02
Дольче Вита	контроль	0,142 ± 0,002	0,171 ± 0,002	21,61 ± 0,02
	опыт	0,161 ± 0,001*	0,510 ± 0,001***	35,81 ± 0,04**

Примечания: * $p \leq 0,05$; ** $p \leq 0,01$; *** $p \leq 0,001$ по сравнению с контролем.

Сравнительный анализ результатов показывает, что растения пяти сортов салата с разной интенсивностью накапливают из капельного питательного раствора серу, магний и железо. К максимальным серонакопительным сортам салата можно отнести Вишневую дымку и Чудо четырех сезонов, в зелени которых массовая доля серы превышала значения контрольных вариантов на 43,5 и 34,7% соответственно. Максимальными железнакопительными салатами являются сорт Сезон чудес и сорт Дольче Вита, в листьях которых отмечено повышение уровня элемента на 77,5 и 65,7% соответственно по сравнению с контролем. Минимальной накопительной способностью в отношении железа обладал сорт салата Чудо четырех сезонов. После обработки гуминовым удобрением в зелени этого салата содержание железа увеличилось на 7,7%.

Оказалось, что растения сорта Чудо четырех сезонов и сорта Дольче Вита преимущественно накапливают медь. В отношении наибольшего накопления марганца можно выделить сорта Вишневая дымка, Чудо четырех сезонов и Дольче Вита. Все пять сортов салата после дополнительной вегетативной обработки гуминовым удобрением в тканях листа с разной интенсивностью накапливали цинк. Несомненно, что применение йодированного гуминового удобрения способствовало значительному накоплению йода в тканях растений ($p \leq 0,001$). Концентрация биогенного элемента в листьях увеличилась для сорта салата Вишневая дымка в 14,5 раза; для Сезона чудес в 19,2 раза, для краснолистного Файера в 25,0 раза, для Чуда четырех сезонов в 10,5 раза и для Дольче Вита в 12,4 раза.

Таблица 6

Среднее содержание минеральных элементов меди, марганца, цинка и йода в зелени растений салата, 30 сут. вегетации (натуральное вещество)

Сорт салата		Медь, мг/кг	Марганец, г/кг	Цинк, мг/кг	Йод, мг/кг
Вишневая дымка	контроль	$0,28 \pm 0,01$	$1,49 \pm 0,03$	$1,85 \pm 0,01$	$0,18 \pm 0,01$
	опыт	$0,33 \pm 0,01$	$1,83 \pm 0,03^*$	$2,63 \pm 0,02^{**}$	$2,60 \pm 0,42^{***}$
Сезон чудес	контроль	$0,30 \pm 0,01$	$1,52 \pm 0,03$	$2,18 \pm 0,01$	$0,21 \pm 0,01$
	опыт	$0,33 \pm 0,02$	$1,53 \pm 0,2$	$2,82 \pm 0,02^*$	$4,02 \pm 0,22^{***}$
Краснолистный Файер	контроль	$0,41 \pm 0,01$	$2,06 \pm 0,03$	$2,77 \pm 0,05$	$0,20 \pm 0,02$
	опыт	$0,45 \pm 0,03$	$2,14 \pm 0,02$	$4,56 \pm 0,06^{**}$	$3,00 \pm 0,15^{***}$
Чудо четырех сезонов	контроль	$0,41 \pm 0,01$	$1,99 \pm 0,04$	$2,83 \pm 0,03$	$0,28 \pm 0,02$
	опыт	$0,51 \pm 0,02^*$	$2,42 \pm 0,02^*$	$3,94 \pm 0,04^{**}$	$2,95 \pm 0,15^{***}$
Дольче Вита	контроль	$0,40 \pm 0,01$	$1,83 \pm 0,03$	$3,15 \pm 0,05$	$0,23 \pm 0,01$
	опыт	$0,47 \pm 0,02^*$	$2,73 \pm 0,02^{**}$	$3,81 \pm 0,02^*$	$2,84 \pm 0,24^{***}$

Примечания: * $p \leq 0,05$; ** $p \leq 0,01$; *** $p \leq 0,001$ по сравнению с контролем.

Таблица 7

Товарное качество и показатели экологической безопасности листового салата

Сорта салатов		Витамин С, мг/%	Нитраты, мг/кг	Кадмий, мг/кг	Свинец, мг/кг
Вишневая дымка	контроль	$9,85 \pm 0,05$	1179 ± 15	$0,009 \pm 0,002$	$0,118 \pm 0,002$
	опыт	$18,76 \pm 0,12^{**}$	$936 \pm 12^*$	$0,008 \pm 0,002$	$0,080 \pm 0,001$
Сезон чудес	контроль	$11,6 \pm 0,14$	1664 ± 10	$0,007 \pm 0,001$	$0,118 \pm 0,002$
	опыт	$13,13 \pm 0,10$	$1526 \pm 11^*$	$0,006 \pm 0,001$	$0,080 \pm 0,001$
Краснолистный Файер	контроль	$24,39 \pm 0,12$	1318 ± 18	$0,011 \pm 0,005$	$0,100 \pm 0,002$
	опыт	$28,14 \pm 0,14^*$	1075 ± 15	$0,006 \pm 0,001$	$0,080 \pm 0,001$
Чудо четырех сезонов	контроль	$10,32 \pm 0,11$	1179 ± 24	$0,009 \pm 0,002$	$0,079 \pm 0,001$
	опыт	$10,79 \pm 0,04$	971 ± 11	$0,007 \pm 0,002$	$0,077 \pm 0,001$
Дольче Вита	контроль	$18,76 \pm 0,11$	1456 ± 16	$0,009 \pm 0,003$	$0,081 \pm 0,002$
	опыт	$18,78 \pm 0,12$	1387 ± 15	$0,009 \pm 0,02$	$0,064 \pm 0,001$
ПДУ, СанПиН 2.3.2.1078-2001, п.1.6.1			< 2000	< 0,03	< 0,50

Примечания: * $p \leq 0,05$ по сравнению с контролем.

Итак, изучаемые йоднакопительные сорта зеленого салата очень пластичны по отношению к химическому элементу йод, могут накапливать его в больших количествах и иметь свойства функциональной (оздоровительной) продукции, а значит, могут быть использованы для профилактики йоддефицитного состояния человека.

В табл. 7 представлена характеристика высокого товарного качества и показатели экологической безопасности листового салата разных сортов.

В зелени салата сорта Вишневая дымка и сорта краснолистный Файер отмечено достоверное увеличение содержания витамина С. В листьях всех пяти сортов салата опытных растений существенно снижалось количество нитратов. Для сорта Вишневая дымка и сорта краснолистный Файер –

в среднем на 243 ± 15 мг/кг; для сорта Чудо четырех сезонов – на 208 ± 18 ; для сорта Сезон чудес – на 138 ± 12 мг/кг и для сорта Дольче Вита – на 69 ± 12 мг/кг по сравнению с контролем. Содержание кадмия и свинца в зеленой массе салата было значительно ниже ПДУ, а мышьяк и ртуть в листьях салата обнаружены не были.

Применение йоднасыщенного гуминового удобрения увеличивало урожайность растений сорта Вишневая дымка – в 1,95 раза; сорта Сезон чудес – в 1,2 раза; сорта краснолистный Файер – в 1,3 раза; сорта Чудо четырех сезонов – в 1,2 раза и сорта Дольче Вита – в 1,6 раза.

Заключение

Изучение компонентного состава йоднакопительных сортов листового салата

продемонстрировало, что в условиях защищенного грунта растения пяти изучаемых сортов салата Вишневая дымка, Сезон чудес, краснолистный Файер, Чудо четырех сезонов и Дольче Вита очень пластичны в отношении накопления йода и минеральных элементов. Предпосевное замачивание семян и последующее опрыскивание растений культуры салата йоднасыщенным гуминовым удобрением увеличивало среднее содержание йода в листьях растений в 10 – 25 раз ($p \leq 0,001$). Максимальное содержание йода обнаружено в зеленой массе салата сорта Сезон чудес и сорта краснолистный Файер. Под влиянием применения йоднасыщенного гуминового удобрения в листьях салата всех пяти изучаемых сортов возрастало содержание фосфора, калия, серы, магния, железа и цинка. Наивысшее содержание фосфора отмечено для салата сорта Сезон чудес, натрия – для растений двух сортов Вишневая дымка и Сезон чудес. К серонакопительным растениям культуры салата можно отнести сорт Вишневая дымка и сорт Чудо четырех сезонов, к железонкопительным – сорт Сезон чудес и сорт Дольче Вита, к медьнакопительным – сорт Чудо четырех сезонов и сорт Дольче Вита. Растения четырех сортов Вишневая дымка, Сезон чудес, Чудо четырех сезонов и Дольче Вита, за исключением сорта краснолистный Файер, дополнительно накапливали биогенный кальций. В исследованиях показано, что йоднасыщенное гуминовое удобрение стимулирует процессы метаболизма и развитие ассимиляционного хлорофиллсодержащего аппарата организма растений салата всех пяти изучаемых сортов. Это объясняет повышение урожайности листового салата в среднем в 1,2–1,95 раза. В то же время полученная тепличная зеленая продукция соответствует требованиям экологической безопасности, имеет повышенное содержание витамина С и поэтому может быть использована с пользой для организма человека круглогодично.

Список литературы / References

1. Дзахмишева И.Ш. Профилактика йододефицита функциональными продуктами питания // Фундаментальные исследования. 2013. № 10–11. С. 2418–2421.
2. Dzhahmishева I.Sh. Iodine deficiency prevention with functional foods // Fundamental research. 2013. № 10–11. P. 2418–2421 (in Russian).
3. Авдеенко С.С. Продуктивность и качество салата листового в Ростовской области // Рацио-нальное питание, пищевые добавки и биостимуляторы. 2014. № 5. [Электронный ресурс]. URL: <http://journal-nutrition.ru/ru/article/view?id=200> (дата обращения: 12.11.2019).
4. Avdeenko S.S. Productivity and quality of leaf salad in Rostov region // Racional'noe pitanie, pishchevye dobavki i biostimulyatory. 2014. № 5. [Electronic resource]. URL: <http://journal-nutrition.ru/ru/article/view?id=200> (date of access: 12.11.2019) (in Russian).
5. Колпаков Н.А., Чернышева Н.Н., Федорова М.И., Буркова Е.В., Вол Ю.С. Сравнительная оценка сортов и гибридов овощных культур в защищенном грунте // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2015. № 12 (134). С. 5–9.
6. Kolkpakov N.A., Chernysheva N.N., Fedorova M.I., Burkova Ye.V., Vol Yu.S. Comparative evaluation of vegetable crop varieties and hybrids in protected ground // Vestnik Altajskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2015. № 12 (134). P. 5–9 (in Russian).
7. Табаленкова Г.Н., Дальке И.В., Малышев Р.В., Григорай Е.Е., Буткин А.В. Продуктивность и компонентный состав листового салата при разных световых режимах в условиях защищенного грунта // Гавриш. 2013. № 4. С. 13–16.
8. Tabalenkova G.N., Dalke I.V., Malyshev R.V., Grigoriy E.E., Butkin A.V. Productivity and compositional analysis of leaf lettuce under different light conditions in protected ground // Gavrish. 2013. № 4. P. 13–16 (in Russian).
9. Олива Т.В., Панин С.И., Колесниченко Е.Ю., Кузьмина Е.А., Ярцева Е.А. Тепличное производство йоднакопительного листового салата сорта Лолло Росса // Современные проблемы науки и образования. 2015. № 6. [Электронный ресурс]. URL: <http://science-education.ru/ru/article/view?id=23577> (дата обращения: 12.11.2019).
10. Oliva T.V., Panin S.I., Kolesnichenko E.Yu., Kuzmina E.A., Yartseva E.A. Hothouse production of iodine save leaf lettuce of Lollo Ross cultivar // Modern problems of science and education. 2015. № 6. [Electronic resource]. URL: <http://science-education.ru/ru/article/view?id=23577> (date of access: 12.11.2019) (in Russian).
11. Доспехов Б.А. Опыты с овощными культурами в сооружениях защищенного грунта / В кн.: Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). М.: Агропромиздат, 1985. С. 120–122.
12. Dospekhov B.A. Experiments with vegetable crops in protected soil structures / V kn.: Technique of field experiment (with bases of statistical processing of results of research). M.: Agropromizdat, 1985. C. 120–122 (in Russian).
13. Пискунов А.С. Методы агрохимических исследований. М.: КолосС, 2004. 312 с.
14. Piskunov A.S. Methods of agrochemical research. M.: KolosS, 2004. 312 p. (in Russian).
15. Касторнова А., Кунавин Г. Урожайность шпината в зависимости от обработки гуматом калия – натрия // Овощеводство и тепличное хозяйство. 2015. № 3. С. 7–10.
16. Kastornova A., Kunavin G. Productivity of spinach depending on processing by potassium-sodium humate // Ovoshchevodstvo i teplichnoe hozyajstvo. 2015. № 3. P. 7–10 (in Russian).
17. Андрианова Ю.Е., Тарчевский И.А. Хлорофилл и продуктивность растений. М.: Наука, 2000. 135 с.
18. Andrianova Yu.E., Tarchevskij I.A. Chlorophyll and plant productivity. M.: Nauka, 2000. 135 p. (in Russian).
19. Медведев С.С. Механизмы регуляции морфогенеза растений // В материалах VII съезда общества физиологов растений России. Материалы докладов (в двух частях). Часть II. Нижний Новгород, 2011. С. 470–471.
20. Medvedev S.S. Regulation mechanism of plant morphogenesis // V materialah VII sezda obshchestva fiziologov rastenij Rossii. Materialy докладов (v dvuh chastyah). Chast' II. Nizhniy Novgorod, 2011. P. 470–471 (in Russian).

УДК 633.112.1«321»:631.527:631.559 (470.44)

**СЕЛЕКЦИОННАЯ ОЦЕНКА СОРТООБРАЗЦОВ
И ЛИНИЙ ЯРОВОЙ ТВЁРДОЙ ПШЕНИЦЫ
В ЗАСУШЛИВЫХ УСЛОВИЯХ НИЖНЕГО ПОВОЛЖЬЯ****Шьюрова Н.А., Субботин А.Г., Жужукин В.И., Нарушев В.Б.,
Мухатова Ж.Н., Башинская О.С.***Саратовский ГАУ им. Н.И. Вавилова, Саратов, e-mail: subbotinag2014@mail.ru*

Проведенные исследования по изучению сортов и новых линий яровой твёрдой пшеницы позволили выявить наиболее перспективные сортобразцы для дальнейшей селекции. По устойчивости к пыльной головне выделялись сорта Аннушка, Безенчукская 182 и линии СП-8/2019, ЛСГАУ-9; по устойчивости к засухе – сорта Елизаветинская, Луч 25, Краснокутка 13 и линии ЛСГАУ-7, ЛСГАУ-9 и СП-8/2019; по содержанию белка в зерне – сорта Луч 25, Саратовская золотистая, Безенчукская 182, Краснокутка 13 и линии ЛСГАУ-9, ЛСГАУ-11 и СП-8/2019; по урожайности зерна – сорт Луч 25 и линии ЛСГАУ-7, СП-8/2019. Проведенные исследования по изучению новых селекционных линий яровой твёрдой пшеницы селекции СГАУ, относящихся к различным группам спелости, выявили перспективные образцы для дальнейшей селекции. Исследования селекционеров Саратовского ГАУ позволили выявить превосходство группы позднеспелых линий, имеющих наивысшие показатели: по массе зерна с главного колоса выделились линии ЛС-165 и ЛС-179 – 1,71 и 1,89 г соответственно, по количеству зёрен с главного колоса – линии ЛС-179 и ЛС-165 – 50,6 и 52,9 шт соответственно, по наибольшей величине флагового листа – линии ЛС-151 и ЛС-179 – 39,2 и 39,1 см² соответственно. В результате исследований выделена для передачи на государственное сортоиспытание селекционная линия СП-8/2019 (Экспрессия), превосходящая по урожайности, а также по показателям элементов структуры урожая и качества зерна сорт-стандарт и все другие сорта яровой твёрдой пшеницы в условиях Нижнего Поволжья.

Ключевые слова: яровая твёрдая пшеница, сорт, линия, урожайность, качество, продуктивность, Нижнее Поволжье

**SELECTIVE EVALUATION OF GRADE SAMPLES AND LINES OF SPRING
HARD WHEAT IN DRY CONDITIONS OF LOWER VOLGA REGION****Shyurova N.A., Subbotin A.G., Zhuzhukin V.I., Narushev V.B.,
Mukhatov Zh.N., Bashinskaya O.S.***Saratov State University named after N.I. Vavilov, Saratov, e-mail: subbotinag2014@mail.ru*

The article presents the results of studies on the assessing different varieties and new selection lines of spring hard wheat in the conditions of the Lower-Volga region. Research, carried out to study varieties and new lines of spring hard wheat have revealed the most promising variety samples for further selection. According to resistance against dust head, variety Annushka, Besenchuk 182, SP-8/2019 and LSGAU-9 were allocated. According to drought resistance – Elizabeth variety, Beam 25 grade, Krasnokutka 13 grade, LSGAU lines – 7, LSGAU – 9 and SP-8/2019; In terms of protein content in grain – class Beam 25, class Saratov golden, class Besenchuk 182, class Krasnokutka 13, lines LSGAU -9, LSGAU-11 and SP – 8/2019; Grain yield – Beam 25 grade, LSGAU lines – 7 and SP-8/2019. A research was carried out to study new selection lines of spring hard wheat of SGAU selection belonging to different ripeness groups revealed promising samples for further selection. Studies of breeders of Saratov GAU allowed to reveal superiority of the group of late-life lines, which have the highest indicators: on the mass of grain from the main ear LS-165 and LS-179 lines – 1.71 and 1.89 g according to, by amount of grains from the main ear – LS-179 and LS-165 line – 50.6 and 52.9 pieces respectively, in the largest size of a flag leaf – LS-151 and LS-179 line – 39.2 and 39.1 cm² respectively were allocated. As a result of the studies, selection line of SP-8/2019 (Expression), superior in yield, as well as in all indicators of crop structure and grain quality of grade-standard and other varieties of spring hard wheat, has been identified for transmission to the State.

Keywords: spring hard wheat, variety, line, yield, quality, pro-ductility, Lower Volga region

Наблюдаемое в последние годы потепление климата оказывает существенное влияние на развитие сельского хозяйства в мире и в Российской Федерации. Усиливающаяся в результате хозяйственной деятельности разбалансировка природных процессов приводит к существенной вариации в режимах выпадения осадков, температуре и к увеличению частоты природных аномалий – засух, заморозков, ура-

ганов и наводнений. Данные Министерства природы РФ показывают, что только за двадцатилетний период исследований, с 1990 по 2010 г., количество природных катастроф возросло в 4 раза и отмечается тенденция их дальнейшего увеличения [1]. Анализ погодных данных за этот же период в Нижневолжском регионе показывает, что среднегодовая температура воздуха повысилась на 0,5–0,7 °С и отмечается заметный

рост дефицита осадков в летний период. Учитывая нестабильность климатических условий в регионе имеется острая необходимость в создании новых сортов полевых культур, устойчивых к комплексу абиотических факторов [2, 3].

Проблема стабилизации производства зерна твёрдой пшеницы в России является актуальной и решается селекционными методами создания новых высокоурожайных, засухоустойчивых и холодостойких сортов с хорошо развитой корневой системой, устойчивых к комплексу биотических и абиотических стрессовых факторов [4–6], а также путем внедрения современных биоэнергетически эффективных элементов технологии возделывания [7–9].

Цель исследования: провести оценку коллекции сортов и новых перспективных линий яровой твёрдой пшеницы по основным хозяйственно ценным признакам в условиях засушливого Нижнего Поволжья.

Материалы и методы исследования

Исследования осуществлялись на опытных полях ФГБОУ ВО «Саратовский ГАУ», расположенных в УНПК «Агроцентр» (Саратовское Правобережье) и УНПО «Поволжье» Энгельсского района (Саратовское Левобережье) Саратовской области.

Климат региона – континентальный, засушливый. Годовая сумма осадков – 350–450 мм. Среднегодовая температура составляет $\pm 5,5$ – $6,5^\circ\text{C}$. На территории региона преобладают чернозёмные и каштановые почвы с содержанием гумуса около 3,5–5,0%. Содержание нитратного азота – низкое, доступного фосфора – низкое и среднее, обменного калия – высокое.

В 2016–2019 гг. были заложены и проведены следующие полевые эксперименты:

1. Конкурсное изучение коллекции сортов и линий яровой твёрдой пшеницы.
2. Сравнительная оценка продуктивности селекционных линий яровой твёрдой пшеницы.
3. Морфофизиологическая оценка селекционных линий Саратовского ГАУ.

Погодные условия в годы проведения полевых опытов соответствовали засушливым условиям Нижнего Поволжья.

Опытные делянки размещали по предшественнику озимая пшеница. Соблюдалась рекомендуемая зональная технология возделывания яровой твёрдой пшеницы. В питомнике конкурсного испытания посев проводился в третьей декаде апреля сеялкой ССНП-16 рядовым способом с между-

рядьями 15 см, нормой высева 4,0 млн всхожих семян на 1 га. Площадь делянки – 20 м². Повторность – трехкратная, размещение вариантов рендомизированное. В коллекционном и селекционных питомниках (СП-2) сортообразцы размещали на делянках площадью 0,72 м² (длина рядка 1,2 м, число рядков – 3, междурядье – 0,2 м). На делянке высевали 300 зерен. Повторность трехкратная. Посев осуществляли аппаратами для ручного посева.

Наблюдения и учётывались проводились по методике Государственного сортоиспытания [10]. Уборка урожая проводилась комбайном «TERRION-2010» в первой декаде августа. Качественные показатели зерна определяли по общепринятой методике в учебно-научно-производственном комплексе «Селекция и экспериментальное семеноводство» ФГБОУ ВО «Саратовский ГАУ им. Н.И. Вавилова».

Результаты исследования и их обсуждение

Проведенная оценка коллекции по хозяйственно ценным признакам позволила выявить особенности реакции изучаемых сортов и линий на погодные факторы.

Результаты показывают, что высокая температура воздуха и дефицит осадков приводят к сокращению вегетационного периода и в связи с этим важную роль у современных сортов играет такой показатель, как продолжительность периода «всходы – колошение». Период «всходы – колошение» у сорта-стандарта Николаша и сорта Безенчукская 209 составил 43,0 суток (табл. 1).

Среди изучаемых сортов и линий выделены образцы с укороченным периодом 42,3–42,8 суток – сорта Краснокутка 13 и Саратовская золотистая.

Наиболее продолжительный период «всходы – колошение» отмечен у сортов Крассар и Безенчукская 200 – 45,7 и 46,7 суток соответственно. У созданных учеными СГАУ селекционных линий яровой твёрдой пшеницы отмечалась различная продолжительность периода «всходы – колошение». Так, линия ЛСГАУ-7 незначительно отличалась от сорта-стандарта Николаша – у нее продолжительность периода «всходы – колошение» составила 43,1 суток. Новые линии ЛСГАУ-9 и СП 8/2019 превышали сорт-стандарт на 1,2 (44,2) и 1,6 (44,6) суток соответственно, а у линии ЛСГАУ-11 данный показатель составил 45,3 суток, на 2,3 суток превышая стандарт.

Таблица 1
Характеристика изучаемого селекционного материала яровой твёрдой пшеницы в питомнике конкурсного испытания по основным хозяйственно ценным признакам, 2017–2019 гг.

Сортообразцы, линии	Период «входы – колошение», суток	Поражённость пыльной головнёй, %	Засухоустойчивость, балл	Высота растения, см	Длина колоса, см	Содержание протеина в зерне, %	Урожайность, т/га
Николаша (стандарт)	43,0	2,2	5,0	95,4	8,0	14,1	1,36
Аннушка	43,7	4,2	3,5	92,3	8,4	13,9	1,14
Валентина	45,3	3,9	4,5	101,3	9,7	13,6	1,21
Елизаветинская	44,4	2,5	5,0	99,7	9,5	13,0	1,33
Крассар	45,7	1,1	4,5	89,4	9,0	13,7	1,29
Лилек	45,4	3,1	4,5	86,4	8,6	13,4	1,27
Луч 25	44,7	2,2	5,0	92,1	8,1	14,3	1,42
Людмила	45,2	2,7	4,5	96,4	8,8	13,2	1,35
НИК	42,8	3,2	4,5	82,7	8,1	13,5	1,27
Саратовская золотистая	42,3	5,4	3,5	98,4	9,1	14,2	1,04
Безенчукская 182	43,1	4,3	4,0	98,7	9,3	14,3	1,07
Безенчукская 200	46,7	5,7	4,0	102,4	9,6	13,6	1,19
Безенчукская 205	44,2	2,3	3,5	91,4	8,9	12,9	0,98
Безенчукская 209	43,0	2,7	4,5	84,7	8,4	13,1	1,20
Безенчукская 210	45,3	3,4	4,5	107,7	9,8	13,3	1,22
Краснокутка 13	42,3	2,7	5,0	87,7	8,2	14,4	1,29
ЛСГАУ-7	43,1	2,4	5,0	98,7	8,8	14,3	1,37
ЛСГАУ-9	44,2	1,7	5,0	88,7	8,5	13,9	1,34
ЛСГАУ-11	45,3	2,1	4,5	90,2	8,3	14,1	1,28
СП-8/2019	44,6	0,7	5,0	94,5	8,8	14,4	1,42
НСР ₀₅	2,4	Ns	–	6,4	0,6	0,7	0,8

В условиях Нижнего Поволжья существенное значение в формировании урожая яровой твердой пшеницы имеет устойчивость растений к пыльной головне, что, естественно, обязательно учитывается при создании новых сортов и перспективных линий. Оценка коллекции сортообразцов яровой твердой пшеницы показала различную устойчивость к данному заболеванию. Так, у сорта-контроля Николаша доля пораженных пыльной головней растений составила 2,2%. У сортов Луч 25 и Безенчукская 205, линий ЛСГАУ-7 и ЛСГАУ-11 доля пораженных пыльной головней растений приближалась к стандарту – 2,1–2,4%. Несколько выше отмечали поражение пыльной головней на опытных делянках с сортами Аннушка, Лилёк, НИК, Саратовская золотистая, Безенчукская 200, Безенчукская 210, Безенчукская 182, Валентина – доля пораженных растений варьировала от 3,1 до 5,7%. При этом наибольшее количество растений пораженных пыльной головней отмечено у сортов Саратовская золотистая – 5,4%, Безенчукская 200 – 5,7%. У селекционных линий наименьшая величина пораженных пыльной головней растений отмечена у линий СП-8/2019 – (0,7%), ЛСГАУ-9 – (1,7%).

Условия Нижнего Поволжья характеризуются повышенной температурой и дефицитом осадков, что вызывает острую необходимость в создании новых засухоустойчивых сортов полевых культур. В наших исследованиях растения твердой пшеницы оценивали по устойчивости к засушливым условиям. Оценка сортообразцов по устойчивости к засухе показала, что сортообразцы Аннушка, Саратовская золотистая, Безенчукская 205 обладают устойчивостью в 3,5 балла, тогда как у большинства сортообразцов данный показатель варьировал от 4,0 до 4,5 балла. Наибольший показатель засухоустойчивости отмечен у сорта-стандарта Николаша (5,0 баллов). Кроме того, высокой устойчивостью обладают сорта Елизаветинская, Луч 25 и Краснокутка 13, а также линии ЛСГАУ-7, ЛСГАУ-9 и СП-8/2019.

Показатель высоты растений варьировал от 82,7 до 107,7 см. Наименьшая высота отмечена у сортов НИК (82,7 см), Безенчукская 209 (84,7 см), Лилёк (86,4 см) и Краснокутка 13 (87, 7 см). Максимальная высота отмечена у сортов Валентина (101,3 см), Безенчукская 200 (102,4 см) и Безенчукская 210 (107,7 см). У селекционных линий высота растений составила: ЛСГАУ-9 – 88,7 см,

ЛСГАУ-11 – 90,2 см, СП-8/2019 – 94,5 см и ЛСГАУ-7 – 98,7 см.

Величина колоса у изучаемых сортообразцов в проведенных полевых исследованиях варьировала от 8,0 до 9,8 см. При этом наименьшая длина колоса была у сорта-стандарта Николаша – 8,0 см, а большая – у сортов Безенчукская 210 (9,8 см), Валентина (9,7 см), Безенчукская 200 (9,6 см), Елизаветинская (9,5 см). У созданных селекционных линий СГАУ длина колоса была практически равной – 8,3–8,8 см.

Современные сорта яровой твердой пшеницы в условиях Нижнего Поволжья должны обладать высокой засухоустойчивостью и на фоне этого формировать высокие и стабильные урожаи высококачественного зерна.

Одной из важнейших характеристик яровой твердой пшеницы является признак – «содержание протеина в зерне». Оценка сортообразцов по данному показателю позволила выявить следующие особенности. У сорта-стандарта Николаша содержание протеина в зерне составило 14,1%. Превышение по данному показателю отмечено у сортообразцов Луч 25 – 14,3%, Саратовская золотистая – 14,2%, Безенчукская 182 – 14,3% и Краснокутка 13 – 14,4% и у линии ЛСГАУ-7 – 14,3%, ЛСГАУ-11 – 14,1%, СП-8/2019 – 14,4%.

Проведенная оценка сортообразцов по урожайности показала, что сорт Николаша в среднем за три года превышал большинство генотипов на 0,01–0,38 т/га по обсуждаемому показателю. Низкая урожайность отмечена у сортов Безенчукская 205 (0,98 т/га), сорта Саратовская золотистая (1,04 т/га), Безенчукская 182 (1,08 т/га). Превышение сорта-стандарта по урожайности выявлено у линии ЛСГАУ-7 (1,37 т/га), сорта Луч 25 и СП-8/2019 (1,42 т/га).

Комплексная оценка сортообразцов яровой твердой пшеницы во втором опыте позволила выявить ценную селекционную линию СГАУ – СП-8/2019. Сравнительная оценка с сортом-стандартом Саратовская золотистая показала, что в среднем за три года исследований урожайность линии СП-8/2019 была выше на 0,15 т/га (табл. 2).

Натурная масса у нового сортообразца СП-8/2019 (Экспрессия) варьировала по годам от 748 до 784 г/л, а в среднем за три года исследований составила 762 г/л, что превышало сорт-стандарт на 14 г/л. Масса 1000 зерен у нового сортообразца достигала величины 41,9 г, у сорта-стандарта Саратовская золотистая она составила 40,9 г.

Кроме того, отмечено превышение нового сортообразца СП-8/2019 (Экспрессия) над сортом-стандартом по стекловидности, содержанию сырой клейковины и сырого протеина в зерне.

Изучение в третьем опыте коллекции линий яровой твердой пшеницы селекции

Саратовского ГАУ по основным хозяйственно ценным признакам показало, что в группе ультраскороспелых линий масса зерна с главного колоса варьировала от 0,87 г (ЛСГ-64) до 1,62 г (ЛСГ-75), при коэффициенте вариации на данных вариантах 34,5% и 17,4% соответственно (табл. 3).

Таблица 2

Хозяйственные и биологические свойства изучаемых сортообразцов яровой твердой пшеницы

Показатели	Линия СП-8/2019 (Экспрессия)				Сорт-стандарт Саратовская золотистая			
	2016 г.	2017 г.	2018 г.	среднее	2016 г.	2017 г.	2018 г.	среднее
1. Урожайность зерна, т/га	1,87	2,23	1,46	1,85	2,01	1,81	1,29	1,70
НСР ₀₅ , т/га	0,05	0,13	0,03	0,06	0,05	0,13	0,03	0,06
2. Натура зерна, г/л	748	754	784	762	743	742	759	748
3. Масса 1000 зерен, г	42,5	42,9	40,4	41,9	42,3	40,8	39,7	40,9
4. Стекловидность, %	85	88	84	86	83	82	81	82
5. Содержание сырой клейковины, %	29,4	28,1	29,7	29,1	28,6	28,8	29,4	28,9
6. Содержание сырого протеина, %	12,0	11,5	12,6	12,0	11,7	11,8	12,4	12

Таблица 3

Изменчивость морфофизиологических признаков наиболее урожайных линий яровой твердой пшеницы селекции Саратовского ГАУ (среднее за 2018–2019 гг.)

№ п/п	Масса зерна главного колоса, г		Число зерен главного колоса, шт.		Площадь флагового листа, см ²	
	среднее значение	коэффициент вариации, %	среднее значение	коэффициент вариации, %	среднее значение	коэффициент вариации, %
Ультраскороспелые						
ЛСГ-57	1,11 ± 0,03	26,8 ± 3,5	39,7 ± 1,1	20,1 ± 2,7	21,8 ± 0,7	22,1 ± 2,7
ЛСГ-58	1,17 ± 0,04	23,4 ± 3,2	34,3 ± 1,1	21,4 ± 2,8	23,9 ± 0,9	26,0 ± 3,1
ЛСГ-64	0,87 ± 0,03	34,5 ± 0,5	22,5 ± 0,7	21,6 ± 3,1	16,3 ± 0,5	16,9 ± 2,1
ЛСГ-75	1,62 ± 0,04	17,4 ± 2,4	34,5 ± 0,7	16,7 ± 2,3	27,2 ± 0,6	18,9 ± 2,5
Раннеспелые						
СП-10	1,09 ± 0,04	29,3 ± 3,6	30,2 ± 1,0	24,9 ± 3,3	22,7 ± 0,6	25,9 ± 3,2
СП-12	1,11 ± 0,04	25,4 ± 3,2	34,1 ± 1,0	21,8 ± 2,7	23,3 ± 0,8	23,4 ± 3,2
СП-18	1,07 ± 0,04	23,4 ± 3,2	30,5 ± 0,8	22,1 ± 2,4	18,7 ± 0,7	17,9 ± 2,4
СП-19	1,14 ± 0,04	23,2 ± 3,1	28,1 ± 0,8	17,8 ± 2,1	27,2 ± 1,1	23,2 ± 3,1
СП-20	1,09 ± 0,04	30,1 ± 3,9	35,2 ± 1,3	25,4 ± 3,2	21,2 ± 0,5	19,0 ± 2,4
СП-22	1,18 ± 0,05	28,7 ± 3,7	34,7 ± 1,2	23,0 ± 2,4	22,3 ± 0,4	20,6 ± 2,7
СП-23	1,29 ± 0,05	28,1 ± 3,2	45,6 ± 1,8	23,9 ± 3,0	26,7 ± 0,7	18,2 ± 2,4
СП-24	1,47 ± 0,05	23,2 ± 3,5	46,4 ± 1,3	20,1 ± 2,8	23,9 ± 0,5	16,7 ± 2,6
СП-25	1,14 ± 0,04	26,0 ± 3,2	43,2 ± 1,2	22,4 ± 2,5	24,2 ± 0,7	18,5 ± 2,7
СП-26	1,03 ± 0,03	19,5 ± 2,4	34,3 ± 0,9	16,8 ± 2,2	20,7 ± 0,6	21,2 ± 2,4
Среднераннеспелые						
Л-35	0,92 ± 0,04	35,5 ± 4,6	37,6 ± 1,4	28,8 ± 3,7	28,6 ± 0,4	18,6 ± 2,3
Л-43/1	0,95 ± 0,04	29,5 ± 3,8	34,2 ± 0,7	16,7 ± 2,5	25,2 ± 0,6	17,0 ± 2,1
Л-52/2	1,42 ± 0,06	30,7 ± 4,0	36,9 ± 1,1	19,6 ± 2,9	30,1 ± 0,7	19,2 ± 2,4
Л-55/1	1,32 ± 0,04	21,6 ± 2,8	37,8 ± 0,9	17,2 ± 2,9	23,0 ± 0,4	20,8 ± 2,2
Среднеспелые						
ЛС-18	1,71 ± 0,07	24,7 ± 3,1	45,5 ± 1,6	23,1 ± 2,8	25,9 ± 0,3	27,7 ± 3,5
ЛС-24	1,18 ± 0,03	19,2 ± 2,3	32,9 ± 0,8	18,2 ± 2,0	26,4 ± 0,8	20,3 ± 2,6
Позднеспелые						
ЛС-151	1,16 ± 0,04	28,5 ± 3,6	38,2 ± 1,1	21,0 ± 2,7	39,2 ± 0,8	18,2 ± 2,6
ЛС-165	1,71 ± 0,06	26,8 ± 3,6	52,9 ± 1,5	19,1 ± 2,2	27,0 ± 0,5	19,9 ± 2,1
ЛС-169	1,42 ± 0,04	23,5 ± 3,1	40,2 ± 1,0	19,9 ± 2,8	26,7 ± 0,7	23,6 ± 3,7
ЛС-179	1,69 ± 0,07	31,2 ± 4,3	50,6 ± 1,8	24,8 ± 3,5	39,1 ± 1,0	20,4 ± 2,4

Число зёрен в главном колосе изучаемых линий яровой твердой пшеницы варьировало от 22,5 (ЛСГ-64) до 39,7 шт. (ЛСГ-57).

Известно, что интенсивность налива зерна в колосе определяется площадью листьев верхнего яруса и длительностью его функционирования. В этой связи была проведена дифференциация изучаемых линий по площади флагового листа. Наименьшая величина площади отмечена у ЛСГ-64 – 16,3 см², а наибольшая – у линии ЛСГ-75 – 27,2 см².

В группе раннеспелых изучаемых линий яровой твердой пшеницы по массе зерна с главного колоса выделились образцы СП-23 и СП-24 – 1,29 и 1,47 г соответственно. Наименьшая величина продуктивности колоса отмечена у линии СП-26 – 1,03 г. Подсчёт количества зёрен с одного колоса показал, что наименьшее число зерен сформировала линия СП-10 – 30,2 шт., а наибольшее – селекционная линия СП-24 – 46,4 шт. Наибольшую величину ассимиляционной поверхности флагового листа сформировали линии СП-23 – 26,7 см² и СП-19 – 27,2 см².

Определение морфометрических показателей растений в группе среднераннеспелых селекционных линий выявило наиболее перспективные образцы по данным признакам. Показатель массы зерна с главного соцветия варьировал от 0,92 (Л-35) до 1,43 г (Л-52/2), число зёрен изменялось в пределах от 34,2 (Л-43/1) до 37,8 шт. (Л-52/1), а площадь флагового листа от 23,0 (Л-55/1) до 30,1 см² (Л-55/2).

У селекционных линий яровой твердой пшеницы, относящихся к группе среднеспелых, наибольшие параметры изучаемых признаков отмечены у образца ЛС-18: масса зерна главного колоса – 1,71 г, количество зерен в главном колосе – 45,5 шт., а площадь флагового листа достигала наибольшей величины у линии ЛС-24 – 26,4 см².

В группе позднеспелых линий в результате оценки были выявлены следующие лучшие образцы: по массе зерна с главного колоса выделились линии ЛС-165 и ЛС-179 – 1,71 и 1,89 г соответственно, по количеству зёрен с главного колоса – линии ЛС-179 и ЛС-165 – 50,6 и 52,9 шт. соответственно. Наибольшая величина флагового листа отмечена у линий ЛС-151 и ЛС-179 – 39,2 и 39,1 см² соответственно.

Заключение

Проведенные исследования по изучению сортов и новых линий яровой твердой пшеницы позволили выявить наиболее

перспективные сортообразцы для дальнейшей селекции.

По устойчивости к пыльной головне выделялись сорта Аннушка, Безенчукская 182, линии СП-8/2019 и ЛСГАУ-9; по устойчивости к засухе – сорта Елизаветинская, Луч 25, Краснокутка 13, линии ЛСГАУ-7, ЛСГАУ-9 и СП-8/2019; по содержанию белка в зерне – сорта Луч 25, Саратовская золотистая, Безенчукская 182, Краснокутка 13, линии ЛСГАУ-9, ЛСГАУ-11 и СП-8/2019; по урожайности зерна – сорт Луч 25, линии ЛСГАУ-7 и СП-8/2019.

Проведенные исследования по изучению новых селекционных линий яровой твердой пшеницы селекции СГАУ, относящихся к различным группам спелости выявили перспективные образцы для дальнейшей селекции. В исследованиях выявлена тенденция превосходства группы позднеспелых линий: по массе зерна с главного колоса линии – ЛС-165 и ЛС-179 – 1,71 и 1,89 г соответственно), по количеству зёрен с главного колоса – линии ЛС-179 и ЛС-165 – 50,6 и 52,9 шт. соответственно, по наибольшей величине флагового листа – линии ЛС-151 и ЛС-179 – 39,2 и 39,1 см² соответственно.

В результате исследований выделена для передачи на государственное сортоиспытание селекционная линия СП-8/2019 (Экспрессия), превосходящая по урожайности, а также по другим показателям элементов структуры урожая и качества зерна сорт-стандарт и все другие сорта яровой твердой пшеницы в условиях Нижнего Поволжья.

Список литературы / References

1. Гапонов С.Н., Шутарева Г.И., Попова В.М., Цетва Н.М., Паршикова Т.М. Результаты селекции яровой твердой пшеницы для засушливого Поволжья // Аграрный вестник Юго-Востока. 2017. № 1 (16). С. 16–17.
2. Gaponov S.N., Shutareva G.I., Popova V.M., Tsetva N.M., Parshikova T.M. Breeding results of spring durum wheat for the arid Volga region // Agrarnyy vestnik Yugo-Vostoka. 2017. № 1 (16). P. 16–17 (in Russian).
3. Бекетова Г.А., Бебякин В.М., Сайфуллин Р.Г. Чувствительность критериев в качестве зерна яровой мягкой пшеницы к неоднородности среды // Вестник Саратовского госагроуниверситета им. Н.И.Вавилова. 2011. № 5. С. 3–5.
4. Beketova G.A., Bebyakin V.M., Sayfullin R.G. Sensitivity of quality criteria of summer soft wheat grain to heterogeneity of environment // Vestnik Saratovskogo gosagrouniversiteta im. N.I. Vavilova. 2011. № 5. P. 3–5 (in Russian).
5. Васильчук Н.С., Шутарева Г.И., Гапонов С.Н., Попова В.М., Еременко Л.В., Паршикова Т.М., Горбань О.И. Саратовские сорта яровой твердой пшеницы для засушливых условий Поволжья // Сборник научных трудов (посвящается 135-летию со дня рождения Г.К. Мейстера и 100-летию со дня основания Аркадакской опытной станции. Саратов, 2009. С. 82–89.
6. Vasilchuk N.S., Shutareva G.I., Gaponov S.N., Popova V.M., Eremenko L.V., Parshikova T.M., Gorban O.I. Saratov

varieties of spring durum wheat for the dry conditions of the Volga region // Sbornik nauchnykh trudov (posvyashchayetsya 135-letiyu so dnya rozhdeniya G.K. Meystera i 100-letiyu so dnya osnovaniya Arkadaskoy opytnoy stantsii. Saratov, 2009. P. 82–89 (in Russian).

4. Кадушкина В.П., Грабовец А.И., Коваленко С.А. Результаты использования химического мутагенеза при селекции яровой твердой пшеницы // Достижения науки и техники АПК. 2016. № 2. С. 82–84.

Kadushkina V.P., Grabovets A.I., Kovalenko S.A. Results of Chemical Mutagenesis in Breeding of Spring Durum Wheat // Dostizheniya nauki i tekhniki APK. 2016. № 2. P. 82–84 (in Russian).

5. Мальчиков П.Н., Мясникова М.Г. Возможности создания сортов яровой твердой пшеницы (*Triticum durum* Desf.) с широкой изменчивостью параметров вегетационного периода // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2015. Т. 19. № 2. С. 176–184.

Malchikov P.N., Myasnikova M.G. Approaches to the development of durum wheat cultivars (*Triticum durum* Desf.) with wide variability of the growing season // Vavilovskiy zhurnal genetiki i seleksii. 2015. V. 19. № 2. P. 176–184 (in Russian).

6. Никитина Е.Д., Хлебцова Л.П., Ересченко О.В. Разработка отдельных элементов технологии клеточной селекции яровой пшеницы на устойчивость к абиотическим стрессам // Известия Алтайского государственного университета. 2014. Т. 2. № 3. С. 50–54. DOI: 10.14258/izvasu(2014)3.2-09.

Nikitina E.D., Khlebova L.P., Ereschenko O.V. The Development of Some Technology Elements of the Spring Wheat Cell Selection for Resistance to Abiotic Stresses // Izvestiya

Altayskogo gosudarstvennogo universiteta. 2014. T. 2. № 3. P. 50–54 (in Russian).

7. Васильчук Н.С. Результаты селекции яровой твердой пшеницы на адаптивность // Вестник ОрёлГАУ 2006. № 2–3. С. 24–27.

Vasilchuk N.S. The results of breeding spring durum wheat for adaptability // Vestnik OrelGAU 2006. № 2–3. P. 24–27 (in Russian).

8. Гапонов С.Н., Попова В.М., Шутарева Г.И., Еременко Л.В., Цетва Н.М., Паршикова Т.М. Основные достижения и направления селекции яровой твердой пшеницы в ФГБНУ «НИИСХ Юго-Востока» // Зерновое хозяйство России. 2017. № 4. С. 17–21.

Gaponov S.N., Popova V.M., Shutareva G.I., Eremenko L.V., Tsetva N.M., Parshikova T.M. The main achievements and trends of spring durum wheat breeding in FSBSI 'RIA of South-East' // Zernovoye khozyaystvo Rossii. 2017. № 4. P. 17–21 (in Russian).

9. Горянин О.И., Щербинина Е.В. Прямой посев яровой твердой пшеницы в Среднем Заволжье // Успехи современного естествознания. 2018. № 10. С. 45–49. DOI: 10.17513/use.36880.

Goryanin O.I., Shcherbinina E.V. Direct seeding of spring durum wheat in the Middle Volga // Advances in current natural sciences. 2018. № 10. P. 45–49 (in Russian).

10. Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. М.: Колос, 1971. 239 с.

Methodology of state variety testing of crops. M.: Kolos, 1971. 239 p. (in Russian).

СТАТЬИ

УДК 911(470.341)

РАЗВИТИЕ ГОРОДСКИХ ПОСЕЛЕНИЙ НИЖЕГОРОДСКОЙ ОБЛАСТИ**Аракчеева О.В., Кривдина И.Ю.***ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный педагогический университет имени К. Минина»,
Нижний Новгород, e-mail: o.v.arakcheeva@rambler.ru*

В статье рассматривается процесс динамики развития городских поселений в Нижегородской области с начала XX в., в которых сконцентрировано 80% всего населения региона. Выявлены факторы наиболее интенсивного оттока населения в города в различные исторические периоды развития Нижегородского региона, главным среди которых остается интенсивное развитие промышленности в области. В настоящее время в регионе насчитывается 28 городов, самым крупным из которых является город-миллионер Нижний Новгород, два больших города Арзамас и Дзержинск, пять средних городов – Саров, Бор, Кстово, Павлово, Выкса, восемь полусредних и 12 малых городов. Города Нижегородской области образуют определенную систему центров, взаимосвязанных с областным городом и между собой. Эти связи имеют промышленно-производственную, организационно-хозяйственную, трудовую и культурно-бытовую направленность. В зависимости от их географического положения и экономического развития разные города имеют разную дальность действия и разветвленность этих связей. За исследуемый период функции городов Нижегородской области претерпели некоторые изменения: большинство городов области остались монопрофильными организующими центрами; к административно-управленческим, промышленным и транспортным функциям добавились еще и финансовые, образовательные, туристические и рекреационные. В особую группу «неистинных» городов, «спущенных» администрацией сверху, можно выделить шесть городов в Нижегородской области: Ворсма, Горбатов, Ветлуга, Володарск, Перевоз и Княгинино, которые не выполняют свои функции и носят статус города формально. В настоящее время главные оси расселения проходят вдоль основных рек области – Волги и Оки, где сконцентрирован основной промышленный потенциал региона. Кроме Нижегородской агломерации, выделяются еще два района городского расселения – Павловско-Вачский и Выксунско-Кулебакский.

Ключевые слова: город, урбанизация, удельный вес городского населения, расселение, городские поселения

DEVELOPMENT OF URBAN SETTLEMENTS OF NIZHNY NOVGOROD REGION**Arakcheeva O.V., Krivdina I.Yu.***Nizhny Novgorod State Pedagogical University named after K. Minin, Nizhny Novgorod,
e-mail: o.v.arakcheeva@rambler.ru*

The article deals with the dynamics of urban settlements development in the Nizhny Novgorod region since the beginning of the XX century, in which 80% of the total population of the region is concentrated. Factors of the most intensive outflow of the population to the cities in various historical periods of development of the Nizhny Novgorod region are revealed, the main among which remains intensive development of the industry in area. Currently, there are 28 cities in the region, the largest of which is the millionaire city of Nizhny Novgorod, two large cities Arzamas and Dzerzhinsk, five medium-sized cities – Sarov, Bor, Kstovo, Pavlovo eight semi-average and 12 small cities. The cities of the Nizhny Novgorod region form a certain system of centers, interconnected with the regional city and with each other by industrial and industrial, organizational and economic, labor and cultural relations. During the study period, the functions of cities of the Nizhny Novgorod region have changed: most of the cities in the region were single-industry centers; for administrative, industrial and transport functions has been added and the financial, educational, tourist and recreational. In a special group of «untrue» cities, there are six cities: Vorsma, Gorbatov, Vetluga, Volodarsk, Perevoz and Knyaginino, which do not perform their functions and have the status of a city formally. Currently, the main axes of settlement are along the Volga and Oka, where industrial potential is concentrated. In addition to the Nizhny Novgorod agglomeration, there are two more areas of urban settlement-Pavlovsky-Vachsky and Vyksunsko-kulebasky.

Keywords: city, urbanization, proportion of urban population, settlement, urban settlements

Стремительный рост городов и доли городских жителей является одним из наиболее динамичных процессов в системе расселения современной России. Урбанизация в научной литературе традиционно рассматривается как процесс усиления роли городов во всех сферах жизни общества. Нижегородская область представляет собой один из высоко урбанизированных регионов страны, отличающийся специфическими особенностями, обусловленными социально-экономическими процессами.

Цель исследования: выявление особенностей развития городских поселений Нижегородской области

Материалы и методы исследования

В Нижегородской области высокий уровень урбанизации. Удельный вес городского населения неуклонно возрастал в течение всего XX в. В настоящее время 80% жителей региона проживает в городской местности [1]. Наиболее активно процесс урбанизации протекал в 1930-е гг. (рис. 1).

Нижегородское село стало «демографическим донором и активно поставляло рабочую силу в стремительно развивающиеся индустриальные центры и на эпохальные новостройки страны» [2].

Интенсивное развитие промышленности в области в послевоенные годы снова обусловило очень сильный отток сельских жителей в города [4]. В результате изменилась возрастно-половая структура населения, как городов, так и сельских населенных пунктов.

В соответствии с Реестром административно-территориальных образований [5] по состоянию на 1 января 2019 г. на территории Нижегородской области утверждены 52 административно-территориальные единицы – это 14 территорий, подчиненных городам областного значения (городских округов), и 38 муниципальных (администра-

тивных) районов, на территории которых расположены еще 53 городских поселения.

За последние десятилетия произошли изменения и в количестве городских поселений в Нижегородском регионе, в целом их число уменьшилось с 94 в 1989 г. до 83 в настоящее время. Такая тенденция связана в первую очередь с изменением статуса поселков городского типа, большая часть которых, утратив статус ПГТ, перешла в разряд сельских поселений. Два населенных пункта вновь приобрели за исследуемый период статус города – Перевоз и Княгинино. Еще один город, появившийся за это время – Саров, который был выведен из разряда засекреченных в 1994 г., хотя статус города ему был присвоен еще в 1954 г. вместе с секретным названием Кремлев, когда в городе уже проживало около 47 тысяч человек (рис. 2).

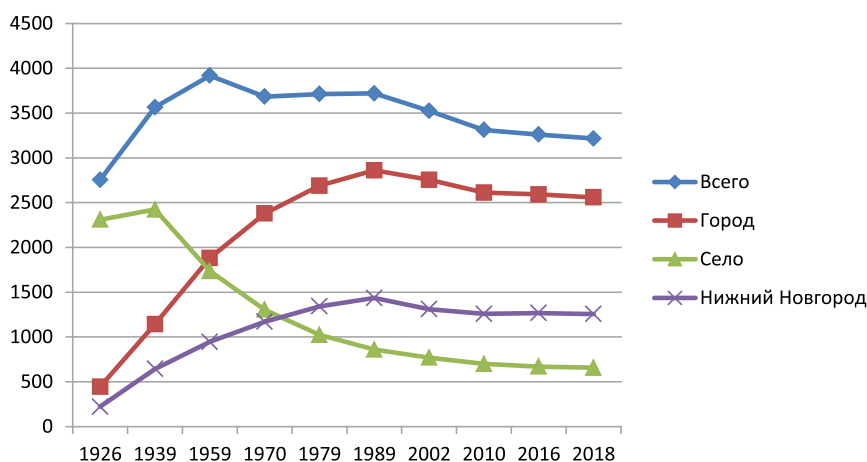


Рис. 1. Динамика численности населения (тыс. чел.) [3]

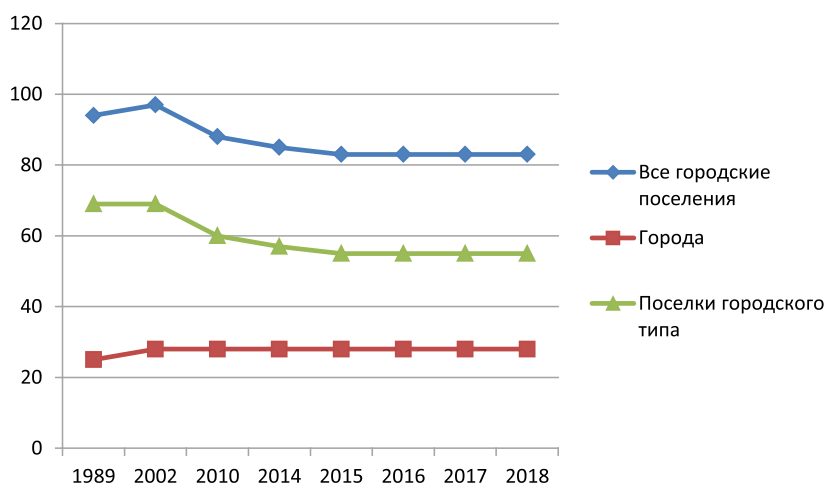


Рис. 2. Динамика числа городских поселений

В целом в Нижегородской области насчитывается 28 городов, которые возникли в разные периоды исторического развития региона [6]. По времени образования можно выделить несколько групп:

- древние города, которые возникли до 1500 г. (Н. Новгород, Городец, Семенов);
- старые города, образовавшиеся в период с 1501 по 1900 г. (Арзамас, Балахна, Сергач, Лукоянов, Ветлуга, Перевоз, Княгинино, Горбатов);
- молодые города, образованные в период с 1901 по 1950 г. (Дзержинск, Павлово, Выкса, Бор, Кулебаки, Богородск, Лысково, Шахунья);
- новые города, получившие статус города позднее 1951 г. (Саров, Кстово, Заволжье, Навашино, Первомайск, Чкаловск, Урень, Ворсма, Володарск).

Самым крупным городом является Нижний Новгород, в котором насчитывается 1 млн 255 тыс. жителей, а самым малым – г. Горбатов, в котором проживает 1896 человек. Несмотря на внушительное количество городских поселений в Нижегородской области, роль и функциональная значимость областного центра – Нижнего Новгорода – остается весьма высокой. В Нижнем Новгороде сконцентрировано 39% населения всей области. Нижний Новгород входит в число 13 городов-миллионеров страны и занимает в списке пятую строчку после Москвы (12 615 882 человек), Санкт-Петербурга (5 383 890 человек), Новосибирска (1 618 039 человек) и Екатеринбурга (1 483 119 человек) [7]. Учитывая демографические процессы, происходящие в Нижнем Новгороде, можно предсказать, в ближайшие годы он переместится на шестую позицию, уступив место Казани, для которой характерен естественный прирост населения, в отличие от Нижнего Новгорода.

На территории Нижегородской области можно выделить следующие типы городов:

- миллионер (более 1 млн человек) – Нижний Новгород;
- большие (100–250 тыс. человек) – Дзержинск и Арзамас;
- средние (50–100 тыс. человек) – Саров, Бор, Кстово, Павлово, Выкса;
- полусредние (20–50 тыс. человек) – Балахна, Заволжье, Богородск, Кулебаки, Городец, Семёнов, Лысково, Шахунья;
- малые (до 20 тыс. человек) – Сергач, Навашино, Лукоянов, Первомайск, Чкаловск, Урень, Ворсма, Володарск, Перевоз, Ветлуга, Княгинино, Горбатов.

Города Нижегородской области образуют определенную систему центров, взаимосвязанных с областным городом и между собой. Эти связи имеют промышленно-производственную, организационно-хозяйственную, трудовую и культурно-бытовую направленность. В зависимости от их географического положения и экономического развития разные города имеют разную дальность действия и разветвленность этих связей. Одни города выделяются организационной ролью (районные и межрайонные центры), другие – промышленным значением, а третьи – и тем, и другим вместе.

С переходом к рыночным отношениям выполняемые городами функции претерпели незначительные изменения. Большинство городов области остались монопрофильными организующими центрами. Здесь лишь прибавились некоторые дополнительные функции, которые носят второстепенный характер. Например, к административно-управленческим, промышленным и транспортным функциям прибавляются еще и финансовые (районные центры являются местом сосредоточения представительств различных банковских структур), а также и образовательные (Дзержинск, Арзамас, Княгинино, Заволжье, Выкса, Кулебаки и др.). В производственной сфере расширяется специализация городов за счет более окупаемых и быстрооборотных отраслей (легкой, пищевой, мебельной и т.д.). Активно развиваются бизнес, туризм и рекреация (Городец и Семёнов).

Некоторые города Нижегородской области не выполняют свои функции и носят статус города формально. Это названные так В.П. Семеновым Тянь-Шанским «неистинные» города, «спущенные» администрацией сверху [8]. Таких городов в регионе шесть: Ворсма (10331 человек), Володарск (9907 человек), Ветлуга (8459 человек), Горбатов (1896 человек) и вновь вернувшие статус города – Перевоз (8740 человек) и Княгинино (6629 человек). По численности населения эти города не дотягивают до порогового значения 12 тыс. человек.

Результаты исследования и их обсуждение

К настоящему времени города области прошли огромный путь в своем развитии и увеличении людности. Однако есть и исключения: например, Володарск терял свое население из-за близости к более экономически притягательному городу Дзержинску, а в Горбатове уменьшение численности на-

селения связано с утратой выгодного экономико-географического положения. В ряде городов (Балахна, Бор, Дзержинск, Нижний Новгород) увеличение численности населения шло за счет включения близлежащих населенных пунктов в черту города.

В программу развития монопрофильных городов России включены 12 городов Нижегородской области (Балахна, Володарск, Ворсма, Выкса, Заволжье, Кстово, Кулебаки, Павлово, Первомайск, Саров, Сергач, Шахунья). В этих городах предусмотрено развитие малого и среднего бизнеса, поддержание социальной сферы, привлечение инвесторов для создания новых предприятий, которые позволят расширить спектр выпускаемой продукции и организовать новые рабочие места для местных жителей. Также предусмотрена помощь градообразующим предприятиям, являющимся основными налогоплательщиками в местный бюджет.

Города области экономически связаны между собой и составляют территориально-производственный комплекс. Это, прежде всего, касается городов с предприятиями, относящимися к главной в регионе отрасли промышленности – транспортному машиностроению и, в частности, автостроению (например, Нижний Новгород, Бор, Павлово, Арзамас, Лысково, Заволжье). Нижний Новгород как многоотраслевой индустриальный и административный центр оказывает большое влияние на развитие других городов области. Это влияние особенно ощутимо в радиусе 50 км на таких городах, как Бор, Дзержинск, Кстово, Балахна, Заволжье, Городец, Богородск и Володарск. Вместе с этими городами Нижний Новгород образует одно из крупнейших в стране скоплений (агломераций) городских поселений. Внутри Нижегородской городской агломерации осуществляются тесные производственные связи, обеспечивающие нормальное развитие хозяйства; культурно-бытовые связи, направленные на удовлетворение материальных и духовных запросов населения; рекреационные (выезд на отдых); трудовые (ежедневные поездки на работу из одного населенного пункта в другой).

Исследуя численность населения городов Нижегородской области в период с первой переписи (1897 г.) [9] или от даты возникновения города до 2019 г., можно выделить несколько групп городов:

– города, увеличившие численность населения более чем в 10 раз – Арзамас, Бор, Кстово, Саров, Дзержинск, Н. Новгород, Перевоз, Чкаловск, Первомайск;

– города, увеличившие численность населения от 2 до 10 раз – Выкса, Лукоянов, Семёнов, Павлово, Городец, Сергач, Княгинино, Ворсма, Лысково, Богородск, Балахна, Шахунья;

– города, увеличившие численность населения до 2 раз – Заволжье, Ветлуга, Кулебаки, Навашино, Урень;

– stagnирующие города – Горбатов;

– города, теряющие население – Володарск.

Городские поселения Нижегородской области включают не только города, но и 53 поселка городского типа. Эти населенные пункты представляют собой не сформировавшиеся в полной мере города, либо утратившие статус города населенные пункты [10]. В Нижегородской области таковыми являются Варнавино, Ардатов, Макарьев, Васильсурск и др. Среди них по численности населения выделяются Ардатов и Шатки – в них насчитывается более 8 тыс. чел., в то время как в пгт. Шайгино Тонкинского района и пгт. Лесногорск Шатковского района – немногим более 800 чел.

Все поселки Нижегородской области можно разделить на следующие группы:

– крупные пгт. – составляет от 5 до 10 тыс. чел. (Ардатов, Мухтолово, Выездное, Большое Козино, Гидроторф, Большое Мурашкино, Бутурлино, Вача, Вознесенское, Ильиногорск, Решетиха, Воротынец, Воскресенское, Досчатое, Ковернино и др.);

– небольшие пгт. – типа от 3 до 5 тыс. чел. (Горбатовка, Виля, Лукино, Варнавино, Шиморское, Дальнее Константиново и др.);

– мелкие пгт. – менее 3 тысяч жителей (Гавриловка, Малое Козино, Фролищи, Желнино, Первое мая, им. М.И. Калинина, Красная Горка, Смолино, Центральный, Юганец, Васильсурск, Ближне-Песочное, Первомайск и др.).

Большинство поселков городского типа в регионе относятся к крупным и мелким населенным пунктам 49% и 38% соответственно, к небольшим всего лишь 13% (рис. 3).

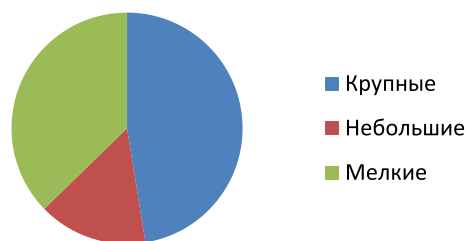


Рис. 3. Доля поселков городского типа Нижегородской области по численности населения

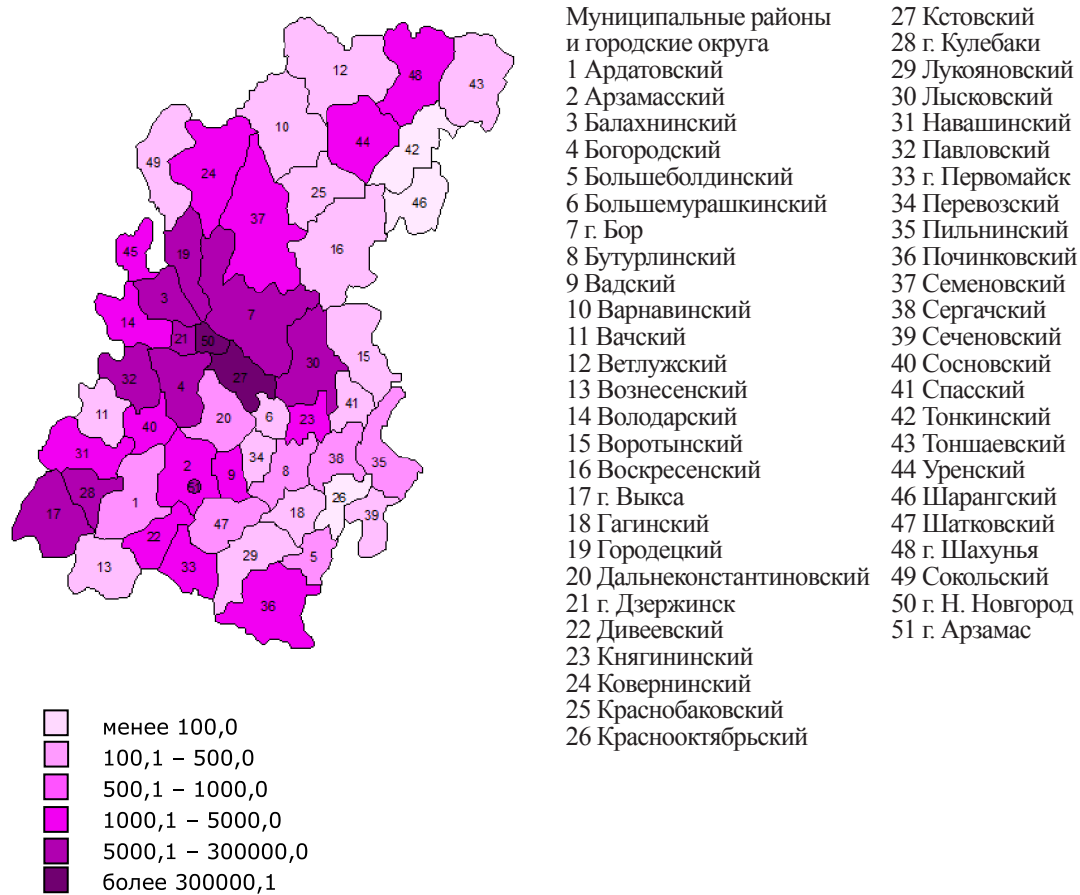


Рис. 4. Производство товаров, работ и услуг в Нижегородской области в 2018 г. (млн руб.)

Людность поселков определяется в значительной степени их промышленно-производственным потенциалом: чем он выше, тем больше занятость в производственной сфере и тем крупнее поселок [11]. Влияет на численность населения и выполнение поселками центральных, управленческих и обслуживающих функций. Если такие функции выполняются, то достаточно большой оказывается занятость в непроизводственной сфере, что, соответственно, ведет к росту населения. В ряде случаев характерна большая людность для поселков, не имеющих промышленности и не выполняющих центральных функций. Это поселки, лежащие вблизи крупных промышленных центров, где и работает их трудоспособное население.

Заключение

В настоящее время главные оси расселения проходят вдоль основных рек области – Волги и Оки, где сконцентрирован

основной промышленный потенциал региона (рис. 4). Кроме Нижегородской агломерации, выделяются еще два района городского расселения – Павловско-Вачский и Выксунско-Кулебакский.

Эти населенные пункты имеют хорошую транспортную связь с областным центром или другими центрами городской агломерации, высоким уровнем благоустройства (детские сады, школа, медицинские учреждения, дом культуры, почта, сберкасса, магазины и т.п.). Соответственно, здесь можно удовлетворить многие потребности населения и есть возможность трудоустройства не только в аграрной сфере, но и в непроизводственной сфере самого населенного пункта, а также на предприятиях ближайшего города.

ПГТ выполняют в основном роль административных районных центров, либо вспомогательных промышленных и транспортных центров при городах. Однако последние в начале XXI в. испытывают кризис

в результате упадка промышленного производства (поселок им. Парижской Коммуны, поселок Калинина и др.). Некоторая стабилизация наблюдается лишь в райцентрах, так как здесь аккумулируются и перераспределяются все экономические, финансовые, в большинстве случаев транспортные функции района и сосредоточен весь административно-управленческий аппарат.

Список литературы / References

1. Аракчеева О.В., Кривдина И.Ю. Миграции населения Нижегородской области // Успехи современного естествознания. 2018. № 12–2. С. 339–344.
1. Arakcheeva O.V., Krivdina I.Yu. Migration of the population of the Nizhny Novgorod region // Advances in current natural sciences. 2018. № 12–2. P. 339–344 (in Russian).
2. Вознесенская А.Г. Трансформация геодемографических процессов в сельской местности Нижегородской области. // В сборнике Трансформация географических процессов на территории регионов России и мира. Современные проблемы географического образования в вузе и школе. Н. Новгород: НГПУ, 2009. С. 54–60.
2. Voznesenskaya A.G. Transformation of geodemographic processes in rural areas of Nizhny Novgorod region. / V sbornike Transformatsiya geograficheskikh protsessov na territorii regionov Rossii i mira. Sovremennyye problemy geograficheskogo obrazovaniya v vuze i shkole. N. Novgorod: NGPU, 2009. P. 54–60 (in Russian).
3. Вознесенская А.Г., Аракчеева О.В. Население Нижегородской области: динамика численности, естественное и механическое движения // Вестник Мининского университета: сетевое издание. 2013. № 4 [Электронный ресурс]. URL: <https://vestnik.mininuniver.ru/jour/article/view/442> (дата обращения: 25.11.2019).
3. Voznesenskaya A.G., Arakcheeva O.V. Population of the Nizhny Novgorod region: population dynamics, natural and mechanical movements. Vestnik Mininskogo universiteta: network edition. 2013. № 4 [Electronic resource]. URL: <https://vestnik.mininuniver.ru/jour/article/view/442> (date of access: 25.11.2019) (in Russian).
4. Аракчеева О.В., Кривдина И.Ю. Этапы миграционных движений населения на территории Нижегородской области // Успехи современного естествознания. 2017. № 6. С. 72–76.
4. Arakcheeva O.V., Krivdina I.Yu. Stages of migration movements of the population on the territory of the Nizhny Novgorod region // Advances in current natural sciences. 2017. № 6. P. 72–76 (in Russian).
5. Краткий статистический сборник Нижегородская область в цифрах 2019. [Электронный ресурс]. URL: http://nizhstat.old.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat_ts/nizhstat/ru/publications/official_publications/electronic_versions/ (дата обращения: 25.11.2019).
5. Brief statistical collection Nizhny Novgorod region in numbers 2019. [Electronic resource]. URL: [http://nizhstat.](http://nizhstat.old.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat_ts/nizhstat/ru/publications/official_publications/electronic_versions/)
6. Вознесенская А.Г., Валяев И.А., Лебедев А.В. Эволюция системы расселения северо-западных районов Нижегородской области // В сборнике Инновационные процессы в современной географии: научные и образовательные аспекты. Н. Новгород: ООО Типография «Поволжье», 2012. С. 137–142.
6. Voznesenskaya A.G., Valyaev I.A., Lebedev A.V. Evolution of the settlement system of the North-Western districts of the Nizhny Novgorod region // V sbornike Innovatsionnyye protsessy v sovremennoy geografii: nauchnyye i obrazovatel'nyye aspekty. N. Novgorod: OOO Tipografiya «Povolzh'ye», 2012. P. 137–142 (in Russian).
7. Города-миллионеры России 2019. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.sites.google.com/site/ruregdatav1/goroda-millionniki-rossii-po-naseleniu> (дата обращения: 25.11.2019).
7. The Millionaire Cities of Russia 2019. [Electronic resource]. URL: <https://www.sites.google.com/site/ruregdatav1/goroda-millionniki-rossii-po-naseleniu> (date of access: 25.11.2019) (in Russian).
8. Серко Е.Ю. Города Нижегородской области // Нижегородская область четверть века социальных перемен (к 300-летию создания Нижегородской губернии). Н. Новгород: НГПУ им. К. Минина, 2013. С. 146–152.
8. Serko E.Yu. Cities of Nizhny Novgorod region // Nizhegorodskaya oblast' chetvert' veka sotsial'nykh peremen (k 300-letiyu sozdaniya Nizhegorodskoy gubernii). N. Novgorod: NGPU im. K. Minina, 2013. P. 146–152 (in Russian).
9. Первая Всеобщая перепись населения Российской империи 1897 г.: [кн. 1–89] / под ред. Н. А. Тройницкого. Санкт-Петербург: издание Центрального статистического комитета Министерства внутренних дел, 1899–1905. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.prilib.ru/item/436650> (дата обращения: 25.11.2019).
9. The first General census of the population of the Russian Empire in 1897: [kn. 1–89] / pod red. N. A. Troynitskogo. Sankt-Peterburg: izdaniye Tsentral'nogo statisticheskogo komiteta Ministerstva vnutrennikh del, 1899–1905. [Electronic resource]. URL: <https://www.prilib.ru/item/436650> (date of access: 25.11.2019) (in Russian).
10. Кряжев А.Б. Поселки городского типа. // Отечество мое Нижегородское: книга для чтения / Сост. Г.С. Камерилова. Н. Новгород: Нижегородский гуманитарный центр, 1997. С. 294–299.
10. Kryazhev A.B. Urban-type Settlements. // Otechestvo moye Nizhegorodskoye: kniga dlya chteniya / Sost. G.S. Kamerilova. N. Novgorod: Nizhegorodskiy humanitarny tsentr, 1997. P. 294–299 (in Russian).
11. Орфанов И.К. Проблемы реконструкции сельского расселения Нечерноземья РСФСР // Географические аспекты реконструкции населенных мест Нечерноземья: сборник статей. М.: ГО СССР, 1984. С. 3–10.
11. Orfanov I.K. Problems of reconstruction of rural settlement of the non-black earth region of the RSFSR // Geograficheskiye aspekty rekonstruktsii naselennykh mest Nechoernozem'ya: sbornik statey. M.: GO SSSR, 1984. P. 3–10 (in Russian).

УДК 622:621.6

СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ДИАГНОСТИКИ ФАКТИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ УСТАНОВОК ЭЛЕКТРОЦЕНТРОБЕЖНЫХ НАСОСОВ**Большунов А.В.***ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет», Томск,
e-mail: artembolschunov@yandex.ru*

Статья посвящена разработке системы оперативной диагностики установок погружных электроцентробежных насосов (УЭЦН). На начальном этапе исследований были изучены современные методы диагностики УЭЦН (термодиагностика, вибродиагностика, моделирование), изучены существующие проблемы их диагностики. Рассмотрено влияние отклонений параметров УЭЦН. Показана необходимость проверки фактической мощности насосов. Оптимальным решением является построение графика мощности насосов, который можно использовать для сравнения значений. После проверки исходных данных проверяется наличие и использование устройства с помощью байпасной системы. Использование байпасной системы вызвано необходимостью работы насосов со слишком маленькими объемами жидкости. Единицы, в которых установлены байпасы, имеют существенное несоответствие между паспортом и фактической деятельностью насоса с реальным выходным давлением насосов. В ходе работы были определены основные стандартные неисправности УЭЦН, механические неисправности, состоящие из износа подшипников, защитных гильз вала и ступиц направляющих лопаток, перекоса и дисбаланса валов, что вызывает пробой нижней или верхней частей статора. Все это приводит к электромагнитным неисправностям: ротор эксцентриситет, ослабление прессования стальных пакетов, обрыв провода или короткое замыкание в статоре обмотки и т.д., приводящие к изменению тока потребления. Сравнительный анализ существующих методов диагностики системы УЭЦН показал, что наиболее надежным методом диагностики является метод, основанный на спектральном анализе тока статора. Получена взаимосвязь между наличием характерных гармоник и определенных типов неисправностей УЭЦН. Полученный анализ спектров показал различия между режимами работы двигателя, что позволяет на начальных этапах диагностировать появление неисправности в работе УЭЦН.

Ключевые слова: установка погружного электроцентробежного насоса, методы диагностики, термодиагностика, вибродиагностика, эксцентриситет ротора, байпасная система, спектральный анализ тока статора

MODERN METHODS FOR DIAGNOSING THE ACTUAL STATE OF ELECTRIC CENTRIFUGAL PUMP INSTALLATIONS**Bolshunov A.V.***National Research Tomsk Polytechnic University, Tomsk, e-mail: artembolschunov@yandex.ru*

The article is devoted to the development of a system for operational diagnostics of submersible electric centrifugal pump (ESP) installations. At the initial stage of the research, the modern methods of ESP diagnostics (thermal diagnostics, vibration diagnostics, modeling) were studied, the existing problems of their diagnosis were studied. The influence of deviations of the ESP parameters is considered. The need for checking the actual power of the pumps is shown. The optimal solution is to build a graph of pump power, which can be used to compare values. After checking the source data, the presence and use of the device is checked using the bypass system. The use of a bypass system is caused by the need to operate pumps with too small volumes of liquid. The units in which the bypass is installed have a significant discrepancy between the passport and the actual pump activity with the actual pump output pressure. As a result, we determined the number of main standard ESP faults, mechanical faults, such as bearing wear, shaft guards and hub vanes, skew and shaft imbalance, which causes breakdown of the lower or upper part of the stator. All this leads to electromagnetic malfunctions: rotor eccentricity, weakening of the pressing of steel packets, wire breakage or short circuit in the stator of the winding, etc., leading to a change in the current consumption. A comparative analysis of existing diagnostic methods for the ESP system showed that the most reliable diagnostic method is a method based on spectral analysis of the stator current. The relationship between the presence of characteristic harmonics and certain types of ESP faults is obtained. The analysis of the obtained spectra showed the differences between the engine operating modes, which allows diagnosing the occurrence of a malfunction in the ESP operation at the initial stages.

Keywords: installation of submersible electric centrifugal pump, diagnostic methods, thermal diagnostics, vibration diagnostics, rotor eccentricity, bypass system, spectral analysis of stator current

Установка погружного электроцентробежного насоса (УЭЦН) играет значительную роль в сложном и энергоемком процессе нефтедобычи. Неудачи в режимах работы УЭЦН являются основной причиной незапланированного простоя запасов скважин, что приводит к значительным финансовым потерям.

В настоящее время качество и эффективность принятых диагностических решений о режиме работы УЭЦН, состоящем из большого диапазона анализируемых параметров и анализа огромных объемов информации о режимах работы УЭЦН, недостаточно велики, что увеличивает вероятность ошибочной оценки его состояния

и непринятия соответствующих оперативных решений.

Цель исследования: комплексное теоретическое и практическое исследование методов диагностики УЭЦН нефтедобывающих скважин.

В связи с этим актуальной задачей является разработка новых эффективных методов диагностики УЭЦН нефтедобывающих скважин.

Также в работе был решен ряд поставленных задач и достигнуты следующие результаты:

- проведен сравнительный анализ существующих методов диагностики УЭЦН;
- выявлена взаимосвязь между наличием типичных гармоник и соответствующими дефектами УЭЦН посредством вычислительных и физических экспериментов;
- на основе полученных зависимостей разработана методика диагностики УЭЦН.

Материалы и методы исследования

Стратегии технического обслуживания УЭЦН [1]:

– С точки зрения профилактического технического обслуживания или отказов оборудования, что экономически неоправданно и является основной причиной простоя производства.

– «О состоянии», применяя метод распознавания к фактическому техническому состоянию оборудования на набор диагностических характеристик для выявления существующих или развивающихся дефектов и определения оптимальных сроков проведения ремонтных работ.

Существующие методы диагностики погружных центробежных насосов. Мониторинг состояния и техническая диагностика УЭЦН включает в себя:

- оценку теплового состояния оборудования (термодиагностика);
- измерение вибрации оборудования (анализ вибрации);
- моделирование и т.д.

Термодиагностика основана на том, что в месте возникновения дефекта в оборудовании повышается температура и, как следствие, увеличивается интенсивность инфракрасного излучения, которое записывается тепловизионными устройствами.

Моделирование, включающее этап разработки компьютерной модели погружного электрического насоса, подключенного к двигателю с помощью датчиков. Обеспечивает возможность измерения множества рабочих сигналов на насос, который исполь-

зуется для решения уравнения состояния в конкретное время. Этот метод реализуется только с прямым доступом к двигателю и насосу.

Недостатки данного метода:

- Невозможна удаленная диагностика;
- Имеет низкую точность;
- Сложность требуемых измерений.

Данные недостатки иллюстрируют невозможность использования для диагностики УЭЦН.

Вибродиагностика, в процессе которой регистрируют и анализируют сигналы, генерируемые вибрацией двигателя. По полученным данным анализируют форму и амплитуду принятого сигнала и сравнивают с пороговыми значениями для оценки возможности дальнейшей работы блока. В данном случае возникает необходимость установки дополнительных датчиков вибрации на корпусе насоса, а также дополнительных линий связи для передачи информации о вибрации насоса, что снижает надежность всей диагностики системы, увеличивая ее стоимость, тем самым ограничивая возможность применения этого метода [2].

Данные методы диагностики не применимы во всех ситуациях и делают невозможным определить точную причину возникновения сбоя процесса. Вышеперечисленные типы неисправностей можно диагностировать точно и своевременно с помощью спектрального анализа тока статора.

Несмотря на то, что предложенный метод спектральной диагностики электрических параметров широко распространен, этому вопросу, применяемому во многих отраслях нефтедобычи, уделялось мало внимания.

Для выявления закономерностей спектральной структуры тока двигателя и соответствующих типов наработки неисправности была разработана математическая модель УЭЦН, в том числе модель преобразователя частоты, погружной двигатель, центробежный насос и гидравлическая система (нагрузка).

Динамические переменные модели составных частей погружного центробежного насоса, расположенные между ними, и обеспечивают взаимное влияние друг на друга. Кроме того, для УЭЦН разработаны механические и гидравлические подсистемы, которые сильно влияют на динамику всего комплекса.

Результатами расчетов модели являются показатели, для которых определено критическое значение, когда отклонение значе-

ний для границ критических значений необходимо для выявления причин отклонения и выработки корректирующих действий.

Влияние отклонений параметров УЭЦН. Одним из важных параметров для определения производительности насосной установки является относительное отклонение эффективности от заводской таблички. Коэффициент характеризует степень износа и колебания, связанные с использованием байпасных систем. Наименьшие значения коэффициентов позволяют выбирать насосы с наибольшим износом и/или наибольшим влиянием регулирования байпасной системы. После определения контрольного списка необходимо проверить исходные данные выбранных агрегатов. Значение накопленной энергии и время работы могут быть затрачены в различные периоды времени, что может привести к ошибкам [3].

Необходимо проверить фактическую мощность блока. Значение мощности насосов можно получить у специалистов. Оптимальным решением является построение графика мощности насосов, который можно использовать для сравнения значений. После проверки исходных данных проверяется наличие и использование устройства с помощью байпасной системы.

Использование байпасной системы вызвано необходимостью работы насосов со слишком маленькими объемами жидкости. Единицы, в которых установлены байпасы, имеют существенное несоответствие между паспортом и фактической деятельностью насоса с реальным выходным давлением насосов. Корректирующая деятельность может быть исключением регулирования байпаса с помощью выбора оптимального насоса для объема перекачиваемой жидкости.

Вторым фактором отклонения фактической эффективности от заводской таблички является износ. Если это обнаружено, то регулирование байпасов не происходит или оказывает незначительное влияние, единицы должны быть проверены в соответствии с методом оптимального времени вывоза оборудования для ремонта, затем принимается решение о необходимости раннего ремонта насосной установки.

Относительное превышение давления насосных агрегатов над годовым максимальным линейным давлением – отношение суммы фактического давления на входе насоса и паспорта для фактического объема до максимального давления в линии

за 12 месяцев увеличилось на 35 м (нормативные потери от насоса до линии). Коэффициент характеризует избыточность напора насоса относительно максимума для объекта.

Самые высокие значения коэффициентов позволяют определять насосные агрегаты с избыточным давлением. Эти насосы должны быть проверены на возможность уменьшения количества рабочих колес [4].

Корректирующим действием может быть замена всех или части насосов насосами с более низким номинальным давлением. После замены рабочего насоса следует максимально использовать агрегаты с давлением.

В случае замены только части насоса во время повышения давления в трубопроводе возможно использовать резервные насосы, имеющие более высокое давление.

Коэффициент неравномерности давления – отношение максимального давления в линии к средней. Коэффициент характеризует амплитуду колебаний давления в линии (возвышение максимального линейного давления на среднее линейное давление за рассматриваемый период). Самые высокие значения коэффициентов позволяют выбирать объекты с наиболее нерегулярным режимом работы.

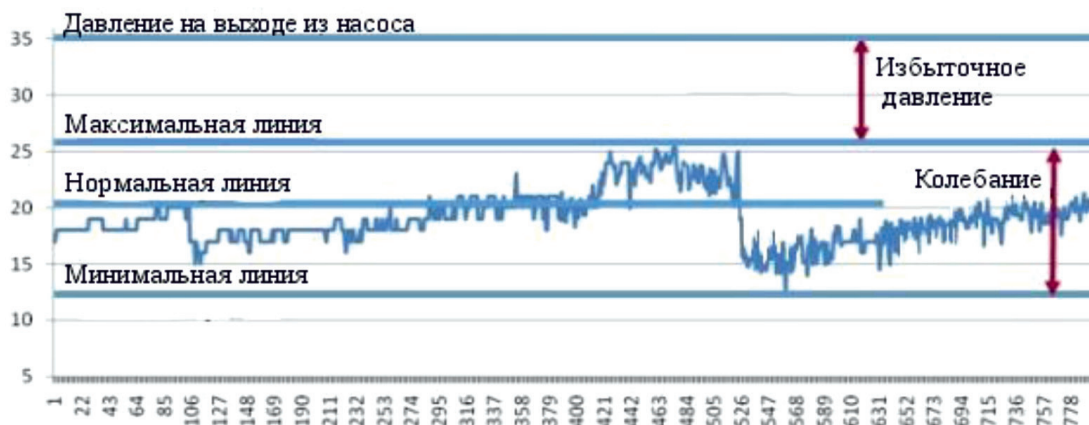
Насосы обычно выбираются для работы с линиями максимального давления, как показано на диаграмме, такие УЭЦН основное время работают в преднагруженном состоянии. Это приводит к избытку энергии потребления.

На таких УЭЦН необходимо разработать мероприятия по выравниванию режима заправки. Этот может применяться для перераспределения потоков между установками, согласованной задержки запуска насосов, т.е. чтобы они не проводились одновременно.

Также такие проблемы можно решить, запустив несколько насосов с разным давлением или с большим и постоянным колебанием путем установки преобразователей частоты (рисунок).

Коэффициент нагрузки – соотношение фактической и номинальной производительности насосного насоса. Коэффициент указывает на отклонение работы насоса в левой или правой области.

При отклонении коэффициента необходимо проанализировать перераспределение объемов между единицами для более эффективной загрузки или подбора оптимальных комбинаций оборудования.



Изменение давления при исследовании УЭЦН

КПД насоса — отношение гидравлической энергии, передаваемой к линии, к энергопотреблению в течение рассматриваемого периода. Коэффициент характеризует общую энергоэффективность.

На показатель влияют следующие критические факторы [5]:

- отклонение насоса в левой / правой области;
- избыточное давление;
- техническое состояние.

Индикатор позволяет выбрать насос с наибольшим перерасходом мощности. Первый шаг при анализе — необходимо определить причины низкой эффективности и предложить решения для ее повышения. Распространенным решением для насоса с низким КПД является выбор оптимальной комбинации оборудования для параметров текущего насоса. В списке нужно определить наиболее эффективную конфигурацию оборудования, доступную в резерве. Аналогичная проверка должна быть сделана на параметры насосного агрегата.

Пограничные значения для критериев пересматриваются не реже одного раза в год.

Неисправности электродвигателей УЭЦН. Рассмотрим одну из неисправностей электродвигателей центробежных насосов. Эксцентриситет ротора довольно часто встречается на практике, причина повышенной вибрации электрических машин возникает из-за износа прокатки подшипников.

При перекрытии оси поля статора с областью увеличенного зазора тяговое усилие несколько уменьшается, с увеличением скольжения значения частоты. При перемещении осевых полей в нижней зоне зазора

сила тяги увеличивается, частота скольжения уменьшается. Когда число пар полюсов статора больше единицы, этот процесс повторяется « p » раз.

В интервале смещения ротора из зоны с увеличенным зазором, зона в зону с уменьшенным зазором, ротор ускоряется на малых оборотах. В интервале перехода ротора обратно, в зону с увеличенным зазором, ротор замедляется до того же значения. Это заметно в спектре.

На токовом спектре вокруг основной частоты вращения ротора появляются симметрично расположенные боковые пики (гармоники), напоминающие зубцы коронки. Симметрия пиков относительно основной частоты является следствием ускорений и замедлений скорости вращения ротора вокруг ее среднего значения.

Подобные зубцы более высокой интенсивности появляются вокруг пиковой электромагнитной мощности на частоте, равной второй гармонике сети.

Эксцентрическое вращение ротора модулирует проводимость зазора с удвоенной частотой. Когда количество пар полюсов равно единице, частота вращения поля равна 50 Гц, в два раза больше частоты линии, частоты электромагнитных колебаний до 100 Гц. Эксцентриситет ротора приводит к модуляции электромагнитной силы. При уменьшении количества пар полюсов частота вращения поля в зазоре уменьшается в p раз. Переменный зазор ротора во время одной циркуляции будет модулировать электромагнитную силу, в $2 * p$ раза превышающую частоту его вращения, соответствующую частоте электромагнитной силы.

Эксцентриситет ротора обычно проявляется как в вертикальной, так и в поперечной проекциях вибрации. Иногда это можно обнаружить даже в осевой проекции. Это возможно при наличии эксцентриситета ротора по всей его длине, но только в области одного края пакета электротехнической стали [6].

Эксцентриситет ротора часто носит переходный характер, когда в спектре двигателя имеется характерный рисунок, и практическое измерение зазора не подтверждает диагноз. Причина обычно в тепловых процессах, когда ротор асимметрично нагревается, изгибается и дает картину эксцентриситета.

После выключения двигателя, в процессе разборки для измерения зазора, температура быстро выровнялась и диагноз не подтвердился. Часто это происходит при поломках стержней или частичном «выпаде» ротора вокруг неподвижных элементов, когда ротор начинает нагреваться одностронне. В ходе проведения исследования был диагностирован режим работы насосной системы с обрывом цепи и фазой статора неисправности.

В ходе исследования было определено, что открытая фаза AD приводит к увеличению гармоник № 2 (4 дБ) № 6 (2 дБ) № 8 (1,3 дБ), а также к появлению пика в области 390 Гц. Было проведено сравнение спектрограмм, которое показало, что при наличии дисбаланса наблюдается рост гармоник № 2 (1,8 дБ) № 6 (1,2 дБ), № 7 (1,8 дБ).

При исследовании межфазного замыкания наблюдалось увеличение гармоники № 2 более чем на 3 дБ. Также выявлены следующие гармоники: № 6 (1,3 дБ), № 8 (1,9 дБ), № 9 (9,8 дБ). Дополнительно в спектре наблюдается 7 (390 Гц) и 10 (380 Гц) гармоник.

Анализ полученных данных позволил сделать вывод, что износ радиальных подшипников насоса приводит к появлению дополнительных гармоник на частоте 200 Гц, что вдвое превышает частоту вращения вала двигателя насоса.

Сравнительный анализ существующих методов диагностики системы УЭЦН показал, что наиболее надежным методом диагностики является метод, основанный на спектральном анализе тока статора. Получилось выявить взаимосвязь между наличием характерных гармоник и определенных типов неисправностей УЭЦН. Отличие результатов экспериментов для одного и того же режима не отличается более чем на 5%. Анализ полученных спектров показал различия между режимами работы двигателя, что позволяет на начальных этапах диагностировать появление неисправности в работе УЭЦН.

Список литературы / References

1. Ивановский В.Н. Установки погружных центробежных насосов для добычи нефти. М.: ГУП Изд-во Нефть и газ, 2012. 256 с.
2. Ivanovskiy V.N. Installations of submersible centrifugal pumps for oil production. M.: GUP Izd-vo Neft' i gaz, 2012. 256 p. (in Russian).
3. Габдрахимов М.С., Фахриева К.Р. Динамические нагрузки скважинного оборудования и виброзащита УЭЦН // Оборудование и технологии для нефтегазового комплекса. 2013. № 5. С. 17–21.
4. Gabdrakhimov M.S., Fakhrieva K.R. Dynamic loadings of borehole equipment and vibroprotection of electric centrifugal pumping unit (ECP) // Oborudovaniye i tekhnologii dlya neftegazovogo kompleksa. 2013. № 5. P. 17–21 (in Russian).
5. Ковалев А.Ю. Введение в системное моделирование установок электроцентробежных насосов: монография. Омск: Изд. ОмГТУ, 2012. 175 с.
6. Kovalev A.Yu. Introduction to system modeling of electric centrifugal pump installations: monograph. Omsk: Izd. OmGTU, 2012. 175 p. (in Russian).
7. Кагарманов И.И. Техника и технология добычи нефти. Томск, 2005. 176 с.
8. Kagarmanov I.I. Technique and technology for oil production. Tomsk, 2005. 176 p. (in Russian).
9. Гнеденко Б.В., Беляев Ю.К., Соловьев А.Д. Математические методы в теории надежности. М.: Наука, 1965. 524 с.
10. Gnedenko B.V., Belyaev Yu.K., Soloviev A.D. Mathematical Methods in Theory reliability. M.: Nauka, 1965. 524 p. (in Russian).
11. Китабов А.Н., Токарев В.П. Информационно-измерительная система диагностики погружного электродвигателя // Вестник Уфимского государственного авиационного технического университета. 2011. Т. 15. № 1 (41). С. 153–164.
12. Kitabov A.N., Tokarev V.P. Information-measuring system for diagnostics of a submersible electric motor // Vestnik Ufmskogo gosudarstvennogo aviatsionnogo tekhnicheskogo universiteta. 2011. V. 15. № 1 (41). P. 153–164 (in Russian).

УДК 550.8.053

**ПРИКАСПИЙСКАЯ ВПАДИНА И ЕЕ ОТОБРАЖЕНИЕ
В ГЕОФИЗИЧЕСКИХ АНОМАЛИЯХ****Волкова Е.Н.***Саратовский национальный исследовательский государственный университет
им. Н.Г. Чернышевского, Саратов, e-mail: volkovaen@info.sgu.ru*

В статье представлены новые методические приемы интерпретации геолого-геофизических данных с целью обоснованного выхода с нефтегазопроисковой деятельностью во внутренние районы Прикаспийской впадины и подтверждения гипотезы о наличии приподнятых блоков фундамента и крупных подсолевых поднятий, доступных для бурения. Наблюдаемые гравитационные и магнитные аномалии в виде числовых значений были сформированы в матрицы, охватывающие всю территорию Прикаспийской впадины, размерами 120*100 элементов для карт масштаба 1:1000000. Всего сформировано 40 схем геофизических параметров. В центральной части трансформациями выявлены крупные, интенсивные аномалии, связанные с морфологией поверхности подсолевого ложа. Гравитационные ступени, ограничивающие крупные аномалии, указывают на крутые склоны структурных элементов. Это возможные переходные зоны от мелководных условий к глубоководным. Выявленная инверсность гравитационных и магнитных аномалий может быть связана с объектами мощных толщин карбонатных пород органогенного генезиса бассейнового, бортового и шельфового типа, сформированных на склоновых участках. Для Прикаспийской впадины вычислены трансформированные карты гравитационных и магнитных аномалий при различных высотах пересчета вверх от 5 до 50 км с шагом 5 км; вычислены интервальные трансформированные схемы. Установлено, что структура искусственных параметров обусловлена неоднородным строением и петрофизическими свойствами геологического разреза. В результате обработки и интерпретации автор прогнозирует в центральном районе существование антиклинальной зоны, в пределах которой располагается возможное поднятие для дальнейшего роста крупных карбонатных построек типа «Карачаганак». Зона с такими же признаками фиксируется и в западной части Центрально-Прикаспийской депрессии в районе Аралсорского максимума силы тяжести.

Ключевые слова: нефтеносность, геология, геофизика, гравиразведка, интерпретация**CIS-CASPIAN DEPRESSION AND ITS REFLECTION
IN GEOPHYSICAL ANOMALIES****Volkova E.N.***Saratov State University, Saratov, e-mail: volkovaen@info.sgu.ru*

The article presents new methodological methods for interpreting geological and geophysical data with the aim of justifying the search for oil and gas in the inner regions of Cis-Caspian depression and confirming the hypothesis of uplifted foundation blocks and large drillable subsalt elevations. The observed gravitational and magnetic anomalies were represented in the form of numerical matrices covering the entire territory of Cis-Caspian depression with 120*100 dimensions of elements for maps of 1:1000000 scale. A total of 40 schemes of geophysical parameters were generated. In the central part, the transformations allowed identifying large, intense anomalies associated with the morphology of the subsalt bed surface. Gravity steps, which limit large anomalies, testify to the steep slopes of structural elements. This is the possible zones of transition from shallow-water conditions to deep-water ones. The inversion of gravitational and magnetic anomalies can be associated with the objects of formation of carbonate rocks of organogenic Genesis of basin, side and shelf types formed on slope areas. Transformed maps of gravitational and magnetic anomalies were calculated for the Caspian basin at different altitudes from 5 to 50 km with a step of 5 km; interval transformed schemes were calculated. As a result of processing and interpretation, the author predicts the existence of an anticline zone in the Central region, within which there is a possible uplift for further growth of large carbonate structures of the Karachaganak type. The zone with the same signs is also registered in the western part of the Central Cis-Caspian depression in the region of Aralsor gravity high.

Keywords: oil, geology, geophysics, gravity, interpretation

Недостаточная эффективность геофизических исследований в сложных геологических условиях на больших глубинах поставила новые теоретические и практические проблемы, без решения которых невозможно освоить прогнозируемые потенциальные ресурсы Прикаспийской впадины как нового нефтегазоносного региона России [1].

К числу таких проблем относится и разработка высокоэффективных методов поисков и разведки с целью наращивания промышленных запасов углеводородов.

Выбор стратегии поисково-разведочных работ определяется различными концепциями строения и развития Прикаспийской впадины. Большие мощности осадочного чехла (>20 км), наличие мощных толщ соли, сложность структуры подсолевых отложений, резкие изменения литологического состава пород, наличие многочисленных перерывов в осадконакоплении и разрывные нарушения не дают возможности однозначно трактовать особенности структуры и истории геологического развития тер-

ритории. Анализ фактического материала привел к появлению различных моделей, которые отображают разные точки зрения на геологическое строение и генезис впадины, порождающие два подхода к обоснованию размещения геологоразведочных работ [2].

Гипотеза некомпенсированного осадко-накопления предполагает малую перспективность центральных районов в отношении нефтегазоносности разреза. Другие гипотезы предполагают наличие приподнятых блоков фундамента и крупных подсолевых поднятий, доступных для бурения не только в периферийных, но и в центральных частях впадины. Выход с поисковыми работами во внутренние районы Прикаспийской впадины предполагает положительные результаты, однако именно центральная часть охарактеризована недостаточным объемом геолого-геофизического материала, из-за слабой изученности бурением и неоднозначной интерпретации геофизических материалов [3].

Первоочередные направления в задачах поиска стратегических объектов углеводородного сырья основаны на альтернативных моделях строения Прикаспия, что и определяет соответствующий комплекс методических приёмов.

Значительное развитие получили высокопроизводительные дешевые методы разведочной геофизики: гравиразведка и магниторазведка – выполненные практически на всей территории впадины, давая непрерывную объективную информацию по площади в виде сводных карт напряженности магнитного поля и аномалий поля силы тяжести.

Материалы и методы исследования

Известно, что наблюдения гравитационного и магнитного полей, как правило, представлены сложными интерференционными картинками и визуальное рассмотрение их не позволяет установить особенности строения геологической среды. Считается, что характер затухания аномалий, в зависимости от высоты (уровня) пересчета, дает возможность сделать ряд важных выводов о тектоническом строении исследуемой территории, установить места расположения крупных геоструктурных элементов, таких как выступы, впадины, валы, прогибы и т.п. По картам региональных аномалий можно выделить зоны крупных дислокаций, простирание основных структур и сделать выводы об их предположительных размерах.

В этих условиях важно осуществить такое преобразование наблюдаемого поля, которое выявит в визуальной форме содержащуюся в суммарном поле информацию о его компонентах, связанных с отдельными геологическими образованиями. В зависимости от варианта выделения из наблюдаемого поля региональной или локальной составляющей подбирают способы преобразований [4].

С целью получения преобразованных параметров применялись следующие способы трансформации:

а) аналитическое продолжение в верхнее полупространство на высоты 5, 10, 15, 20, 30, 40 и 50 км с последующим построением схем региональных аномалий $\Delta g_{h=5}$, то есть на высоте 5 км, $\Delta g_{h=10}$, $\Delta g_{h=15}$ и т.д.;

б) вычисление разности аномальных значений на поверхности наблюдений и на высотах 5, 10, 15, 20 км и построением схем локальных аномалий $\Delta g_{\text{лок}} = \Delta g_n - \Delta g_{h=5}$ и т.д.;

в) вычисление разности аномальных значений Δg на высотах 5–10, $h = 5-15, 10-20$ км и построением схем интервальных значений $\Delta g_{\text{инт}} = \Delta g_{h=5} - \Delta g_{h=10}$; $\Delta g_{h=10} - \Delta g_{h=15}$ и т.д.

Выбор высот (параметров) пересчета в выполненных процедурах обусловлен априорной геологической моделью Прикаспия, точнее глубиной залегания основных гравиактивных поверхностей: кровлей и подошвой соли, фундамента, границы Мохоровичича. Вычисление разности между различными уровнями высоты позволило сузить диапазон возможного интервала геологического разреза, в котором можно ожидать проявление аномалиеобразующих масс в подсолевом палеозое. Для обработки наблюдаемые поля были представлены в виде числовых матриц из 12 тысяч элементов для карт масштаба 1:1000000.

В процессе истолкования геофизических данных была использована традиционная комплексная геологическая интерпретация. Несмотря на соответствие сочетаний Δg и ΔT разнообразным геологическим структурам и геологическим ситуациям, существуют исследования, которые делают более конкретные выводы о связи аномалий с тектоническим планом. В частности, соотношение $+\Delta g + \Delta T$ рассматривается как индикатор приподнятых участков фундамента, $-\Delta g$ и $-\Delta T$ отображает максимально погруженные зоны кристаллического основания и горизонтов осадочного чехла, $-\Delta g + \Delta T$ отвечает наложенным впадинам, локализующимся над приподнятыми блоками магнитоактивного фундамента.

Положительным структурам в большинстве случаев соответствуют понижения значений ΔT и знакопеременное поле Δg . Выступы-блоки, обусловленные разрывными нарушениями и представляющие конечный результат всех тектонических преобразований, отображаются минимумами ΔT , ограниченными по периферии линейными максимумами.

Критериальным моментом ресурсной привлекательности лицензионных участков можно считать рассмотренные инверсные сочетания аномалий магнитного и гравитационного поля.

Результаты исследования и их обсуждение

Наблюдаемое гравитационное поле Прикаспийской впадины, представленное в масштабе 1:1000000, характеризуется сложной картиной изолиний, отображаемых в замкнутых аномалиях разнообразной формы, интенсивности и простирания.

Объяснить наблюдаемые крупные, интенсивные (до 30–40 мГл) аномалии влиянием только соленосной толщи не удастся даже при изменении плотности межкупольных отложений за пределы разумного. Можно предположить связь аномалий с крупными структурами подсолевого ложа во внутренней части Прикаспийской впадины. Следовательно, можно прогнозировать благоприятные условия для образования рифогенных структур, перспективных на нефть и газ.

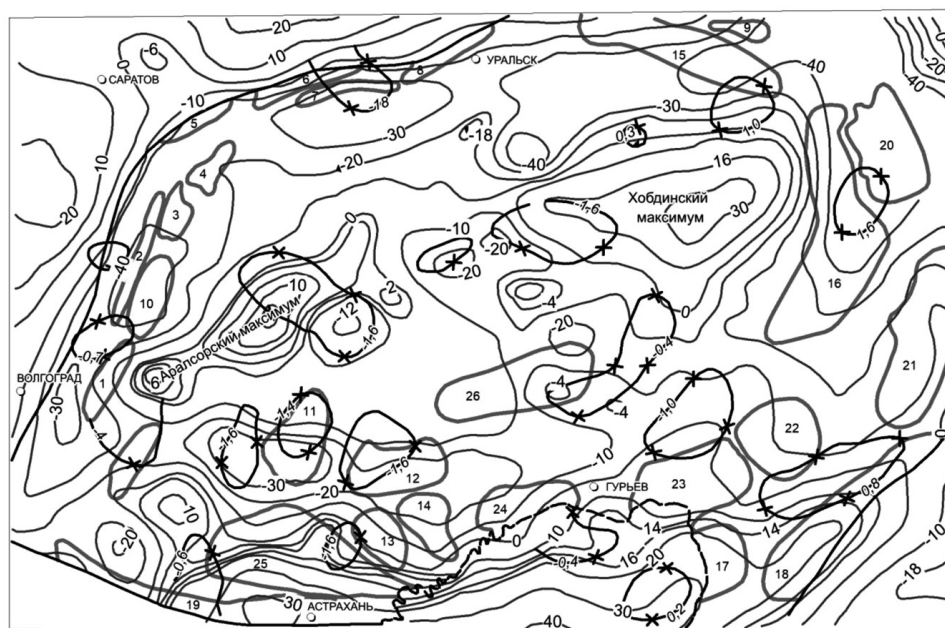
Магнитное поле Прикаспийской впадины в региональном плане отличается спокойным характером. Мозаичная структура магнитного поля юга и востока впадины объясняется тем, что подсолевое ложе залегает на сравнительно меньшей глубине и немагнитные соляные купола и разделяющие их мульды, выполненные песчано-глинистыми отложениями с повышенной намагниченностью, проявляются лучше, чем в погруженных областях – западной и центральной частях впадины, где отмечаются слабоинтенсивные масштабные аномалии. Линия бортового уступа не находит отражения в магнитном поле.

Анализируя карты трансформированных полей, построенных для разных уровней (рисунок), можно отметить, что на высоте 15 км в гравитационном поле, редуцированном за влияние солянокупольной тектоники, четко просматриваются северо-западная и южная бортовые зоны впадины. С Аралсорским максимумом со-

впадает линейная структура гравитационного поля, простирающаяся с юго-запада на северо-восток с изменением значений от +15 до –15 усл. ед. Хобдинский максимум силы тяжести, имеющий треугольную форму, ограничен градиентной зоной с перепадом значений до 50 усл. ед. По всей территории Прикаспийской впадины наблюдаются крупные относительные максимумы и минимумы с амплитудой 30–50 усл. ед. и размерами 50–100 км, оконтуренные зонами высоких горизонтальных градиентов в 2–4 усл. ед./км. На природу этих аномалий, полученных при пересчетах на высоту, могут быть разные точки зрения.

Сопоставляя тектонические элементы со структурой преобразованных магнитных полей, отмечаем отсутствие строгой закономерной связи между структурами фундамента и аномалиями поля ΔT . Большинство элементов: Астраханский и Гурьевский своды, Южно-Эмбенское и Джаныбекское поднятия, Палласовский и Упрямовский валы – расположены в зонах перехода значений от +2 до –2 усл. ед. В отличие от гравитационного поля, замкнутые отрицательные аномалии $-\Delta T$ по конфигурации совпадают с контурами Азгирского, Мынтобинского, Октябрьского поднятий, а замкнутые положительные с Кызлджарским, Тенгизским, Илекским выступами фундамента. Такое сложное отображение тектонических особенностей региона еще раз свидетельствует о неоднозначной интерпретации потенциальных полей при анализе результатов каждого метода в отдельности.

Карты интервальных трансформаций, в сравнении с осредненной, плавной рисовкой изолиний Δg , представляют собой сложную картину набора знакопеременных разноплановых по форме и размерам аномалий с сохранением конфигурации изолиний бортовой зоны и внутренних областей. Разломы и солянокупольная тектоника формируют вдоль реки Урал полосу меридионального простирания с чередованием изометричных максимумов и минимумов. Очертания крупных и интенсивных аномалий осложнены мелкими замкнутыми и ползамкнутыми элементами поля, а в пределах областей постоянных значений поля локализованы аномалии небольших амплитуд. В контурах интервальных аномалий частично просматриваются очертания тектонических элементов. Критерий инверсности гравимагнитных полей усматривается в части северо-запада Хобдинского регионального максимума.



УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

- изоаномалы трансформированных значений силы тяжести;
- изоаномалы трансформированных значений магнитного поля;
- контуры положительных тектонических элементов;
- границы Прикаспийской впадины;
- берег Каспийского моря.

Тектонические элементы по данным А.К. Замарёнова, 1989 г.

Волгоградско-Оренбургская система поднятий:

- 1- Ахтубинский вал; 2- Упрямовский вал; 3- Палласовский вал; 4- Питерско-Новоузенский вал;
5- Карпенский вал; 6- Дергачевско-Озинский вал; 7- Алтатинско-Никольский вал; 8- Тепловский вал;
9- Илекский вал.

Поднятия:

- 10- Джаныбекское; 11- Азгирское; 12- Мынтобинское; 13- Кобяковское; 14- Октябрьское.

Зоны поднятий:

- 15- Карачаганакско-Кобландинская; 16- Кзылджарская; 17- Каратон-Тенгизская; 18- Южно-Эмбенская;
19- Каракульско-Смушковская.

Своды:

- 20- Темирский; 21- Жаркомысский; 22- Биикжалский; 23- Гурьевский; 24- Новобогатинский;
25- Астраханский; 26- Жайский.

Схема распределения региональных аномалий потенциальных полей Прикаспийской впадины

Совместный анализ потенциальных трансформированных полей показывает, что в восточной части впадины форма и простираение изоаномал крупной положительной заливообразной аномалии ΔT совпадает по этим же параметрам с отрицательной обширной аномалией Δg , что свидетельствует о едином источнике потенциальных полей в районе Мугоджар. Прилегающая с запада к этому региону область

Хобдинского максимума силы тяжести ограничивается на севере высокоамплитудной гравитационной ступенью, совпадающей с линейной субширотной градиентной зоной магнитного поля. Последняя меняет свое направление к югу по аналогии с полем силы тяжести, а на юго-западе области этого максимума изолинии магнитного поля как бы пересекают изоаномалы гравитационного поля.

Интересен район между Аралсорским и Хобдинским максимумами, где отрицательная зона Δg , прилегающая к юго-западному борту Хобдинского треугольника, осложнена изометричной интенсивной положительной аномалией ΔT , которая проявилась в локальных формах поля силы тяжести и соответствует в магнитном поле интенсивной градиентной зоне. Именно в этом районе по данным сейсморазведки на глубинах 9–10 км выделяется Кушумский свод [5].

Анализ литературы сформировал исторический аспект во взглядах на природу аномалий Δg и ΔT . В.В. Знаменский и Ю.А. Косыгин считали, что Хобдинскому и Аралсорскому региональным гравитационным максимумам соответствует подъем плотных пород палеозоя и кристаллического фундамента [6]. Э.Э. Фотиади полагал, что Хобдинский и Аралсорский региональные гравитационные максимумы отражают глубоко погруженные выступы фундамента, аналогичные Татарскому своду. Предпринятые им расчеты магнитных аномалий показали, что в центральной части Хобдинского максимума кристаллический фундамент залегает на глубине 7,5 км, а непосредственно к северу от Хобдинского максимума глубина его залегания увеличивается до 9 км [6]. Н.В. Неволин пришел к выводу, что Хобдинский гравитационный максимум может быть полностью объяснен, если допустить наличие в его районе докембрийского выступа сокращенной мощности отложений палеозоя [6]. Повсеместно принимая в качестве поверхности Мохо преломляющую границу со скоростью распространения упругих колебаний 8,0 км/с, Н.Я. Кунин составил схему рельефа поверхности Мохо Прикаспийской впадины, где выделил несколько выступов, в числе которых три в центральной части с минимальными глубинами залегания подошвы земной коры 30–34 км – Хобдинский, Аралсорский и Нижне-Волжский. Закономерная взаимосвязь между поднятиями поверхности Мохо и гравитационными аномалиями наблюдается относительно надежно лишь в районе Хобдинского максимума. Аралсорский и Астраханский гравитационные максимумы лишь приближенно коррелируются с выступами верхней мантии. Далее автор предполагает, что выступы верхней мантии в Прикаспийской впадине принадлежали некогда единой линейной рифтогенной структуре, а их современная позиция является следствием крупных горизонтальных перемещений блоков. В 1960 г.

В.С. Журавлевым были выделены Хобдинский и Аралсорский мегантиклиналы, в 1970-е гг. Э.К. Азнабаевым и др. – Ново-надеждинский свод, в 1970 г. Ю.П. Конценебиным выделен ряд поднятий подсолевого ложа и фундамента в центральной части. С Хобдинским и Аралсорским региональными максимумами связывали либо поднятие палеозойских отложений, либо их расценивали как зоны, приближающиеся к депрессионным участкам Прикаспийской впадины, или даже как область ее максимального прогибания. Наконец, некоторые исследователи трактовали их как поднятие плотных пород палеозоя и кристаллического фундамента.

При рассмотрении карт аномалий силы тяжести Δg_{5-10} , Δg_{15} и магнитного поля ΔT_{10} видно, что Прикаспийская впадина в целом и ее центральная часть дифференцированы. Если исходить из общепринятой точки зрения на строение и развитие впадины, то центральная ее часть должна быть по своему структурно-вещественному строению намного «спокойнее» (проще) окраинных областей, однако в региональных трансформантах она дифференцирована по площади одинаково.

Практически не совпадают между собой трансформированные аномалии силы тяжести и магнитного поля, что может указывать на различные источники аномалий Δg и ΔT . В то же время встречаются участки, где предполагается моногеничность источников аномалий – район Темирского свода, Южно-Эмбенского поднятия, северная оконечность Хобдинского максимума. Кроме этого, выделяются области, известные своей нефтегазоперспективностью (Астраханский свод, Каратон-Тенгизская зона поднятий), где отмечается ортогональность потенциальных полей. В таких областях, кроме указания на различные источники аномалий, признак инверсного соотношения полей Δg и ΔT может характеризовать определенную взаимосвязь осадочного чехла с глубокими структурами Прикаспийской впадины.

Выделенные сочетания $-\Delta T + \Delta g$ приурочены к известным площадям Астраханского свода, частично – Южно-Эмбенского поднятия, Биикжальского и Гурьевского сводов.

Зона центральной депрессии включает два подобных участка, расположенных в пределах Аралсорского и Хобдинского гравитационных максимумов. Прибрежная Северо-Каспийская приподнятая зона, восточное продолжение Астраханско-Актю-

бинских поднятий и участков внутренней прибортовой зоны Прикаспия тоже попадают в зоны сочетания $-\Delta T + \Delta g$. Обращает на себя внимание конфигурация зон некоторых сочетаний. Зона Хобдинского максимума, напоминающая треугольник, соединена с такой же по конфигурации зоной. Исходя из этого соотношения, можно предположить, что область сочленения треугольников находится в центре деструктивной зоны, явившейся корневым элементом областей сегментообразной формы различных сочетаний потенциальных полей.

В целом Хобдинский региональный максимум может быть выступом-блоком, но наличие отрицательной магнитной аномалии $-\Delta T$ в центральной части Хобдинского максимума может служить основанием для одного из двух выводов. С одной стороны, соотношение $+\Delta g - \Delta T$ отображает возможную карбонатную постройку, расположенную на склоне цокольного поднятия, а с другой – резкие изменения ΔT по периферии отрицательной аномалии $-\Delta T$ в положительном поле Δg , указывают на существование поднятий в подсолевом ложе.

При сопоставлении тектонической схемы с полученными нами материалами видно (рисунок), что восточная часть Центрально-Прикаспийской депрессии характеризуется областью, которой соответствует положительная аномалия силы тяжести на карте трансформант, эта же область совпадает с выступом по поверхности Мохо и по подошве подсолевых отложений, а также попадает на отрицательную градиентную зону в магнитном поле. Все это подтверждает главный вывод о возможном подъеме всех отражающих горизонтов в этом районе. Область с такими же признаками (максимум Δg , градиент ΔT , подъем мантии) фиксируется и в западной части Центрально-Прикаспийской депрессии. Возможно, и здесь имеется поднятие аналогичное указанному выше.

Заключение

Таким образом, в результате анализа можно констатировать, что в зонах структурной дифференциации центральной части впадины могут быть выделены разнообразные геоструктурные элементы, как возможные ловушки, перспективные в нефтегазоносном отношении. В частности, в районе Хобдинского максимума возможно существование приподнятой относительно

депрессийной части зоны, в пределах которой располагается цоколь для дальнейшего роста крупных карбонатных построек типа «Карачаганак». Зона с такими же признаками фиксируется и в западной части Центрально-Прикаспийской депрессии в районе Аралсорского максимума силы тяжести. В результате выполненных работ сформированы участки ресурсной привлекательности возможных источников стратегических запасов углеводородов.

Список литературы / References

1. Куранов Ю.В. Современная оценка перспектив нефтегазоносности и ресурсной базы Республики Калмыкия на основе новейших геолого-геофизических данных // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Естественные науки. 2017. № 1. С. 103–111.
2. Kuranov Yu.V. Modern assessment of the hydrocarbon potential and resource base of Repablik of Kalmykia, supplemented the newest geological data // Izvestiya vuzov. Severo-Kavkazskii region. Natural science. 2017. № 1. P. 103–111 (in Russian).
3. Мурзин Ш.М. Модель формирования прибортовых соляных куполов в Прикаспийской впадине // Бюллетень Московского общества испытателей природы. Отдел Геологический. 2010. № 6. С. 21–24.
4. Murzin Sh.M. Model of marginal salt domes origin in Pre-Caspian Depression // Byulleten' Moskovskogo obshchestva ispytateley prirody. Otdel Geologicheskiiy. 2010. № 6. P. 21–24 (in Russian).
5. Подгорная Е.В., Постнова Е.В., Воробьева Е.В., Яцкевич С.В. Особенности тектонического строения и этапы формирования современного структурного плана юго-востока Рязано-Саратовского прогиба // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. 2013. № 3. С. 4–11.
6. Podgornaya E.V., Postnova E.V., Vorobieva E.V., Yatskevich S.V. Some specific features of tectonic structure and stages of modern structural plan formation of the south-eastern part of Ryazano-Saratovsky trough // Geologiya, geofizika i razrabotka neftyanykh i gazovykh mestorozhdeniy. 2013. № 3. P. 4–11 (in Russian).
7. Рыскин М.И. Локализация аномалий геопотенциальных полей на основе применения частотных и корреляционных преобразований // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Науки о Земле. 2017. Вып. 1. С. 52–57. DOI: 10.18500/1819-7663-2017-17-1-52-57.
8. Riskin M. I. Localization of the Anomalies of Geopotential Fields on the Basis of the Frequency and Correlation of Change // Izvestiya Saratovskogo universiteta. Novaya seriya. Seriya: Nauki o Zemle. 2017. № 1. P. 52–54 (in Russian).
9. Волкова Е.Н. Совершенствование комплексной обработки к интерпретации потенциальных полей с целью выделения нефтегазоперспективных участков (на примере Прикаспийской впадины): автореф. дис. ... канд. геол.-минерал. наук. 04.00.12. Саратов, 1995. 23 с.
10. Volkova E.N. Perfection of complex processing to interpretation of potential fields for the purpose of allocation of oil and gas perspective sites (on the example of the Caspian depression): avtoref. dis. ... kand. geol.-mineral. nauk. 04.00.12. Saratov, 1995. 23 p. (in Russian).
11. Журавлев В.С. Основные черты глубинной тектоники Прикаспийской синеклизы. М.: Изд. АН СССР, 1960. 279 с.
12. Zhuravlev V.S. the Main features of the deep tectonics of the Caspian syncline. M.: Izd. AN SSSR, 1960. 279 p. (in Russian).

УДК 553.41(571.651)

**ПЕРСПЕКТИВЫ РАСШИРЕНИЯ СЫРЬЕВОЙ БАЗЫ
ЗОЛОТО-СЕРЕБРЯНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ
СЕНТЯБРЬСКОЕ СВ (ЧУКОТСКИЙ АВТОНОМНЫЙ ОКРУГ)**

Гребенникова А.А.*Дальневосточный геологический институт ДВО РАН, Владивосток, e-mail: anylotina@mail.ru*

Чукотский автономный округ занимает одно из лидирующих мест в России по добыче золота. Здесь известны месторождения различных формационных типов, одними из интересных в промышленном плане являются бананцевые эпипермальные золото-серебряные объекты, к которым относятся Кубака, Джульета, Купол, Двойное, Сентябрьское СВ, Валунистое и многие другие. В настоящее время данный тип месторождений является очень значимым для добывающей промышленности, потому что имеет большие запасы золота и серебра. Добыча металла из эпипермальных золото-серебряных месторождений является экономически выгодной даже в труднодоступных районах Северо-Востока России. Но, как известно, «жизнь» этих месторождений скоротечна и запасы их не безграничны. Поэтому важно расширять и восполнять минерально-сырьевую базу за счет освоения новых месторождений, рудопроявлений и перспективных площадей на золото и серебро. В статье кратко приведены некоторые геологические и минералогические характеристики эпипермальных золото-серебряных месторождений Купол, Двойное и Сентябрьское. Наше исследование было предпринято с целью определить типоморфные особенности бананцевого эпипермального золото-серебряного месторождения Сентябрьское СВ и сопоставить их с крупнейшими месторождениями «мирового класса», которые локализованы в пределах Купольного горнорудного района – Купол и Двойное. Полученные данные позволяют сделать вывод о перспективности эпипермального золото-серебряного месторождения Сентябрьское СВ в промышленном плане на золото, серебро и возможности прогнозирования и выявления новых богатых рудных площадей на данном объекте и Купольном горнорудном районе Чукотского автономного округа.

Ключевые слова: золото, серебро, месторождение, эпипермальный, бананцы, Чукотка

**THE PROSPECTS OF EXPANDING THE RAW MATERIALS SOURCE
OF GOLD-SILVER DEPOSIT Sentyabrskoe SV
(CHUKOTKA AUTONOMOUS AREA)**

Grebennikova A.A.*Far East Geological Institute FEB RAS, Vladivostok, e-mail: anylotina@mail.ru*

The Chukotka autonomous area of Russia holds one of the leading positions in Russia in the gold mining. Various formational types' deposits are known to this region. Among the most industrially interesting types are bonanza epithermal gold-silver Kubaka, Juliet, Kupol, Dvoynoe, Sentyabrskoe SV, Valunistoe and many other deposits. This deposit type is currently very significant for the mining industry as it provides large gold-silver reserves. Extraction of metal from epithermal gold-silver deposits is economically profitable even in remote areas of the North-East of Russia. However, as it is known, these deposits get rapidly depleted and their reserves are limited. Therefore, it is important to expand and replenish the mineral and raw material base by developing new gold-silver deposits, ore occurrences and prospects. This article briefly describes several geological and mineralogical characteristics of the epithermal gold-silver Kupol, Dvoynoe and Sentyabrskoe SV deposits. Our research aimed to determine typomorphic features of the epithermal gold-silver Sentyabrskoe SV deposit and to compare them to the largest «world class» deposits localized within the Kupolny ore district, i.e. Kupol and Dvoynoe. The data obtained allow us to conclude that the epithermal gold-silver Sentyabrskoe SV deposit is promising in industrial terms for gold, silver, and the ability to predict and identify new rich ore areas at this facility and the Kupolny ore district of the Chukotka autonomous area.

Keywords: gold, silver, deposit, epithermal, bonanza, Chukotka

На Чукотке быстрый рост добычи золота и серебра в первую очередь связывают с перспективными бананцевыми золото-серебряными объектами [1]. Под термином «бананцы» подразумеваются участки рудных тел, содержащие ураганные скопления Au или серебра на месторождениях [1], что соответствует понятию «рудный столб».

Купольный горнорудный район интенсивно стал развиваться после ввода в эксплуатацию в 2008 г. месторождения мирового класса – Купол, которое вывело Чукотку на второе место по добыче золота в России [1–3]. Это

месторождение приурочено к Верхнеяблонской металлогенической зоне Центрально-Чукотского сектора [4]. Его запасы составляют: Au – 93 т, Ag – 1155 т [1, 3]. Рудное поле месторождения сложено андезитами, реже андезибазальтами позднего мела. По данным Сахно, возраст оруденения Купол составляет 88–89 млн лет [5].

В 100 км от месторождения Купол находится месторождение Двойное [1, 6], третье по запасам золота среди эпипермальных Au-Ag месторождений Северо-Востока России: с 2013 г. на нём добыто Au – 23,7 т и Ag –

32,5 т [1, 6]. Рудное поле месторождения сложено андезитами и туфами андезитов, абсолютный возраст которых по данным $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ – аптский (120–118 млн лет [5, 7]). Возраст оруденения месторождения Двойное составляет 88–87 млн лет (К-Аг метод [5]).

В 70 км от месторождения Купол располагается еще один перспективный золото-серебряный объект – месторождение Сентябрьское СВ. Некоторые исследователи относят его к ярко выраженному «бонанцевому» типу, с неравномерным распределением драгоценных (Au и Ag) металлов [1, 8]. Ранее Сентябрьское СВ было изучено Н.Е. Саввой с соавторами [9], а центральная часть рудного поля Сентябрьское исследована Ю.Н. Николаевым с соавторами [8].

Цель исследования: определить перспективность расширения сырьевой базы золото-серебряного месторождения Сентябрьское СВ (Центральная Чукотка). Достижение этой цели обеспечивается в результате проведения сравнительного анализа геологических и минералого-геохимических особенностей руд эпitherмального золото-серебряного месторождения Сентябрьское СВ, с крупнейшими бонанцевыми месторождениями Чукотки – Купол и Двойное, что позволит уточнить его типоморфные особенности, которые помогут идентифицировать условия его формирования и возможность прогнозирования новых рудных зон, как на данном объекте, так и в пределах Купольного горно-рудного района.

Краткая геологическая характеристика

В пределах Илirнейского рудного района, в верховьях рек Раучуа и Илirнейведем известен Водораздельный рудный узел. В его состав входят оконтуренные рудные поля – Двойное и Сентябрьское [8, 9]. Месторождение Сентябрьское СВ локализовано в восточном обрамлении вулканического купола, приуроченного к западной части Илirнейской вулканогенно-тектонической структуры обрушения – раннего этапа становления Центрально-Чукотской зоны Охотско-Чукотского вулканического пояса. Данный район сложен раннемеловыми вулканитами тытыльвеемской свиты, входящей в состав одноименного андезит-риолитового вулканического комплекса. Отложения тытыльвеемской свиты представлены чередующимися потоками андезитов, туфами риолитов, андезибазальтов (рис. 1). Возраст вулканитов тытыльвеемской свиты по результатам U–Pb датирования цирконов составля-

ет $121,4 \pm 2,8$ млн лет (нижняя подсвита) и $118,0 \pm 2,0$ млн лет (средняя подсвита) [10], эти данные в пределах аналитической погрешности совпадают с результатами U–Pb (Shrimp) датирования пород рудного поля Двойное – $120,4 \pm 1,0$ млн лет для рудовмещающих трахиандезитов и $118 \pm 1,0$ млн лет для пострудной дайки [7]. Вулканиты прорываются комагматичными экструзивными телами андезитов, которые выполнены оруденелыми взрывными брекчиями. Основная часть оруденения месторождения Сентябрьское СВ локализована в трубчатом теле взрывных брекчий с обломками пород различного состава (туфами андезитов, андезибазальтов и кварца) [9]. Рудное поле разбито разломами восток-северо-восточного простирания, которые контролируют размещение рудоносных зон и положение взрывных брекчий и даек риолитов [9]. Золото-кварц-полиметаллическая минерализация в основном приурочена к трубообразным телам взрывных брекчий. Она является наложенной и, зачастую, развивается по цементу брекчий, что и определяет морфологию рудных тел [9].

Результаты исследования и их обсуждение

Золото-кварц-полиметаллическая минерализация развивается по цементу тектонической брекчий, ее обломки пропитаны кварц-карбонатными и кварц-полевошпатовыми прожилками. Пространство между ними заполнено рудной минерализацией (сульфиды, самородное золото, гессит, петцит). Жильные минералы матрикса оруденелой брекчий представлены мелко-зернистым и средне-зернистым кварцем, кальцитом, серицитом и калиевым полевым шпатом, карбонатом. Среди рудных минералов в основном преобладают галенит, сфалерит, пирит, халькопирит, гессит, петцит и самородное золото. Диагностика и интерпретация состава минералов гессита и петцита была затруднена из-за малых размеров зерен и вариаций состава.

Галенит – образует вкрапленность в виде одиночных кристаллов или мономинеральных агрегатов с размером выделений от 2 до 600 мкм. Характерны его сростания или каемки обрамления со сфалеритом, халькопиритом, гесситом, и прорастания в пирите (рис. 2, А). В нем фиксируется самородное золото в виде кристаллической и округлой формы. Результаты химического анализа галенита удовлетворительно пересчитываются на формулы $\text{Pb}_{1.01}\text{S}_{0.99}$ и $\text{Pb}_{1.00}\text{S}_{1.00}$.

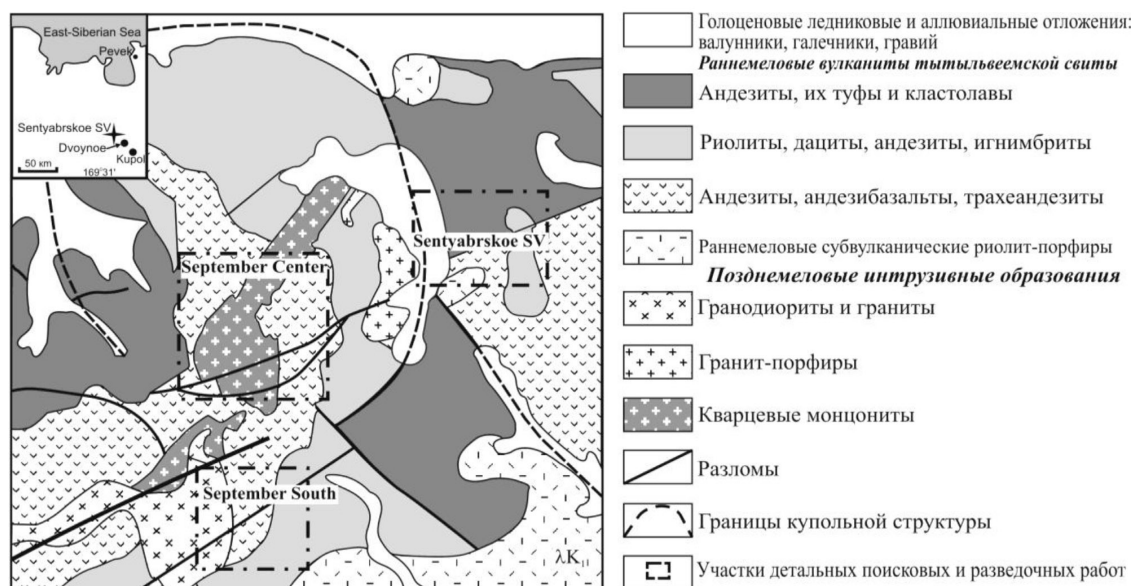


Рис. 1. Схематическая геологическая карта месторождения Сентябрьское СВ (по [10, 11])

Сфалерит – представлен неправильными выделениями или идиоморфными кристаллами от 50 до 800 мкм. Он образует сростание с галенитом, халькопиритом и пиритом (рис. 2, Б). В нем установлены включения самородного золота. Для сфалерита характерны примеси Cd – 0,67–1,19 мас.%, Fe – 0,56–1,95 мас.% и Cu – 1,00–3,94 мас.%. Результаты химического анализа сфалерита удовлетворительно пересчитываются на формулы $(\text{Zn}_{0.97}\text{Fe}_{0.02}\text{Cd}_{0.01})\text{S}_{1.01}$ и $(\text{Zn}_{0.93}\text{Cu}_{0.02}\text{Fe}_{0.03}\text{Cd}_{0.01})\text{S}_{1.00}$.

Пирит – представлен тремя генерациями вкрапленников различной формы в кварцевой массе. Пирит I генерации характеризуется более темным цветом и образует сплошные катаклазированные обособления. Пирит II генерации представлен идиоморфными кристаллами и в сростании со сфалеритом, галенитом и халькопиритом, а также включения самородного золота, гессита и галенита (рис. 2, А). Пирит III генерации образует идиоморфные кристаллы неоднородного более светлого окрашивания по сравнению с пиритом первой и второй генераций. В нем установлена примесь As – 3,2 мас. %.

Халькопирит – образует аллотриоморфнозернистые выделения с размером зерен от 5 до 200 мкм. Он установлен в сростаниях с пиритом, галенитом и петцитом в сфалерите (рис. 2, Б). Иногда халькопирит образует

включения и микропрожилки в сфалерите, характерны маломощные каемки галенита вокруг зерен халькопирита. Результаты химического анализа халькопирита удовлетворительно пересчитываются на формулу $\text{Cu}_{0.99}\text{Fe}_{1.02}\text{S}_{1.99}$.

Самородное золото – образует самостоятельные выделения в кварце, является широко распространенным минералом. Форма зерен (от 5 до 50 мкм) кристаллическая, вытянутая и округлая, также отмечены микропрожилки. Более часто оно образует включения в галените, сфалерите и пирите (рис. 2, А, Г), и оно образует сростание с гесситом и петцитом. Состав самородного золота в основном Au – 79,07–79,72 мас.% и Ag – 20,68–20,15 мас.% (табл. 1).

Гессит Ag_2Te – редкий минерал образует самостоятельные выделения от 1 до 6 мкм в кварце и пирите (рис. 2, В). Установлен в сростании с петцитом, самородным золотом, галенитом (рис. 2, В). В нем зафиксирована примесь золота – 4,6 мас. % (табл. 1).

Петцит $(\text{Ag}, \text{Au})_2\text{Te}$ – установлен в виде мелких выделений от 1 до 5 мкм в сфалерите. Образует сростание с гесситом, самородным золотом и халькопиритом (рис. 2, Б). Изученный петцит характеризуется отличительной чертой от стехиометричного повышенным содержанием Au и Ag, а также дефицитом Te (табл. 1).

Таблица 1

Результаты рентгеноспектрального микроанализа самородного золота, гессита и петцита месторождения Сентябрьское СВ

Минерал	№ англ.	Au	Ag	Te	Сумма	Формула
Самородное Au	1	79,47	19,82	—	99,30	$Au_{0.69}Ag_{0.31}$
Самородное Au	2	79,72	20,15	—	99,87	$Au_{0.68}Ag_{0.32}$
Гессит	3	—	62,30	37,70	100	$Ag_{1.98}Te_{1.02}$
Гессит	4	4,6	60,00	35,41	100	$(Ag_{1.95}Au_{0.08})Te_{0.96}$
Петцит	5	44,15	40,38	15,47	100	$(Ag_{1.56}Au_{0.93})Te_{0.51}$
Петцит	6	57,32	33,45	9,23	100	$(Ag_{1.38}Au_{1.30})Te_{0.32}$

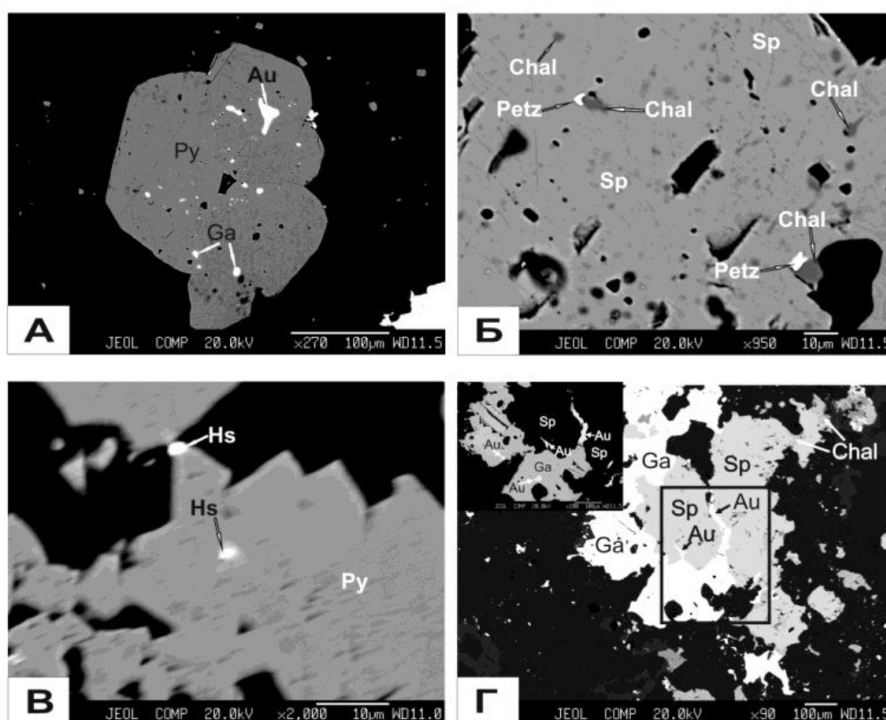


Рис. 2. Характерные взаимоотношения минералов золота, теллуридов Au и Ag совместно с сульфидами в тектонической брекчии: А. Включения зерен золота и галенита в пирите. Б. Петцит-халькопиритовое срастание в сфалерите. В. Микрозерна гессита в пирите. Г. Микропрожилков золота в галенит-сфалеритовом выделении. Вид в отраженных электронах на рентгеноспектральном микроанализаторе. Sp – сфалерит, Chal – халькопирит, Ga – галенит, Py – пирит, Hs – гессит, Petz – петцит; Au – сам. золото

На основании аналитических исследований можно обозначить следующую схему минералоотложения: пирит → сфалерит → галенит → халькопирит → гессит → петцит → самородное золото. В сфалерите месторождения Сентябрьское СВ установлена примесь Cd, что вероятно свидетельствует о магматическом источнике рудообразующего флюида, о чем ранее писал и Ю.Н. Николаев с соавторами [8].

Для выявления типоморфных особенностей месторождения Сентябрьское был проведен сравнительный анализ типовых характеристик месторождения с крупнейшими бонанцевыми, эпитегрмальными золото-серебряными месторождениями Охотско-Чукотского вулканического пояса (м-ния Купол и Двойное). Установлена схожесть их типовых характеристик (геологическое строение, возраст оруденения, тип пород, морфо-

логия рудных тел, минеральный состав, см. табл. 2.). Кроме того, данные объекты объединяет выявленная минерализация элементов платиновой группы (ЭПГ) в бороздовых пробах [11].

Одной из отличительных особенностей месторождения Сентябрьского СВ и Двойного от месторождения Купол является отсутствие арсенопирита (табл. 2), Sb-As-Ag сульфосолей и незначительное содержание серебра в блеклых рудах [6, 9]. По данным [3], руды месторождения Купол образовались в диапазоне 257–234 °С, с концентрацией солей 1,2–0,4 мас. %, экв. NaCl, плотность флюида составляет 0,75–0,86 г/см³. На месторождении Сентябрьском СВ флюидные включения в кварце гомогенизируются в температурном режиме от 308 до 127 °С, концентрация растворов – 7,4 до 0,0 мас. %, экв. NaCl, плотность растворов от 0,6 до 0,96 г/см³ [9].

Руды месторождения Двойное образовались в диапазоне от 370 до 130 °С, концентрация солей в растворах 5,86 до 0,2 мас. %, экв. NaCl, плотность флюида составляет 0,7–0,95 г/см³ [6]. По данным [6], хими-

ческий состав исследованных водных вытяжек месторождений Купол и Двойное очень близкий, что свидетельствуют о сходстве химического состава рудообразующих флюидов по большинству элементов. Но во флюидных включениях месторождения Купол были зафиксированы значительные концентрации сульфата [3].

На основании проведенного исследования можно сделать вывод, что месторождение Сентябрьское схоже по геологическому строению, минералого-геохимическим характеристикам, по параметрам и составу рудообразующих флюидов с месторождениями Купол и Двойное. Однако значительным отличием месторождений Сентябрьское СВ и Двойное [6, 9] является наличие заметных концентраций сульфата в рудообразующем флюиде [3] месторождения Купол.

Полученные результаты исследования позволяют предположить, что месторождение Сентябрьское СВ, Двойное и Купол, вероятнее, всего относятся к единой рудообразующей системе, связанной с калиевым щелочным магматизмом, как это ранее было отмечено и в работах [6, 9].

Таблица 2

Сопоставление типовых особенностей золото-серебряных эпитермальных месторождений Охотско-Чукотского вулканического пояса

Месторождение	Купол	Двойное	Сентябрьское
Породы вмещающие оруденение	Андезиты, андезито-дациты, риолиты и туфы	Андезиты, их туфы и лавабрекчии	Андезиты, андезибазальты, туфы риолитов и лавабрекчии
Возраст оруденения (млн лет)	88–89 [5]	88–87 [5]	90–100 [5]
Морфология рудных тел	Жильные тела, взрывные брекчии	Жильно-прожилковые	Жилы, взрывные брекчии
Текстуры руд	Колломорфно-полосчатая, прожилково-жильная, брекчиевая, кокардовая	Колломорфно-полосчатая, пятнистая, неяснополосчатая брекчиевая	Колломорфно-полосчатая, прожилковая, брекчиевая, кокардовая
Жильные минералы	Кварц, халцедон, адуляр, карбонат	Кварц, адуляр, кальцит, гидрослюда	Кварц, адуляр, хлорит, серицит, карбонат
Рудные минералы	Сульфиды (пирротин, арсенопирит, пирит, галенит, сфалерит, халькопирит), акантит, Ag-Sb и Fe-Sb сульфосоли, интерметаллиды, Au-Ag сульфид и самородное золото	Сульфиды (пирит, пирротин, сфалерит, галенит, халькопирит) пираргирит, акантит, блеклые руды, гессит, пирсеит, ялпаит, электрум и самородное золото	Сульфиды (сфалерит, галенит, пирит, халькопирит, гессит, петцит, акантит, блеклая руда и самородное золото
Проба золота, ‰	700–1000, 250–700, 100–250, 0–100	670–820	620–820, 830–850, 860–870

Примечание: данные по Куполу – Савва и другие [4], Сахно и другие [5], Двойное – Волков и другие [6], Сахно и другие [5]; Сентябрьское СВ – Савва и другие [4], Сахно и другие [5], а также результаты автора.

Выводы

1. Золото-серебряное эпитемальное месторождение Сентябрьское СВ характеризуется типоморфным минеральным составом, характерным для близповерхностных месторождений: жильные – кварц, кальцит, серицит, карбонат; рудные – сульфиды (галенит, сфалерит, пирит, халькопирит) петцит, гессит и самородное золото.

2. Месторождение Сентябрьское СВ имеет набор идентичных геологических (тип рудовмещающих пород, морфология рудных тел, близкий возраст оруденения) и вещественных характеристик (минеральный состав руд (наличие ЭПГ), пробности самородного золота), схожесть состава рудообразующих флюидов с крупнейшими эпитемальными золото-серебряными месторождениями, как Чукотского автономного округа, так и Северо-Востока России.

3. Полученные данные позволяют предположить, что месторождение Сентябрьское СВ, Двойное и Купол являются производной одной рудообразующей системы, связанной с калиевым щелочным магматизмом. Таким образом, можно сделать вывод о перспективности месторождения Сентябрьское СВ в промышленном плане на золото, серебро и возможности выявления ранее не известных рудных зон на данном объекте. Результаты исследования позволяют прогнозировать открытие новых, перспективных золото-серебряных объектов в Купольном горнорудном районе.

Автор выражает благодарность В.В. Курашко и Н.В. Григорьеву за предоставление фактического материала.

Работа выполнена при частичной поддержке гранта ДВО РАН 18-2-001.

Список литературы / References

1. Волков А.В., Сидоров А.А. Экономическое значение эпитемальных золото-серебряных месторождений // Вестник Российской академии наук. 2013. Т. 83. № 8. С. 720–730. DOI: 10.7868/S0869587313080185.
2. Volkov A.V., Sidorov A.A. Economic significance of epithermal gold and silver deposits. Herald of the Russian Academy of Sciences. 2013. vol. 83. no. 4. P. 365–374. DOI: 10.1134/S1019331613040096.
3. Горячев Н.А., Волков А.В., Сидоров А.А., Гамянин Г.Н., Савва Н.Е., Округин В.М. Au-Ag – оруденение вулканогенных поясов Северо-Востока Азии // Литосфера. 2010. № 3. С. 36–50.
4. Goryachev N.A., Volkov A.V., Sidorov A.A., Gamyain G.N., Savva N.E., Okrugin V.M. Au-Ag – mineralization of volcanic zones of the North-East of Asia // Lithosphere. 2010. № 3. P. 36–50 (in Russian).
5. Волков А.В., Прокофьев В.Ю., Савва Н.Е., Сидоров А.А., Бянкин М.А., Уютнов К.В., Колова Е.Е. Рудообразование на Au-Ag эпитемальном месторождении Купол, по данным изучения флюидных включений (Северо-Восток России) // Геология рудных месторождений. 2012. Т. 54. № 4. С. 350–359.
6. Volkov A.V., Prokof'ev V.Yu., Sidorov A.A. et. al. Ore formation at the Kupol epithermal gold-silver deposit in northeastern Russia deduced from fluid inclusion study. Geology of

Ore Deposits. 2012. vol. 54. № 4. С. 295–303. DOI: 10.1134/S107570151204006X.

4. Савва Н.Е., Пальянова Г.А., Бянкин М.А. К проблеме генезиса сульфидов и селенидов золота и серебра на месторождении Купол (Чукотка, Россия) // Геология и геофизика. 2012. Т. 53. № 5. С. 597–609.

Savva N.E., Pal'yanova G.A., Byankin M.A. The problem of genesis of gold and silver sulfides and selenides in the Kupol deposit (Chukotka, Russia) // Russian Geology and Geophysics. 2012. vol. 53. № 5. P. 457–466. DOI: 10.1016/j.rgg.2012.03.006.

5. Сахно В.Г., Григорьев Н.В., Курашко В.В. Геохронология и изотопно-геохимическая характеристика магматических комплексов золото-серебряных рудно-магматических структур Чукотского сектора Арктического побережья России // Доклады Академии Наук. 2016. Т. 468. № 3. С. 297–303. DOI: 10.7868/S0869565216150214.

Sakhno V.G., Grigoriev N.V., Kurashko V.V. Geochronology and isotopic-geochemical characteristics of magmatic complexes of gold-silver ore- magmatic structures in the Chukotka sector of the Russian Arctic coast. Doklady Earth Sciences. 2016. vol. 468. № 1. P. 447–453. DOI: 10.1134/S1028334X16050238.

6. Волков А.В., Савва Н.Е., Колова Е.Е., Прокофьев В.Ю., Мурашов К.Ю. Au-Ag эпитемальное месторождение Двойное (п-ов Чукотка, Россия) // Геология рудных месторождений. 2018. Т. 60. № 6. С. 590–609. DOI: 10.1134/S0016777018060060.

Volkov A.V., Prokofiev V.Y., Murashov K.Y., Savva N.E., Kolova E.E. Dvoynoe Au-Ag Epithermal Deposit, Chukchi Peninsula Russia. Geology of Ore Deposits. 2018. vol. 60. № 6. P. 527–545. DOI: 10.1134/S1075701518060053.

7. Акинин В.В., Томсон Б., Ползуненков Г.О. U-Pb и ⁴⁰Ar/³⁹Ar датирование магматизма и минерализации на золоторудных месторождениях Купол и Двойное // Изотопное датирование геологических процессов: новые результаты, подходы и перспективы: Матер. VI Российской конф. по изотопной геохронологии. Санкт-Петербург: ИГД РАН, 2015. С. 19–21.

Akinin V.V., Thomson B., Polzunenkov G.O. U-Pb and ⁴⁰Ar / ³⁹Ar dating of magmatism and mineralization in the Kupol and Dvoynoe gold deposits // Izotopnoye datirovaniye geologicheskikh protsessov: novyye rezul'taty, podkhody i perspektivy: Mater. VI Rossiyskoy konf. po izotopnoy geokhronologii. Sankt-Peterburg: IGGD RAN, 2015. P. 19–21 (in Russian).

8. Николаев Ю.Н., Прокофьев В.Ю., Аплеталин А.В., Власов Е.А., Бакшеев И.А., Калько И.А., Комарова Я.С. Золото-теллуридная минерализация западной Чукотки: минералогия, геохимия и условия образования // Геология рудных месторождений. 2013. Т. 55. № 2. С. 114–144. DOI: 10.7868/S0016777013020044.

Nikolaev Y.N., Apletalin A.V., Vlasov E.A., Baksheev I.A., Kal'ko I.A., Komarova Y.S., Prokof'ev V.Y. Gold-telluride mineralization of the Western Chukchi Peninsula, Russia: Mineralogy, geochemistry, and formation conditions. Geology of Ore Deposits. 2013. vol. 55. № 2. P. 96–124. DOI: 10.1134/S1075701513020049.

9. Савва Н.Е., Колова Е.Е., Фомина М.И., Курашко В.В., Волков А.В. Золото-полиметаллическое оруденение в эксплозивных брекчиях: минералогический аспект (месторождение Сентябрьское СВ, Чукотка) // Вестник СВНЦ ДВО РАН. 2016. № 1. С. 16–36.

Savva N.E., Kolova E.E., Fomina M.I., Kurashko V.V., Volkov A.V. Gold-polymetallic mineralization in explosive breccias: mineralogical and genetic aspects (September Deposit, Chukotka) // Vestnik SVNTS DVO RAN. 2016. № 1. P. 16–36 (in Russian).

10. Тихомиров П.Л., Прокофьев В.Ю., Калько И.А., Аплеталин А.В., Николаев Ю.Н., Кобаяси К., Накамура Э. Постколлизийный магматизм Западной Чукотки и раннемеловая тектоническая перестройка Северо-Востока Азии // Геотектоника. 2017. № 2. С. 35–54. DOI: 10.7868/S0016853X17020059.

Tikhomirov P.L., Kal'ko I.A., Apletalin A.V., Nikolaev Y.N., Prokof'ev V.Y., Kobayashi K., Nakamura E. Post-colonial magmatism of western Chukotka and Early Cretaceous tectonic rearrangement in northeastern Asia. Geotectonics. 2017. vol. 51. № 2. P. 131–151. DOI: 10.1134/S0016852117020054.

11. Сахно В.Г., Кузнецов Ю.А., Дубков А.А., Ненахова Е.В. О находках платиноидов в первичных рудах золото-серебряных месторождений Северной Чукотки // Вестник ВГУ. Серия: Геология. 2019. № 3. С. 111–117.

Sakhno V.G., Kuznetsov Yu.A., Dubkov A.A., Nenaikova E.V. about platinoid findings in primary rocks of gold-silver deposits of Norther Chukotka // Vestnik VGU. Seriya: Geologiya. 2019. № 3. P. 111–117 (in Russian).

УДК 550.82

ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕПЛОАККУМУЛИРУЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ГРУНТОВОГО ОСНОВАНИЯ ДЛЯ ПОДДЕРЖАНИЯ ТЕПЛОЭКОНОМНОГО РЕЖИМА ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ЛИНЕЙНЫХ ОБЪЕКТОВ ПОДЗЕМНОГО ГОРОДСКОГО ТРАНСПОРТА

Губеладзе О.А., Денисов О.В., Андреева Е.С.

ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет», Ростов-на-Дону,
e-mail: buba26021966@yandex.ru, ovd63@mail.ru, espmeteo@yandex.ru

Эффективность защиты оборудования станции метро от воздействий различной природы зависит не только от технической исправности, но и способности технических систем функционировать необходимое время в автономном режиме. Поддержание температурных параметров должно осуществляться с высоким показателем эффективности комплекса оптимальных инженерных решений, методов и средств рационального потребления энергии и использования возобновляемых её источников. В статье рассматривается возможность использования теплоаккумулирующей способности грунтового массива, окружающего линейный объект метрополитена глубокого заложения, для минимизации энергозатрат проектируемой системы технологического кондиционирования воздушной среды объекта. Дано обоснование принятых при разработке теоретической модели допущений. Анализ результатов расчета по разработанной модели показал, что при соответствующих геометрических размерах и теплофизических характеристиках материалов строительного сооружения и окружающей среды требуемый температурный режим в основном будет обеспечен за счёт теплоаккумулирующей способности железобетонной конструкции сооружения и прилегающего грунтового массива. Для достижения максимального эффекта необходимо работу технологического оборудования осуществлять в соответствии с алгоритмом функционирования (работа агрегатов в «горячем» режиме, который является предпочтительным с точки зрения эффективности, чередуется с работой в «холодном» режиме). Представлена циклограмма функционирования сооружения метрополитена в соответствии с данным алгоритмом для одного из расчётных случаев. Проведенные исследования различных по форме моделей подземных станций метрополитена, характеризующих основные строительные модули метрополитена, позволили подтвердить предположение о существовании локального минимума расчётной кривой изменения температуры на поверхности в результате действия теплового источника с учётом граничных условий второго и третьего рода со скачкообразным уменьшением энергопотребления.

Ключевые слова: температурно-влажностный режим, теплоаккумулирующая способность, источник тепловыделений, одноводчатая станция метрополитена глубокого заложения, энергетическая эффективность подземного сооружения

THE POSSIBILITY OF USING THE HEAT STORAGE CAPACITY OF THE SOIL BASE TO MAINTAIN THE HEAT-EFFICIENT MODE OF OPERATION OF LINEAR OBJECTS OF UNDERGROUND URBAN TRANSPORT

Gubeladze O.A., Denisov O.V., Andreeva E.S.

Don State Technical University, Rostov-on-Don,
e-mail: buba26021966@yandex.ru, ovd63@mail.ru, espmeteo@yandex.ru

The effectiveness of the protection of the equipment of the metro station from the effects of different nature depends not only on the technical serviceability, but also the ability of technical systems to operate the necessary time in offline mode. Maintenance of temperature parameters should be carried out with a high indicator of efficiency of a complex of optimum engineering decisions, methods and means of rational consumption of energy saving and use of its renewable sources. The article considers the possibility of using the heat storage capacity of the soil mass surrounding the linear object of the underground deep-laid, to minimize the energy consumption of the projected system of technological air conditioning of the object. The substantiation of the assumptions adopted in the development of the theoretical model is given. Analysis of the calculation results by the developed model showed that with appropriate geometrical dimensions and thermophysical characteristics of materials of building structures and the environment required temperature mostly will be provided by the heat storage capacity of the reinforced concrete construction and the surrounding soil mass. To achieve maximum effect, it is necessary to operate the process equipment in accordance with the algorithm of operation (operation of the units in the «hot» mode, which is preferable from the point of view of efficiency, alternates with operation in the «cold» mode). A cyclogram of the functioning of the subway structure in accordance with this algorithm for one of the calculated cases is presented. The studies of various models of underground metro stations, characterizing the main building modules of the subway, allowed to confirm the assumption of the existence of a local minimum of the calculated curve of temperature change on the surface as a result of the action of a heat source, taking into account the boundary conditions of the second and third kind with an abrupt decrease in energy consumption.

Keywords: temperature-humidity regime, heat storage capacity, heat source, single-arch underground station of deep laying, energy efficiency of underground construction

Одноводчатые станции метрополитена, благодаря хорошим показателям по экономической эффективности, широко

применяются на линиях зарубежных метрополитенов, а также на современных линиях Москвы и Санкт-Петербурга. Объёмно-пла-

нировочные решения станций предусматривают устройство кругового свода, опирающегося на массивные стены или замкнутой конструкции овального сечения из сборных блоков [1]. При этом такие станции метрополитена могут быть выполнены в едином строительном комплексе с двухпутным перегонным тоннелем, а также защитными устройствами гражданской обороны и дополнительной системой сооружений, что предъявляет особые требования к обеспечению тепловлажностного режима в этих подземных сооружениях [2].

Установлено, что эффективность защиты оборудования станции метро от воздействий различной природы зависит не только от технической исправности, но и способности технических систем функционировать необходимое время в автономном (аварийном) режиме, например без централизованного энергоснабжения, сохраняя при этом оптимальные для пассажиров, персонала и функциональных процессов оборудования температурные составляющие микроклимата [3, 4].

Поддержание температурных параметров должно осуществляться с высоким показателем эффективности комплекса оптимальных инженерных решений, методов и средств рационального потребления, экономии энергии и использования инновационных энергетических установок [5]. Источником тепловыделений на станции метро является работающее стационарное оборудование, подвижной транспорт и люди [6, 7]. Количество тепловыделений может меняться несколько раз в течение суток. Отклонения температуры от заданных уровней приводят к несоблюдению условий нормального функционирования систем. Для получения достоверных данных об изменении температуры воздушной среды внутри станции необходимо провести оценку теплоаккумулирующей способности окружающего массива.

Отсюда целью настоящего исследования является изыскание возможности использования теплоаккумулирующей способности грунтового массива, окружающего линейный объект метрополитена глубокого заложения, для минимизации энергозатрат проектируемой системы технологического кондиционирования воздушной среды объекта.

Материалы и методы исследования

Для реализации цели исследования были использованы известные математические

методы и модели, изложенные в ряде научных работ [8, 9]. Материалы, положенные в основу данной публикации, охватывают 1998–2018 гг. и научно-исследовательские Отчеты ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет» (НИР по теме: «Разработка фундаментальных основ методологии математического моделирования формирования опасных и вредных производственных факторов» ДГТУ, Государственный контракт № 7-5246, 50.51.15, 86.21.00.), ФГБОУ ВО «Ростовский государственный университет путей сообщения» и НИТУ «МИСИС».

Результаты исследования и их обсуждение

В сложных случаях находить приближенные решения для любых тел произвольной формы позволяют численные методы, основанные на методах конечных разностей и конечных элементов [10, 11]. Однако основным недостатком численных методов являются ограниченные возможности для аналитических исследований данных моделей подземных сооружений метрополитена. Примем допущения:

1. Теплообмен с наружным атмосферным воздухом отсутствует в силу значительного термического сопротивления конструкции модели.

2. Одним из факторов, определяющих теплотери строительного сооружения станции, является температура грунта. Глубины проникновения суточных и годовых температурных волн связаны соотношением

$$\frac{l_{\text{год}}}{l_{\text{сут}}} = \sqrt{\frac{\tau_{\text{год}}}{\tau_{\text{сут}}}} = \sqrt{365} \approx 19. \quad (1)$$

Экспериментальные данные [2] показали, что колебания температуры, вызываемые нагреванием земной поверхности днём и охлаждением ночью, не влияют на температуру грунта уже на глубине 1 м. Расчетная температура грунта на глубине определяется по зависимости

$$T_r = T_{cp}^b + \Delta t + \frac{n}{30} \pm A_n, \quad (2)$$

где T_{cp}^b – среднегодовая температура воздуха; Δt – превышение среднегодовой температуры поверхности грунта над среднегодовой температурой воздуха; $n/30$ – геотермический фактор, учитывающий увеличение глубины; A_n – амплитуда сезонных колебаний температуры на глубине.

3. Слой гидроизоляции (при наличии) модели тоннеля метрополитена рассматриваем как тонкую оболочку в условиях медленных изменений температуры. Температура по всей толщине оболочки модели одинакова, количество тепла, аккумулированного единицей объема стенки в течение полупериода, определится как

$$(\Delta Q_v)_{2R \rightarrow 0} = 2T_M c \rho, \quad (3)$$

где T_M – амплитуда колебаний температуры воздуха в строительном комплексе метрополитена.

Таким образом, слой гидроизоляции принимаем «термически прозрачным», что не противоречит данным [3].

На рис. 1 представлена упрощенная схема строительной части сооружения. Потери тепла через верхнюю часть свода тоннеля и обратный свод пренебрегаем ввиду

их малости с учетом особенностей компоновки двухпутного тоннеля.

Суммарная мощность теплоизбытков, поглощаемых воздушной средой и окружающим массивом, определяется из выражения

$$Q = Q_{\text{возд}} + Q_{\text{масс}}. \quad (4)$$

В свою очередь

$$Q_{\text{возд}} = \frac{c_v \rho_v H \pi R^2 \Delta T_v}{\tau}, \quad (5)$$

где c_v – удельная теплоемкость воздуха;

ρ_v – удельная плотность;

H – высота единого строительного комплекса, в том числе с защитными устройствами гражданской обороны и дополнительной системой сооружений;

R – условный радиус перегонного тоннеля;

τ – время;

ΔT_v – разность температур.

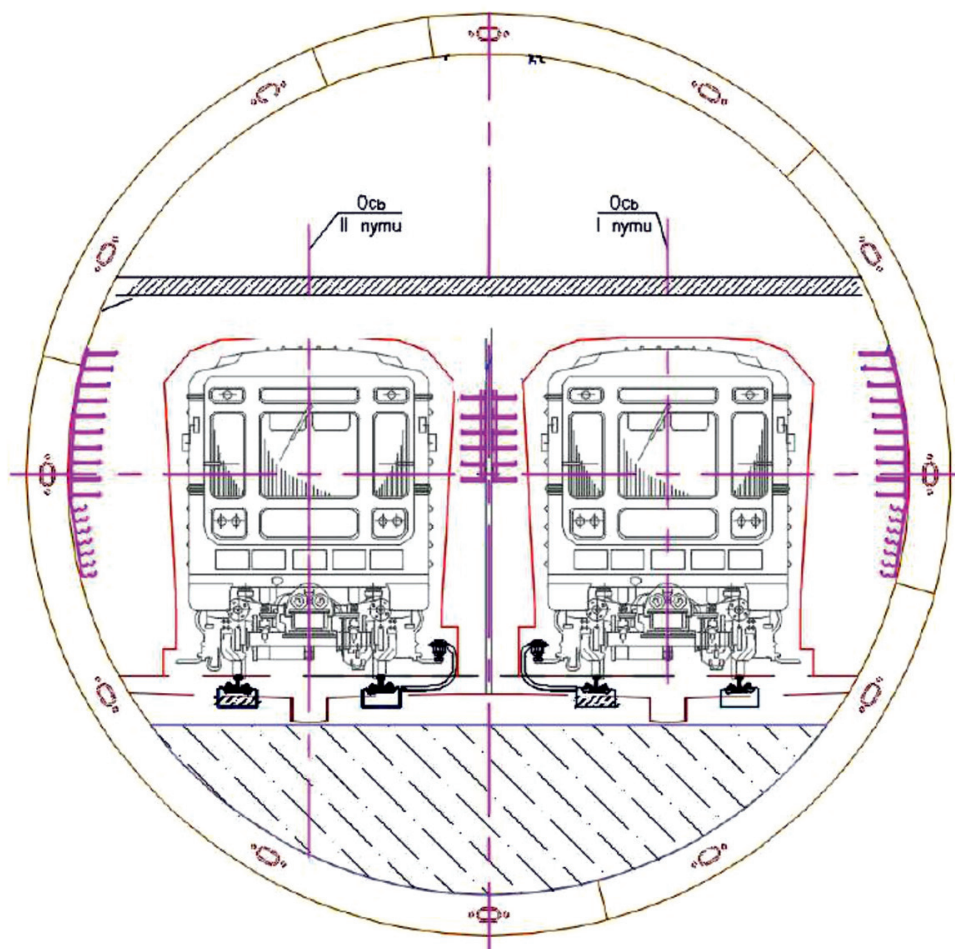


Рис. 1. Сечение двухпутного тоннеля метрополитена

Тепловыделения, поглощаемые массивом «бетон – грунт», для расчётной схемы (рис. 1) определяются по формуле

$$Q_{\text{масс}} = \Delta T_{\text{м}} \cdot k \cdot F_{\text{м}}, \quad (6)$$

где $\Delta T_{\text{м}}$ – разность температур стенки переронного тоннеля и массива;

$a_{\text{м}}$ – температуропроводность массива;

α – коэффициент теплоотдачи между средой и стенкой;

$F_{\text{м}}$ – площадь поверхности массива;

$\lambda_{\text{м}}$ – коэффициент теплопроводности;

$$k = \frac{\pi \cdot H \left(2R + \frac{2}{3} \sqrt{\tau \cdot a_{\text{м}}} \right)}{\frac{1}{\alpha} + \frac{\sqrt{\tau \cdot a_{\text{м}}}}{\lambda_{\text{м}}}}. \quad (7)$$

С учётом того, что массив по сравнению с сечением сооружения неизмеримо велик, можно считать, что все тепловыделения из «отапливаемого» центрального распределительного зала в итоге будут поглощены грунтом. Однако это не будет происходить мгновенно, а температура воздушной среды отличается от температуры стенки массива на величину:

$$\Delta t = \left(\frac{Q}{1,66 \cdot F_{\text{м}}} \right)^{0,75}. \quad (8)$$

Подставляя (2) и (3) с учетом (4) в (1), получим формулу для определения изменения температуры воздушной среды в модели подземного сооружения метрополитена:

$$\Delta T_{\text{в}} = \frac{Q \cdot \left(\frac{Q}{3,32\pi \cdot RH} \right)^{0,75} \cdot A}{\frac{c_{\text{в}} \rho_{\text{в}} \pi \cdot HR^2}{\tau} + A}, \quad (9)$$

где A – эмпирический коэффициент, выраженный

$$A = \left[\frac{\pi \cdot H \left(2 \cdot R + \frac{2\sqrt{\tau \cdot \alpha_{\text{г}}}}{3} \right)}{\frac{1}{\alpha} + \frac{\sqrt{\tau \cdot \alpha_{\text{г}}}}{\lambda_{\text{г}}}} \right]. \quad (10)$$

Анализ результатов расчёта позволяет сделать вывод о том, что при обычном функционировании станции метрополитена в умеренном (примерно $Q = 5 \cdot 10^5$ Вт) режиме в течение года расхождение между полученными результатами незначительно (~1,1 градуса), так как выделяемое тепло в основном аккумулируется грунтовым массивом, глубина прогретого слоя которого гораздо больше

толщины строительной части сооружения. Для работы оборудования в теплонапряжённом режиме (примерно $Q = 5 \cdot 10^6$ Вт) в течение, например, $2,6 \cdot 10^6$ с (примерно одного месяца) результаты отличаются существенно (около 30%).

Если температура среды является периодической функцией времени, то распределение температуры в твёрдом теле (массиве «железобетон – грунт»), нагреваемом этой средой, будет аналогично распределению смещения колеблющихся точек при распространении волнового процесса в упругой среде. Для полуограниченного пространства тепло, поглощаемое единицей площади поверхности стенки за полупериод, определяется выражением

$$\Delta Q_{\text{г}} = 2c_{\text{г}} \sqrt{\frac{a}{\omega}}, \quad (11)$$

где a/ω – величина, характеризующая условную толщину равномерного прогревания однородного полуограниченного тела в стационарно-периодическом состоянии. С увеличением частоты колебаний теплоусвоение уменьшается, а при постоянной ω оно зависит только от коэффициента температуропроводности. Глубина H , на которой температурные колебания уменьшаются в 1000 раз по сравнению с колебаниями на поверхности, составит $H = 1,1 \sqrt{8 \cdot \pi \Psi}$, где Ψ – коэффициент теплоусвоения.

Для грунтового массива при периодах колебаний времени $86,4 \cdot 10^3$ с (1 сутки) и $31,5 \cdot 10^6$ с (примерно 1 год) величина H составила 0,2 и 8,2 метра соответственно.

После оценки допущений приближенными методами проведён расчёт аналитической математической модели с масштабным переносом для реального единого строительного комплекса метрополитена с защитными устройствами гражданской обороны и дополнительной системой сооружений с геометрическими параметрами и теплофизическими характеристиками материалов.

Анализ полученных результатов позволил определить пути решения проблемы отвода теплоизбытков, а именно:

а) требуемый температурный режим в едином строительном комплексе в основном будет обеспечен за счёт теплоаккумулирующей способности железобетонной конструкции сооружения и прилегающего грунтового массива;

б) значительное влияние на темп роста температуры в стволе тоннеля сооружения станции метрополитена оказывает коэффициент теплоотдачи. При значениях $\alpha = 8$ на-

блюдается снижение темпа роста T_v для умеренного и теплонапряженного режимов на 7,8 и 32,7% соответственно по сравнению с $\alpha = 4$. Следовательно, необходимо в таком случае интенсифицировать процесс теплообмена между воздушной средой в едином строительном комплексе и внутренней поверхностью строительной конструкции;

в) необходимо оптимизировать продолжительность работы технологического оборудования в различных режимах и их чередование. Для случая скачкообразного изменения величины теплового потока, согласно методу суперпозиции, решение задачи может быть представлено в виде суммы решений для элементарных задач с любыми пограничными условиями. При этом алгебраическая сумма граничных условий в этих задачах в любой момент времени должна равняться граничному условию основной задачи в каждой точке поверхности. Действие источника тепловыделений представляется как сумма действий комбинации двух источников, расположенных на том же месте и имеющих в сумме ту же интенсивность, что и исходный источник.

Задача состоит в разработке алгоритма функционирования технологического оборудования станции метрополитена (работа агрегатов в «горячем» режиме, который является предпочтительным с точки зрения эффективности, чередуется с работой в «холодном» режиме), чтобы выполнялось условие $T_v \leq 298$ К, а суммарное время работы в «горячем» режиме за эксплуатационный период было бы максимально возможным.

На рис. 2 представлена циклограмма функционирования сооружения метрополитена в соответствии с данным алгоритмом. Особенностью предложенного алгоритма является то, что переход от режима с меньшей мощностью тепловыделений к режиму с большей мощностью осуществляется в момент достижения локального минимума расчётной кривой. При достижении предельно допустимых значений температуры в сооружении (окончание последнего «холодного» режима) автоматически включается система обеспечения температурно-влажностного режима (СО ТВР). Затем через $1,7\text{--}2,6 \cdot 10^6$ с (примерно 20–30 суток) цикл повторяется. Таким образом, регулирование температуры в течение $6 \cdot 10^6$ с (примерно 70 суток) происходит в экономном режиме функционирования (или без участия) СО ТВР.

Заключение

Кроме того, проведенные исследования различных по форме моделей (полубесконечный стержень, полый цилиндр, многослойный полый цилиндр) подземных станций метрополитена, характеризующих основные строительные модули метрополитена, позволили подтвердить предположение о существовании локального минимума расчётной кривой изменения температуры на поверхности в результате действия теплового источника (например, подвижного состава) с учётом граничных условий второго и третьего рода со скачкообразным (более чем на 30%) уменьшением энергопотребления.

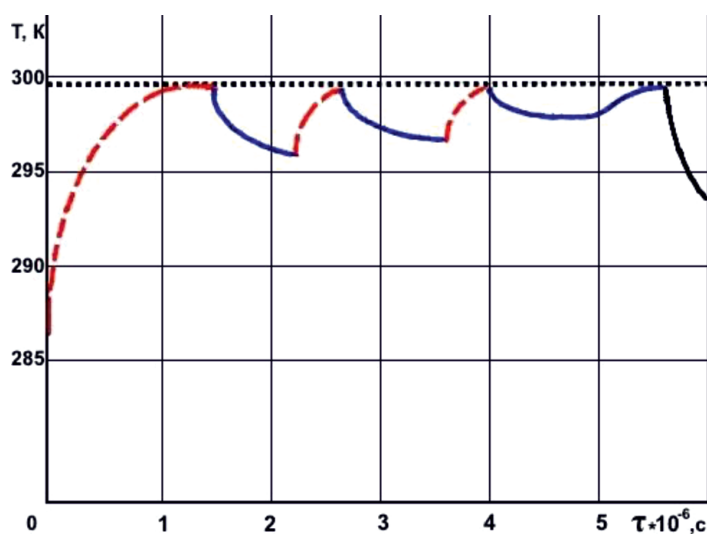


Рис. 2. График изменения температуры в едином строительном комплексе:

— — — режим нагрева; — режим охлаждения; — работа СО ТВР

Таким образом, поддержание температурных параметров осуществляется с использованием теплоаккумулирующей способности грунтового основания, что в полной мере соответствует требованиям ФЗ (№ 261 от 23.11.2009, № 221 от 19.07.2018) по энергосбережению, а также позволяет использовать инновационные энергетические установки.

Список литературы / References

1. Береговой А.М., Береговой В.А., Гречишкин А.В., Воскресенский А.В. Ограждающие конструкции с регулируемыми параметрами теплообмена // Региональная архитектура и строительство. 2018. № 1. С. 97–101.
2. Zhurmilova I.A., Shtym A.S. Thermophysical properties of moistened sand filler for wells with ground heat exchangers // Vestnik Inzhenernoy shkoly DVFU. 2017. № 2 (31). P. 100–109. DOI: 10.5281/zenodo.808872.
3. Kiyani L.A. On the problem of determining the analytical dependences of heat flow into the ground from underground structures of closed type underground stations of shallow laying with a double track tunnel // Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten (nauchno-tekhnicheskiy zhurnal). 2018. № 2. P. 89–102. DOI: 10.25018/0236-1493-2018-2-0-89-102.
4. Lugina I.V., Alferova E.L. Investigation of heat flow into the soil mass from the double-track tunnel of the underground

of shallow laying // Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten (nauchno-tekhnicheskiy zhurnal). 2017. № 2. P. 305–314 (in Russian).

5. Lugina I.V., Krasnyuk A.M., Pyankova A.Yu. Determination of the size of the soil mass subject to thermal influence of underground metro stations // Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten (nauchno-tekhnicheskiy zhurnal). 2016. № 6. P. 212–221 (in Russian).
6. Yadvina K.S., Mashchenko A.V. On the practical significance of determining the thermophysical properties of seasonally frozen soils // Vestnik PNIPU. Stroitelstvo i arkhitektura. 2017. T. 8. № 1. С. 81–89. DOI: 10.15593/2224-9826/2017.1.07.
7. Denisov O.V., Bulygin Yu.I., Ponomarev A.E., Ponomareva I.A., Lebedeva V.V. Innovative solutions shockproof protection in occupations associated with an increased risk of injury. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science Current Problems and Solutions. «Ecology and Safety in the Technosphere: Current Problems and Solutions». 2017. p. 012044.
8. Gubeladze O.A., Moskaev V.A. Research of the high-temperature influence on the transport packaging kit body // Globalnaya yadernaya bezopasnost. 2012. № 1. P. 63–70 (in Russian).
9. Denisov O., Pleshko M., Merenyashev V., Ponomareva I. Scale factor management in the studies of affine models of shockproof garment elements. E3S Web of Conferences «High-Rise Construction 2017, HRC 2017». 2018. p. 03068. DOI: 10.1051/e3sconf/20183303068.
10. Kajtar L., Nyers J., Szabo J. Dynamic thermal dimensioning of underground spaces. Energy. 2015. V. 87. P. 361–368. DOI: 10.1016/j.energy.2015.04.112.
11. Shilin M.B., Abramov V.M., Andreeva E.S., Andreev S.S., Yayli E.A. Innovative technologies for geo-ecological support while artificial coastal territories development. International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM. 2019. V. 19. № 5.1. P. 399–406. DOI: 10.5593/sgem2019/5.1/S20.050.

УДК 911.7(470.56)

ПРОСТРАНСТВЕННАЯ ДИФФЕРЕНЦИАЦИЯ ПРИРОДНЫХ И АНТРОПОГЕННЫХ КОМПОНЕНТОВ ЛАНДШАФТНОЙ СТРУКТУРЫ ЮЖНОГО ПРЕДУРАЛЬЯ

Дубровская С.А., Ряхов Р.В.

Институт степи УрО РАН ФГБУН ОФИЦ УрО РАН, Оренбург,

e-mail: skaverina@bk.ru, remus.rv@gmail.com

Изучение особенностей распределения природно-антропогенных компонентов ландшафтной структуры необходимо для проведения контроля за природными ресурсами и проведения эффективных мероприятий территориального планирования. Ведущим фактором воздействия на степные геосистемы является сельское хозяйство, приводящее к деградации почвенного и растительного покрова, животного мира. Основной целью стало комплексное физико-географическое исследование пространственной дифференциации земельных угодий в пределах меридиональной трансекты Южного Предуралья, пересекающей ландшафтные районы Заволжско-Предуральской и Общесыртовско-Предуральской возвышенных провинций, с применением геоинформационных технологий. Исходными данными для исследования стали картографические основы геоморфологических структур ландшафтов, почвенно-растительные зональные и внутризональные особенности пространственного распределения. Для определения морфоструктурных особенностей территории построена цифровая модель рельефа и проведен синтез мультиспектральной пространственной информации по спутниковым данным. Разработан алгоритм дешифрирования, сбора и анализа информации по синтезированным данным дистанционного зондирования при помощи самоорганизующихся карт Кохонена для картирования структуры целинных и залежных земель по четырем временным срезам, охватывающим период с 1989 по 2018 г. На основе интегрального геоинформационного моделирования выделены границы природных и антропогенных объектов, проведен качественный и количественный анализ параметров при оценке степени воздействия сельскохозяйственной составляющей на естественный ландшафт. Определены тенденции устойчивого снижения доли сельскохозяйственных угодий в южном направлении и распределения целинно-залежных участков в зависимости от почвенного покрова, растительных сообществ и структуры рельефа, в особенности на водораздельных пространствах, при удалении от основных транспортных магистралей региона и низкой экономической эффективности малопродуктивных подтипов почв.

Ключевые слова: Оренбургская область, пространственная дифференциация ландшафтов, геоинформационный анализ, данные дистанционного зондирования, землепользование, структура почвенного и растительного покрова

SPATIAL DIFFERENTIATION OF NATURAL AND ANTHROPOGENIC STRUCTURE COMPONENTS OF THE SOUTHERN PRE-URAL LANDSCAPES

Dubrovskaya S.A., Ryakhov R.V.

Institute of the Steppe UB RAS FSBI OFRC UB RAS, Orenburg,

e-mail: skaverina@bk.ru, remus.rv@gmail.com

The study of the distribution characteristics of natural and anthropogenic components of the landscape structure is necessary for monitoring natural resources and conducting effective territorial planning measures. The leading influence factor on the steppe geosystems is agriculture, leading to the degradation of soil and vegetation cover, and the animal world. The main goal was a comprehensive physical and geographical study of the spatial differentiation of land within the meridional transect of the South Pre-Urals, crossing the landscape areas of the Zavalzhsky-Preduralskaya and General Syrtov-Preduralskaya elevated provinces, using geoinformation technologies. The initial data for the study were the cartographic foundations of the geomorphological structures of landscapes, soil-plant zonal and intrazonal features of the spatial distribution. To determine the morphostructural features of the territory, a digital elevation model was constructed and multispectral spatial information was synthesized from satellite data. An algorithm has been developed for deciphering, collecting and analyzing information on the synthesized data of remote sensing using Kohonen self-organizing maps for mapping the structure of virgin and fallow lands over four-time sections covering the period from 1989 to 2018. Based on integrated geoinformation modeling, the boundaries of natural and man-made objects are identified, a qualitative analysis of the parameters is carried out to assess the degree of impact of the agricultural component on the natural landscape. The tendencies of a steady decrease in the share of agricultural land in the south and the distribution of virgin and fallow plots depending on the soil cover, plant communities and relief structure, especially in the watershed areas, are determined when moving away from the main transport highways of the region and the low economic efficiency of unproductive soil subtypes.

Keywords: Orenburg region, spatial differentiation of landscapes, geoinformation analysis, remote sensing data, land use, the structure of soil and vegetation cover

Разнообразие природных условий (особенности климата, рельефа, типов почв и др.) усложняет или способствует хозяйственному освоению территории. Одним из ведущих факторов воздействия и изменения степных геосистем является сельское хозяйство, которое приводит к деградации

почвенного и растительного покрова, животного мира. К началу XXI в. в Оренбургской области степень антропогенной нагрузки характеризовалась значительным превышением пределов распаивания земельных ресурсов, а также развитием стихийного нерационального землепользова-

ния, следствием которого стало появление залежей, заброшенных сенокосов, неиспользуемых пастбищ [1].

Оценка дифференциации ландшафтной структуры, почвенно-растительного покрова и агроландшафтов крайне необходима, прежде всего, для разработки комплексного подхода к выяснению взаимосвязей между пространственным распределением почв, параметрами растительности, рельефа и антропогенной составляющей – сельскохозяйственным воздействием. По данным Федеральной службы государственной статистики по Оренбургской области площадь под сельскохозяйственными угодьями в 2018 г. составила 88,3% от общей земельной площади [2]. Сравнивая этот показатель с периодами 2001–2017 гг. (87,4–87,6%), следует отметить незначительное увеличение площади агроландшафтов. Спектр негативных факторов агропромышленного комплекса на окружающую среду довольно обширен: процессы засоления, опустынивания, загрязнения агрохимикатами не только почвенного покрова, но и поверхностных и подземных вод, изменение морфологических, важнейших физико-химических и биоэкологических свойств ценных почв, развитие овражной сети, уничтожение редких растительных и животных видов, в итоге это приводит к деградации почв и значительным изменениям в природной экосистеме. В условиях аграрного производства, использования земли как природного ресурса, необходимо применение методов адаптивно-ландшафтного земледелия с компонентами эффективной агротехники, низкопродуктивные пахотные угодья целинных районов области перевести в категорию сенокосно-пастбищных угодий [3]. Совокупность экологических и экономических параметров в сельском хозяйстве позволит создать в степных ландшафтах систему оптимального природопользования.

Цель исследования: выявить особенности пространственной дифференциации земельных угодий на основе комплексных физико-географических исследований природно-ландшафтной структуры, почвенно-растительного покрова и сельскохозяйственной нагрузки в пределах меридиональной трансекты Заволжско-Предуральской и Общесыртовско-Предуральской возвышенных провинций.

Материалы и методы исследования

Основой для проведения дифференциации природных и антропогенных компо-

нентов ландшафтной структуры послужило физико-географическое районирование Оренбургской области по А.А. Чибилеву [4]. В пределах Южного Предуралья для изучения пространственной структуры ландшафтов нами выбрана линия меридиональной трансекты Заволжско-Предуральской и Общесыртовско-Предуральской возвышенных провинций – на севере в месте слияния рек Ря и Ик, на юге в месте слияния рек Урал и Илек, протяженностью 284 км. Исследуемая территория представлена следующими физико-географическими районами, каждый из которых имеет определенный «набор» ландшафтно-экологических характеристик: северная часть – Заволжско-Предуральская возвышенная провинция подзона южной лесостепи (Прикинельский сыртово-увалистый район); центральная и южная часть – Общесыртовско-Предуральская возвышенная провинция подзона северной степи (Ток-Присакмарский сыртово-холмистый, Бузулук-Присакмарский сыртово-увалистый придолинно-плакорный, Верхнесамарский сыртово-холмистый, Иртек-Кинделинский придолинно-плакорный, террасовый, Нижнеилекский придолинно-плакорный долинно-террасовый районы). Ландшафтным рубежом в пределах трансекты является граница лесостепной и степной природных зон, которые различаются климатическими особенностями, зональной и внутризональной сменой почвенного и растительного покровов. Почвенное пространство исследуемой территории образуют определенные внутренние взаимосвязанные группы: сочетания и комплексы – почвенные комбинации, создающие мозаичные ареалы почв. В пределах меридиональной трансекты представлены частично долины речных систем: Ик, Большой Кинель, Ток, Малый и Большой Уран, Самара, Кинделя, Иртек, Урал, Илек.

Методическую основу исследований составляет группа методов физико-географических исследований: ландшафтный, геоэкологический, сравнительно-картографический, геоинформационный (моделирование природных и природно-антропогенных геосистем). Объект исследования – лесостепные и степные ландшафты Предуралья, предмет – пространственная дифференциация природных и антропогенных компонентов ландшафтной структуры. Исходными данными для исследования стали картографические основы геоморфологических структур ландшафтов, почвенно-растительные зональные и внутризональные особенности простран-

ственного распределения [4]. Для определения морфоструктурных особенностей территории построена цифровая модель рельефа (ЦМР) и проведен синтез мультиспектральной пространственной информации по данным космических аппаратов серий ASTER и LANDSAT. На первом этапе осуществлена пространственная привязка и векторизация картографических материалов, на основании которых создана геоинформационная база данных по пространственному распределению почвенного покрова и растительных сообществ в пределах изучаемой трансекты. Второй этап – автоматизированная нейросетевая классификация синтезированных данных дистанционного зондирования по трем спектральным каналам (коротковолновый инфракрасный, ближний инфракрасный и красный), методом самоорганизующихся карт Кохонена (Self-organizing map) [5] в программном комплексе ScanEx Image Processor, модуль тематического картографирования «Thematic Pro», по четырем пространственно-временным срезам (1989, 1999, 2009, 2018). Размер нейронной сети 5x5 позволил получить 25 классов пространственных объектов. Методами камерального анализа с применением отображения Сэммона [6] выделены полигональные объекты, непосредственно определяемые как распахиваемые земельные участки. Третий этап – в программном комплексе ArcGis проведено сопоставление полученных данных, выделены потенциально целинные участки (не идентифицированные как агроландшафты по временным срезам), старовозрастные (20–30 лет), средневозрастные (10–20 лет), маловозрастные залежи (менее 10 лет) и активно используемые сельскохозяйственные угодья [7]. На следующем этапе проведено сопоставление картосхемы целинно-залежных участков с базой данных почвенного покрова и растительных сообществ. По каждому из имеющихся полигонов рассчитана степень сельскохозяйственного воздействия в зависимости от интенсивности современного использования. По данным ЦМР построен гипсометрический профиль, включающий элементы отображения почвенного покрова, растительных сообществ и структуры агроландшафтов, проведенный по центральной линии ландшафтной трансекты в направлении с севера на юг.

Для верификации полученных результатов в июне 2019 г. проводилось полевое обследование участка трансекты в пределах Новосергиевского района и Сорочинского городского округа Оренбургской об-

ласти. Проведена GPS фиксация координат сельскохозяйственных угодий, относящихся к маловозрастным, средневозрастным, старовозрастным залежам, потенциально целинным участкам и используемым агроландшафтам. При камеральном наложении данных, полученных при проведении полевых исследований и геоинформационного анализа дистанционной информации, определена достаточно высокая степень корреляции результатов. При этом стоит учитывать масштаб погрешности, вносимый тридцатиметровым пространственным разрешением спутников серии Landsat.

Результаты исследования и их обсуждение

В пределах меридиональной трансекты (рисунок) в структуре почвенного покрова преобладают черноземы (около 90% территории). Из них на подтипы приходится: черноземы типичные – 13%, черноземы выщелоченные – 19%, черноземы обыкновенные – 19,8%, черноземы южные – 23,5%, черноземы оподзоленные – 1%, черноземы малогумусные – 10,4%, черноземы остаточнокarbonатные – 1,9%, черноземы солонцеватые – 0,5%, лугово-черноземные – менее 1%, пойменные почвы – 9,9%, пески – 0,2%. По меридиональной линии трансекты (долины рек) получили развитие на аллювиальных отложениях пойменные почвы, из общей площади 30% находится под пашней, целесообразней перевод этих участков под сенокосы, что улучшит экологическую обстановку пойменных участков рек.

В пределах северной части трансекты Прикиньельского сырцово-увалистого района почвенный покров представлен черноземами типичными и черноземами типичными маломощными и эродированными. Типичные черноземы отличаются сильно развитым гумусовым горизонтом (А), обладают прочной зернистой структурой и интенсивной черной окраской, переходы между горизонтами постепенные. В пределах подзоны южной лесостепи произрастает лесная растительность (березово-осиновые леса). Согласно картографической основе, составленной авторским коллективом И.Н. Сафронова, Т.К. Юрковская, И.М. Микляева [7], подзона южной лесостепи выделяется как заволжские лесостепи (луговые степи и остепненные луга в сочетании с дубовыми, березовыми, осиновыми лесами). При проведении геоинформационного анализа в пределах данного участка трансекты сельскохозяйственная нагрузка распреде-

лена следующим образом: большая часть ландшафтного района подвержена сильнейшей антропогенной нагрузке, целинные и залежные участки занимают менее 50% территории, наблюдаются полностью распаханые почвенно-растительные сообщества. К ним относятся луговые (богато-разнотравные) степи на типичных и выщелоченных черноземах, приуроченных к пологим водораздельным и слабонаклонным придолинным плакорам. В пределах долины Большого Кинеля процент агроландшафтов снижается до 25%.

Общесыртовско-Предуральская возвышенная провинция подзона северной степи дифференцирована на районы и отличается неоднородностью ландшафтных и почвенных условий, а в пределах провинции – наличием ландшафтных ступеней [3]. На карте зон и типов поясности растительности России [8] эта часть трансекты фиксируется в подзоне северных (заволжских) степей – разнотравно-дерновиннозлаковые степи (заволжские или волго-уральские разнотравно-ковыльные, разнотравно-тырсовые).

В пределах провинции выделяется Ток-Присакмарский сырцово-холмистый район (северо-западная часть трансекты), расчленен реками Ток, Малый Уран, Большой Уран, Самара на узкие междуречья с характерной тектогенной асимметрией ландшафтных структур. Рельеф представлен чередующимися увалами асимметричных водоразделов, переходящими в пологие северные и крутые южные склоны в долины рек [3]. Такая структура степного ландшафта способствует развитию процессов эрозии при проведении агротехнических мероприятий. Согласно геоинформационным данным, в пределах ландшафтного района, площадь эрозионных объектов достигает 30%. На террасах рек фиксируются полигоны линейной эрозии. Почвенный покров представлен черноземами обыкновенными средне- и маломощными их эродированными вариантами, характеризующимися по сравнению с черноземом типичным меньшей мощностью гумусовых горизонтов и снижением содержания гумуса. Различия мезо- и микрорельефа обусловили разный уровень наличия карбонатов в профиле почв, изменяющийся от поверхностного до нижней части переходного горизонта АВ (около 60 см), что определяет наличие родов у чернозема обыкновенного: собственно обыкновенные и обыкновенные карбонатные. Данный тип почв сформировался под разнотравно-ковыльной растительностью. Распространены

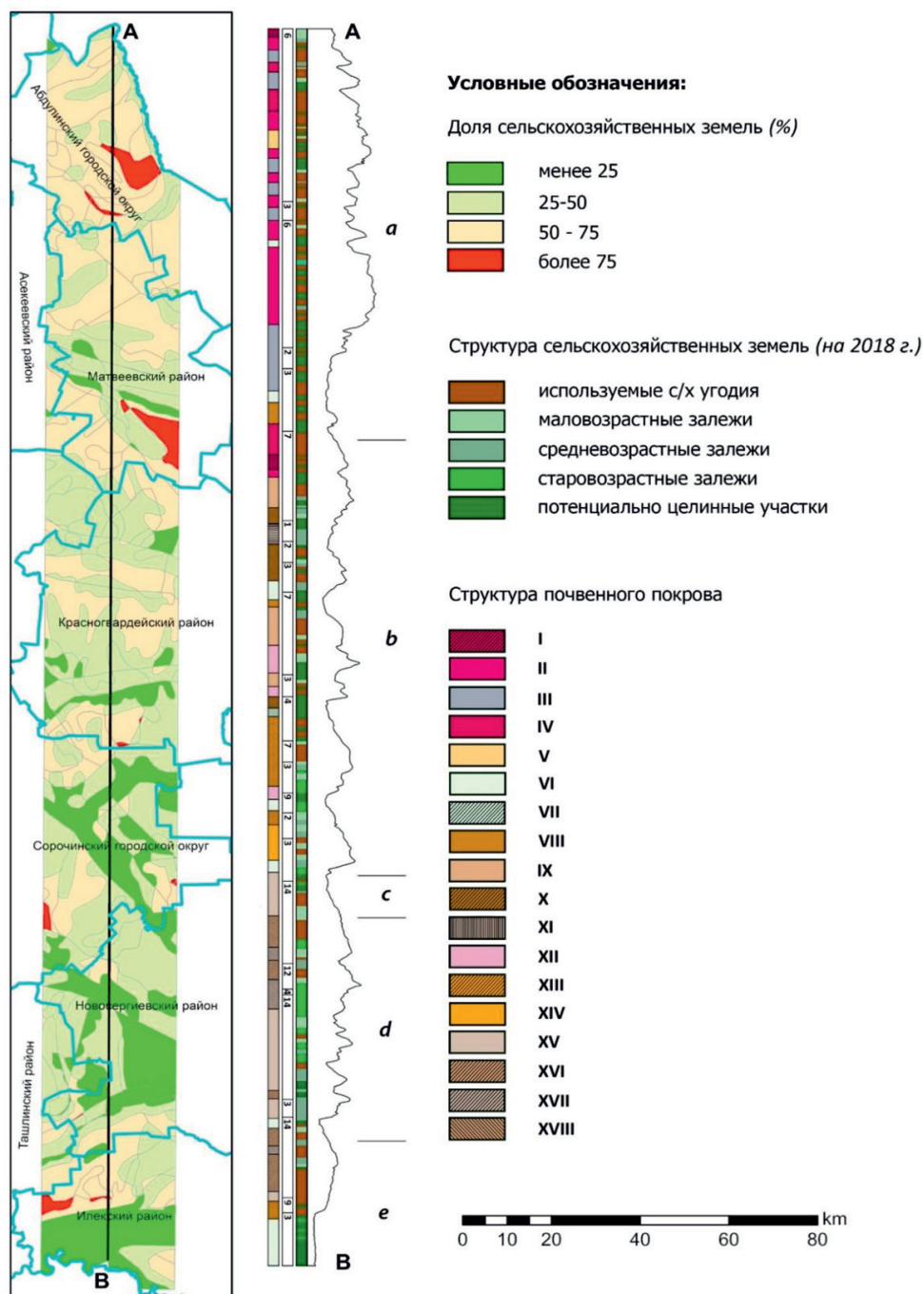
черноземы обыкновенные террасовые и аллювиальные типы почв по пойменно-террасовым комплексам. В пределах подзоны распространены каменистые степи и растительность малоразвитых почв, характеризующиеся своеобразием и значительной ролью полукустарничков в сложении растительных сообществ [9].

Получили свое распространение в долине реки Малый Уран луговые черноземы глинистые и тяжелосуглинистые со злаково-осоково-разнотравной растительностью. Данный тип почв имеет крайне неустойчивый сезонный и годовой режим увлажнения. При продолжительных паводках происходит заболачивание почвенного покрова, или остепнение – отсутствие увлажнения. Для этих почв характерно высокое процентное содержание гумуса, накопление азотистых и фосфорных соединений. Определена высокая доля распахаемых земель в структуре ландшафта на придолинных плакорах междуречья рек Ток – Малый Уран – Большой Уран. Наблюдается устойчивая тенденция увеличения площадей залежных участков в южном направлении на вершинах сырцовых водоразделов. Основную территорию занимают агроландшафты, на которых сельскохозяйственная деятельность была прекращена не более 20 лет назад. Мало-возрастные залежи на обыкновенных черноземах выведены из хозяйственного оборота по причине нецелесообразности их использования в существующих экономических условиях, но могут быть возвращены при изменении структуры аграрного рынка.

В подзоне северной степи центральной части трансекты в ландшафтной структуре выделяются Бузулук-Присамарский сырцово-увалистый придолинно-плакорный и Верхнесамарский сырцово-холмистый районы. Бузулук-Присамарский район с черноземами южными средне- и маломощными, легкосуглинистого гранулометрического состава обладают благоприятными свойствами в сельскохозяйственном отношении, но подвержены в значительной степени водной эрозии и дефляции [10]. В морфометрическом строении почвенного горизонта данный тип почв имеет гумусовый горизонт (А + АВ), который укорочен (до 25–30 см), содержание гумуса 4–6% [3]. При особом сочетании количественных морфометрических характеристик рельефа – направления и угла склона, меняющие степень прогрева и увлажнения и геологических условий – близкое залегание плотных плохопроницаемых юрских темноцветных глин, делает этот

участок неоднородным для хозяйственного использования. Механическое перемещение перегнойных частиц из-за склоновых форм рельефа формирует развитую эрозионную сеть и снижает процент плодородия почв. Плакорные и пологосклонные пространства подзоны северных степей черноземов южных средне- и маломощных тяжелосуглинистого гранулометрического состава сильно распахананы. Физико-географический район в целом

подвержен средней степени сельскохозяйственной нагрузки. Основные агроландшафты относятся к слабонаклоненному придолинному плакору реки Самара, что позволяет проводить активную сельскохозяйственную деятельность. В связи с этим водораздельные возвышенные пространства Бузулук-Самарского междуречья Общего Сырта выведены из оборота и относятся к старовозрастным залежам и потенциально-целинным участкам.



Интегральная картосхема степени сельскохозяйственного воздействия и гипсометрического профилирования по линии меридиональной трансекты

Символами на карте обозначены: АВ – линия высотного профиля; а – Прикинский сырцово-увалистый район; б – Ток-Присамарский сырцово-холмистый район; с – Бузулук-Присамарский сырцово-увалистый придолинно-плакорный район; d – Верхнесамарский сырцово-холмистый район; e – Иртек-Кинделинский придолинно-плакорный, террасовый район; структура почвенного покрова: I – черноземы типичные тучные маломощные на песчано-глинистых осадочных породах, II – черноземы выщелоченные тучные среднесиловые глинистые и тяжелосуглинистые, III – черноземы типичные тучные средне- и маломощные глинистые и тяжелосуглинистые на карбонатных породах, IV – черноземы типичные тучные среднесиловые глинистые и тяжелосуглинистые, V – черноземы оподзоленные глинистые и среднесиловые, VI – аллювиальные пойменные почвы, VII лугово-черноземные почвы различного механического состава, VIII – черноземы обыкновенные среднесиловые глинистые и тяжелосуглинистые, IX – черноземы обыкновенные маломощные на песчано-глинисто-карбонатных осадочных породах, X – черноземы обыкновенные среднесиловые среднесуглинистые, XI – черноземы остаточнокорбонатные среднесиловые средне- и маломощные на карбонатных породах, XII – черноземы выщелоченные малогумусные легкосуглинистые и супесчаные на песчано-глинистых осадочных породах, XIII – черноземы малогумусные и слабогумусированные с пониженным вскипанием супесчаные и песчаные на песчано-глинисто-карбонатных осадочных породах, XIV – черноземы малогумусные с пониженным вскипанием легкосуглинистые на песчано-глинисто-карбонатных осадочных породах, XV – черноземы южные маломощные глинистые и суглинистые, XVI – черноземы южные среднесиловые глинистые и суглинистые, XVII – черноземы южные маломощные на песчано-глинистых осадочных породах, XVIII – черноземы южные среднесиловые среднесуглинистые; структура растительных сообществ: 1 – дубово-вязовые и дубово-липовые леса; 2 – каменистые степи и растительность малоразвитых почв; 3 – пойменные леса и луга; 4 – березово-осиновые леса и колки; 5 – ольшаники; 6 – луговые (богаторазнотравно-злаковые) степи на гранитах и продуктах их выветривания; 7 – разнотравно-ковыльные степи; 8 – сосновые боры и редколесья; 9 – растительность песчаных степей; 10 – кустарниковые степи; 11 – галофитные (солонцово-солончаковые) степи; 12 – растительность меловых отложений; 13 – кустарниковые каменистые степи и растительность малоразвитых почв; 14 – типчаково-ковыльные степи; 15 – полынно-злаковые степи.

Верхнесамарский сырцово-холмистый район в рельефе выражен как сильно расчлененный мелкохолмистый. На левобережных склонах р. Самара расположена по данным мультиспектральных изображений основная доля пашни, почвы – черноземы южные маломощные. Согласно данным мультиспектральных изображений зафиксировано менее чем 50% распаханых территорий. Аналогично примыкающему с запада Бузулук-Присамарскому ландшафтному району продолжается сельскохозяйственный кластер на придолинном плакоре северо-восточной экспозиции вдоль р. Самара. Водораздельные пространства Общего Сырта в прошлом подвергались крайне высокой степени хозяйственного использования, о чем свидетельствует низкий процент потенциально-целинных участков. Основная площадь залежей варьирует в пределах 20–30 лет и была заброшена уже после 1990 г. В данном ландшафтном районе, в пределах трансекты, доля залежных участков в структуре агроландшафтов преобладает. Активно используются только наиболее продуктивные земельные участки с хорошей транспортной доступностью на южных среднесиловых черноземах. Со снижением содержания гумуса в подтипах южных черноземов увеличиваются средние площади залежей.

Иртек-Кинделинский придолинно-плакорный, террасовый и Нижнеилекский придолинно-плакорный долинно-террасовый районы южной части трансекты получили развитие черноземы южные средне- и маломощные, черноземы малогумусные и слабогумусированные с пониженным вскипанием супесчаные и песчаные на песчано-глинисто-карбонатных осадочных породах и аллювиально-пойменные почвы. Зональный тип растительности по данным Сафроновой с соавторами в подзоне средних сухих степей (заволжско-казахстанские) – типчаково-ковыльковые, типчаково-тырсовые, типчаково-ковыльные, типчаковые. В долине слияния р. Урал и Илек с придолинно-террасовым типом местности выделяются черноземы южные террасовые, на аллювиальных отложениях – пойменные почвы. Процесс формирования аллювиального типа почв связан с регулярным отложением на поверхности илистых пластов речного или озерного аллювия разного гранулометрического состава, мощность слоев варьирует от нескольких миллиметров до 10–20 см [3]. На данном участке исследования аллювиальные гумусовые почвы используются под сенокосы и пастбища, выращивание овощных и бахчевых культур. Прослеживается четкая субширотная граница деления типов землепользования

по уступу террасы реки Урал. Активная хозяйственная деятельность сконцентрирована в пределах Урал-Кинделинского водораздела, затрагивает наиболее экономически выгодные и продуктивные подтипы почв данного региона – черноземы южные средние и маломощные глинистые, мало- и среднесуглинистые. Площади целинно-залежных участков минимальны и относятся к объектам эрозионной сети и долинам постоянных водотоков. Южная пойменная часть района отличается низкой степенью антропогенной нагрузки вследствие сложных ландшафтных условий: угроза потенциального подтопления, высокая расчлененность рельефа старичными озерами, ограниченная транспортная доступность. За исследуемый сорокалетний период не выделено устойчивых территорий распашки. Сенокосение сконцентрировано вдоль автодороги Илек-Ташла.

Важнейшими флористическими памятниками, входящими в район исследования Предуральской трансекты, являются: естественная степная растительность (растения, занесенные в Красную книгу РФ), занимающая небольшую площадь, но отличающаяся большим разнообразием: гора Меркедоновка и Рассыпнянский затон, водно-ботанические реликты и эндемики – Голубовские моховые болота, озеро Большое Орлово, а также фрагменты целинных степей – Ареузская степь, Васильевский участок, степь «Казачий дол».

Заключение

Согласно авторским расчетам с использованием геоинформационных методов и нейронных сетей выделены закономерности дифференциации структуры агроландшафтов в зависимости от механических, физико-химических свойств почвенного покрова и наличия естественных травянистых и древесно-кустарниковых растительных сообществ степной и лесостепной зон Оренбургской области. Полученные результаты свидетельствуют о значительном влиянии агропромышленного комплекса на структуру почвенного и растительного покровов, развитию отрицательных микроформ рельефа. Ландшафтные районы северной части трансекты испытывают повышенную хозяйственную нагрузку по причине благоприятных агроклиматических условий. Выделено устойчивое снижение доли сельскохозяйственных угодий в южном направлении, особенно на водораздельных пространствах, при удалении от основных

транспортных магистралей региона и низкой экономической эффективности малопродуктивных подтипов почв черноземов южных. В рамках проведения агротехнических мероприятий не учитываются морфометрические особенности рельефа, что приводит к развитию водно-эрозионных и дефляционных процессов. Согласно авторским расчетам с использованием геоинформационного метода по территории меридиональной трансекты на эрозионный тип рельефа приходится около 20%. Необходимо локально исключить прибалочно-волнисто-увалистые участки склонов и поймы речных систем из сельскохозяйственного использования для предотвращения дефляции.

Статья подготовлена в рамках тем Института степи УрО РАН «Эволюция и пространственная дифференциация ландшафтов Южного Приуралья в условиях климатических и антропогенных изменений» № ГР АААА-А18-118011690034-6 и «Степи России: ландшафтно-экологические основы устойчивого развития, обоснование природоподобных технологий, в условиях природных и антропогенных изменений окружающей среды» № ГР АААА-А17-117012610022-5.

Список литературы / References

1. Чибилев А.А., Левыкин С.В., Казачков Г.В. Степное землепользование и перспективы его модернизации в современных условиях // В сборнике: Вызовы XXI века: природа, общество, пространство. Ответ географов стран СНГ. Институт географии РАН. М., 2012. С. 156–182.
2. Chibilev A.A., Levykin S.V., Kazachkov G.V. Steppe land use and prospects for its modernization in modern conditions / V sbornike: Vyzovy XXI veka: priroda, obshchestvo, prostranstvo. Otvet geografov stran SNG. Institut geografii RAN. M., 2012. P. 156–182 (in Russian).
3. Статистический ежегодник Оренбургской области. 2018. Статистический сборник. Оренбургстат. Оренбург, 2018. 530 с.
4. Statistical Yearbook of the Orenburg Region. 2018. Statistical Digest. Orenburgstat. Orenburg, 2018. 530 p. (in Russian).
5. Климентьев А.И. Почвенно-географическое районирование Оренбургской области // Вопросы степеведения. 2005. № 5. С. 83–95.
6. Klimentyev A.I. Soil-geographical zoning of the Orenburg region // Voprosy stepvedeniya. 2005. № 5. P. 83–95 (in Russian).
7. Географический атлас Оренбургской области / Под ред. А.А. Чибилева. М.: Изд. ДИК, 1999. 96 с.
8. Geographical atlas of the Orenburg region / Pod red. A.A. Chibileva. M.: Izd. DIK, 1999. 96 p. (in Russian).
9. Kohonen T. MATLAB Implementations and Applications of the Self-Organizing Map. Helsinki, Finland, 2014. 194 p.
10. Sun J., Fyfe C., Crowe M. Extending Sammon mapping with Bregman divergences. Information Sciences. 2012. V. 187. P. 72–92. DOI: 10.1016/j.ins.2011.10.013.
11. Левыкин С.В., Чибилев А.А., Казачков Г.В., Яковлев И.Г., Грудинин Д.А. Проблемы восстановления зональных степных экосистем на постцелинном пространстве России и Казахстана // Степной бюллетень. 2013. № 37. С. 5–8.

Levykin S.V., Chibilev A.A., Kazatchkov G.V., Yakovlev I.G., Grudin D.A. Problems of Restoration of Zone Steppe Ecosystems in the Post-Celine Space of Russia and Kazakhstan // *Stepnoy byulleten'*. 2013. № 37. P. 5–8 (in Russian).

8. Карта зон и типов пояности растительности России / Отв. ред.: Г.Н. Огуреева. Сост.: И.Н. Сафронова, Т.К. Юрковская, И.М. Микляева. М., 1999.

Map of zones and types of waistband of Russian vegetation / Отв. ред.: G.N. Ogureyeva. Sost.: I.N. Safronova, T.K. Yurkovskaya, I.M. Miklyayeva. M., 1999 (in Russian).

9. Рябухина М.В., Рябинина З.Н., Колодина М.В. Современное состояние флоры Общего Сырта и правовые основы охраны отдельных видов растений // *Вестник Орен-*

бургского государственного университета. 2015. № 10 (185). С. 257–260.

Ryabukhina M.V., Ryabinin Z.N., Kolodina M.V. The modern state of the flora of the Common Syrt and the legal basis for the protection of certain plant species // *Vestnik Orenburgskogo gosudarstvennogo universiteta*. 2015. № 10 (185). P. 257–260 (in Russian).

10. Климентьев А.И., Павлейчик Е.В. Дефляция почв и опустынивание степей Урало-Каспийского субрегиона // *Аридные экосистемы*. 2013. Т. 19. № 2 (55). С. 47–57.

Kliment'ev A.I., Pavleichik E.V. Soil deflation and desertization of steppes in Ural-Caspian subregion. *Arid Ecosystems*. 2013. V. 3. № 2. P. 92–100. DOI: 10.1134/S2079096113020042.

УДК 504.453:504.054(470.341-25)

ВЫЯВЛЕНИЕ ТЕНДЕНЦИЙ В ЭКОЛОГО-ГИДРОХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВАХ МАЛЫХ ПРОТОЧНЫХ ВОДОТОКОВ В УСЛОВИЯХ ТЕХНОГЕННОЙ НАГРУЗКИ ГОРОДА НИЖНЕГО НОВГОРОДА**Козлов А.В., Клочков Е.А., Бодякина М.А., Береснев А.А.,
Калиничева З.С., Фирова А.А.***ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный педагогический университет
имени Козьмы Минина», Нижний Новгород, e-mail: a.v.kozlov_ecology@mail.ru*

В работе представлены результаты анализа тенденций изменения эколого-гидрохимических свойств некоторых малых водотоков, протекающих в черте Нижнего Новгорода. Исследования проведены в ноябре 2018 г. и в апреле 2019 г. на базе Эколого-аналитической лаборатории мониторинга и защиты окружающей среды Мининского университета. Изучению подвергались воды девяти рек – Старка, Рахма, Выюница, Параша, Борзовка, Левинка, Черная, Хальзовка и Ржавка. Установлено превышение по общей минерализации, включая содержание солей общей жесткости и хлоридов, в осеннее время; а также сульфатов и перманганатной окисляемости воды в весенний период отбора проб. Воды большинства рек не соответствовали санитарно-экологическим нормам по суммарному содержанию железа (от 3 до 14 ПДК); воды рек Старка и Рахма в весенний период – по содержанию сульфатов (от 1,04 до 1,39 ПДК); воды рек Рахма, Ржавка и Хальзовка отличались несущественным превышением по общей жесткости (от 1,07 до 1,16 ПДК). По веществам, содержащим биогенные элементы (N и P), кроме заметно повышенных концентраций в водах рек Рахма, Выюница и Хальзовка, сверхнормативных концентраций выявлено не было. В среднем за два периода исследования в водах всех рек было выявлено превышение санитарно-экологических норм по показателю перманганатной окисляемости воды: в водах Параша и Выюница от 3,98 до 4,36 ПДК; в водах Левинки и Ржавки от 2,03 до 2,52 ПДК. Очевидно, что данные реки претерпевают избыточное привнесение органических веществ, зачастую вызывающих последующее загрязнение воды. Данные тенденции подтверждает показатель биологического потребления кислорода (БПК₇), относительно которого воды из рек Рахма и Выюница оцениваются как очень грязные; воды рек Борзовка, Левинка и Старка, в свою очередь, – как грязные. Наилучшим уровнем биологического самоочищения в отдельные периоды отличались воды из рек Параша, Черная и Хальзовка.

Ключевые слова: кислотность воды, общая минерализация и жесткость воды, катионно-анионный состав воды, биогенные элементы и биохимические свойства воды, малые реки, урбанизированная территория

IDENTIFICATION OF TRENDS IN ECOLOGY-HYDROCHEMICAL PROPERTIES OF SMALL FLOW WATERCOURSES UNDER MAN-MADE LOAD OF THE NIZHNY NOVGOROD CITY**Kozlov A.V., Klochkov E.A., Bodyakshina M.A., Beresnev A.A.,
Kalinicheva Z.S., Firova A.A.***Minin Nizhny Novgorod State Pedagogical University, Nizhny Novgorod,
e-mail: a.v.kozlov_ecology@mail.ru*

The work presents results of trends analysis in ecology-hydrochemical properties of some small watercourses, flowing in the line of the Nizhny Novgorod. The research was carried out in November 2018 and April 2019 on the basis of the Ecology-Analytical Laboratory of Environmental Monitoring and Protection of Minin University. The waters of 9 rivers – Starka, Rahma, Wjunica, Parasha, Borzovka, Levinka, Chernaya, Halzovka and Rzhavka – were studied. There is an excess in total mineralization, including the content of salts of total stiffness and chlorides, in autumn time; as well as sulphates and permanganate oxidability of water during spring sampling period. The waters of most rivers did not meet sanitary and environmental standards for total iron content (3 to 14 MPC); the waters of the Starka and Rahma rivers in spring – in terms of sulphate content (from 1.04 to 1.39 MPC); The waters of the Rahma, Rzhavka and Halzovka rivers were characterized by insignificant excess in total rigidity (from 1.07 to 1.16 TLV). For substances containing biogenic elements (N and P), in addition to markedly elevated concentrations in the waters of the Rahma, Wjunica and Halzovka rivers, no excessive concentrations were detected. On average, in 2 study periods in the waters of all rivers there was an excess of sanitary and ecological standards on the indicator of permanganate oxidability of water: in the waters of Parasha and Wjunica from 3.98 to 4.36 TLV; In Levinka and Rzhavka waters from 2.03 to 2.52 TLV. It is obvious that these rivers undergo excessive introduction of organic substances, often causing subsequent contamination of water. These trends confirm the indicator of biological oxygen consumption (BOC₇), for which waters from the Rahma and Wjunica rivers are estimated to be very dirty; The waters of the Borzovka, Levinka and Starka rivers, in turn, are like dirty. The best level of biological self-purification in certain periods was distinguished by waters from the Parasha, Chernaya and Halzovka rivers.

Keywords: water acidity, general mineralization and water stiffness, cationic-anionic composition of water, biogenic elements and biochemical properties of water, small rivers, urbanized area

В Российской Федерации насчитывается свыше 2,5 млн малых рек, в бассейнах которых сосредоточено около 50% городского населения. С точки зрения градостро-

ительства и обустройства урбанизированных территорий по своей структуре малые реки могут выступать в качестве инженерных сетей в системах естественного дрена-

рования атмосферных осадков. Речная сеть на 70–80% способна дренировать подземные воды своего речного бассейна, а также отводить поверхностные водотоки, тем самым регулируя гидрологический режим местности и влажность воздушного бассейна [1, 2]. С другой, биосферной, значимости поверхностные водотоки являются важнейшим, связующим элементом экологического каркаса города, который участвует в формировании биопродуктивности и повышении биоразнообразия ландшафта, а также в сохранении его экологической устойчивости [3].

В периоды массового освоения и развития промышленности (1930–1950-е гг.) местные малые реки использовались в основном в качестве каналов для сброса промышленных и канализационных стоков. В настоящее время, несмотря на жесткие нормы и требования, предъявляемые к промышленным и коммунально-бытовым сточным водам, сбрасываемым в природные водные объекты [4, 5], а также к системам очистки стоков от загрязняющих веществ, качество и экологическое состояние используемых для отвода водотоков не является благополучным [6, 7]. Причиной тому является повсеместное развитие водоемких отраслей, в качестве отходов образующих стоки, привнесение значительных масс загрязнителей за счет больших объемов сточных вод, приведенных к нормативно чистому состоянию, а также недостаточно эффективные системы очистки технологических вод [8, 9].

Нижний Новгород – город-миллионник, расположенный на слиянии крупных рек (Ока и Волга) и, кроме того, имеющий на своей территории 12 малых речных водотоков. С учетом интенсивного развития промышленной и городской инфраструктуры [10], а также высокого уровня загрязненности компонентов окружающей среды [11], городские реки претерпевают хроническое загрязнение токсикантами различной природы и степени экологической опасности, их русла зачастую трансформированы, а прилегающие территории не обладают достаточным благоустройством [12, 13]. В результате этого в настоящее время многие экологические функции гидрологической сети и прилегающих территорий частично утрачены, а ландшафтные и рекреационные функции недостаточно задействованы в градостроительной практике. В частности, русла многих рек заилены и подвержены избыточному росту водообитающей растительности, береговые зоны

в недостаточной мере подвергаются санации от ТКО, имеются случаи складирования промышленных отходов. В обустройстве города рекам практически не уделяется внимания, что проявляется в запущенности прирусловых территорий.

При проведении оценки геоэкологического состояния малых водотоков, протекающих по урбанизированной территории города, необходимо начинать с их рекогносцировочного обследования и, в частности, с изучения гидрохимических свойств вод малых рек. С точки зрения регионального экологического мониторинга и охраны местной окружающей среды данным аспектам, к сожалению, отводится недостаточное внимание, а в современных исследованиях [13, 14] подчеркивается малая степень изученности различных свойств малых рек Нижнего Новгорода, в том числе и свойств геоэкологического статуса, что определяет актуальность настоящих исследований.

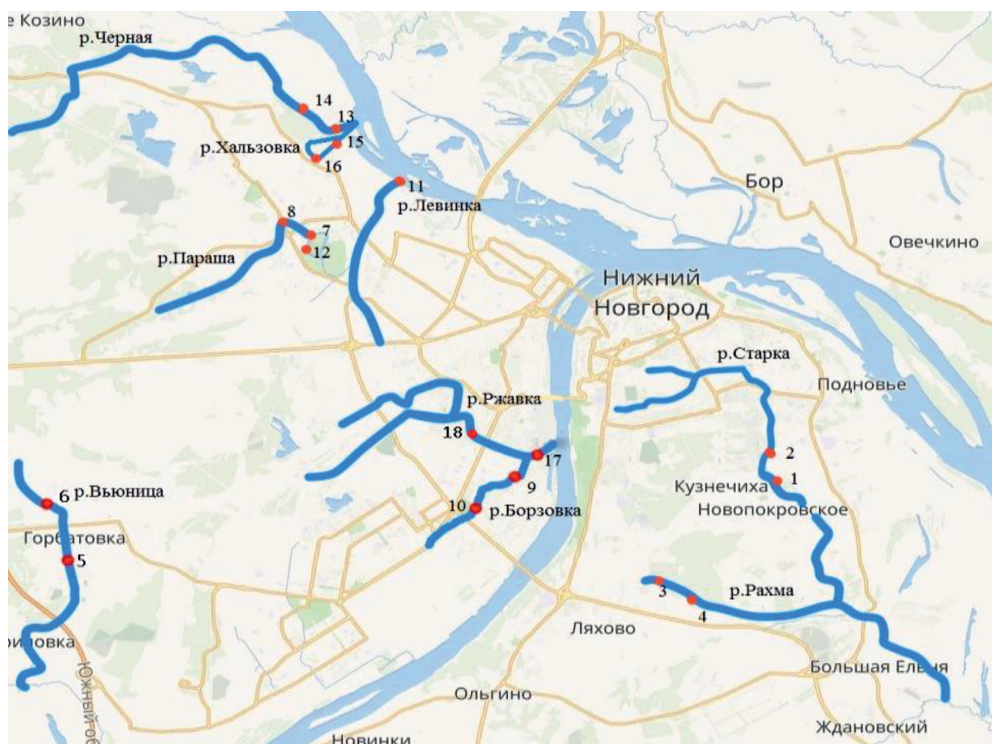
Цель исследования: проведение предварительной ступени исследований эколого-гидрохимических свойств малых рек, протекающих по территории Нижнего Новгорода в условиях различной техногенной нагрузки.

Материалы и методы исследования

Исследования проведены на базе Эколого-аналитической лаборатории мониторинга и защиты окружающей среды Мининского университета в период 2018–2019 гг., объектами исследований стали воды малых рек, протекающих в черте г. Нижнего Новгорода.

Пробы воды отбирались дважды в осенний и весенний периоды (конец ноября 2018 г и середина апреля 2019 г.) с открытых участков русел рек нагорной (реки Рахма и Старка) и заречной (реки Борзовка, Вьюница, Левинка, Параша, Ржавка, Хальзовка, Черная) частей города (рис. 1).

Вода из рек отбиралась в соответствии с ГОСТ Р 51592-2000 «Вода. Общие требования к отбору проб», ГОСТ 17.1.5.05-85 «Охрана природы. Гидросфера. Общие требования к отбору проб поверхностных и морских вод, льда и атмосферных осадков» и Р 52.24.353-2012 «Рекомендации по отбору проб поверхностных вод суши и очищенных сточных вод» при помощи батометра гидрологического (БГ-1,0) в полиэтиленовые емкости. Поскольку водотоки имеют проточный характер для получения условно репрезентативных объединенных проб объем каждой из них (2 л) набирался в одной точке в виде четырех последовательных заборов по 0,5 л равномерно в течение 1 ч.



Карта-схема территориального расположения малых рек в Нижнем Новгороде и точек отбора проб воды

В образцах определяли общепринятые показатели и гидрохимические свойства – кислотность (рН), общую минерализацию и общую жесткость, содержание хлоридов, сульфатов и железа, содержание биогенных элементов (общий растворенный фосфор, аммонийный и нитратный азот), содержание растворенного кислорода, перманганатную окисляемость воды и ее 7-суточное биологическое потребление O_2 . Определение вышеупомянутых показателей состояния воды водных объектов проводилось по стандартным методикам, принятым в гидрохимической практике, которые основаны на методах титриметрии, потенциометрии, кондуктометрии, ионселективной ионометрии и спектрофотометрии [15, 16].

Результаты исследования и их обсуждение

В результате проведенных исследований было установлено, что повышенный уровень общей минерализации воды (рис. 2) практически по всем рекам встречался в осенний период отбора проб, что, по-видимому, было обусловлено, как известно, снижением уровня воды в реках из-за устойчивого периода высоких темпе-

ратур воздуха в летний период и наступления осенней межени.

Стоит отметить, что воды некоторых рек (Рахма, Борзовка, Хальзовка и Ржавка) имели повышенную минерализацию, превышающую установленную норму, что объясняется во многом антропогенным прессингом на указанные малые водотоки. В частности, река Рахма протекает вблизи автотрасс, гаражных кооперативов и многоэтажных застроек, реки Борзовка и Ржавка, помимо влияния со стороны указанных выше агентов, могут испытывать воздействие со стороны судостроительных заводов (ОАО «РУМО» и ОАО «Завод Красная Этна»), поскольку протекают по территории их санитарно-защитных зон, а исток реки Борзовка представляет собой закрытый коллектор, расположенный на территории ОАО «ГАЗ». Воды реки Хальзовка в основном испытывают негативное воздействие со стороны частного жилищного сектора [1, 13]. Наибольшее превышение показателя относительно ПДК (в 1,6 раз) установлено по водам Рахмы. Вполне вероятно, что такой уровень общего содержания растворенного вещества мог быть обусловлен

значительными объемами нормативно очищенных сбросов со стороны предприятия по производству строительных материалов (ОАО «Керма»), а также коммунально-бытовыми сточными водами [13].

Водородный показатель (pH) также сильно варьировал в зависимости от реки и имел некоторую тенденцию повышения при увеличении общей минерализации воды. По большинству рек кислотность воды несущественно изменялась по времени отбора проб и выходила за установленные нормативные пределы (6,5–8,5) только в воде из устья Хальзовки весной (pH 6,14) и по течению воды Ржавки (pH 6,21) в осенний период, что определяется снижением показателя общей минерализации воды и, как следствие, ее общей жесткости.

Данные табл. 1 отражают вариативность общей жесткости воды в исследованных реках, а также изменение содержания в ней ионов из базового вещества.

Выявлено, что осенний период отбора проб в большей или меньшей степени характеризовался увеличенными значениями жесткости воды, что согласуется с ранее рассмотренной ее минерализацией. Так, воды из устья Рахмы и Ржавки, а также по течению Рахмы и Хальзовки имели значения, превышающие ПДК, что также установлено в среднем за два отбора проб.

Тенденция повышенного содержания хлоридов в водах за осень 2018 г. согласуется с показателями их общей минерализации и жесткости, однако превышений относительно норм ПДК выявлено не было, а наиболее высокие величины по содержанию хлоридов наблюдались в водах Рахмы

и Борзовки, что может быть связано с воздействием недостаточно очищенных сточных вод указанных выше предприятий, по территории которых протекают данные водотоки.

Относительно содержания сульфатов в водах была установлена обратная тенденция – повышенный уровень концентраций данных ионов отмечался в водах, отобранных в весенний период. Кроме того, в водах рек Старка и Рахма установлено некоторое превышение санитарно-экологических норм (от 1,04 до 1,13 раз по водам Старки и от 1,08 до 1,39 раз по водам Рахмы). Поскольку высокие концентрации сульфатов в весенний период были выявлены в водах всех рек, по-видимому, накопление SO_4^{2-} -ионов определенным образом зависит от геохимического фона территории, который в весенний период поднятия грунтовых вод может влиять на данный показатель. С другой стороны, нельзя исключать негативного воздействия на воды рассматриваемых водотоков со стороны машиностроительных и металлургических предприятий города, стоки которых могут содержать значительные концентрации сульфат-анионов.

Содержание общего железа в водах малых рек города не имело определенных тенденций по сезонам года, однако по данному показателю зачастую фиксировалось превышение ПДК, наибольшее из которых было отмечено осенью 2018 г. в водах Хальзовки (в 27,5 раза) и Борзовки (в 5,1 раза), а весной 2019 г. – в водах Старки (в 5,9 раза) и Левинки (в 9,5 раза). В среднем за два отбора максимальное превышение установленных норм также отмечалось в водах Старки, Борзовки и Левинки.

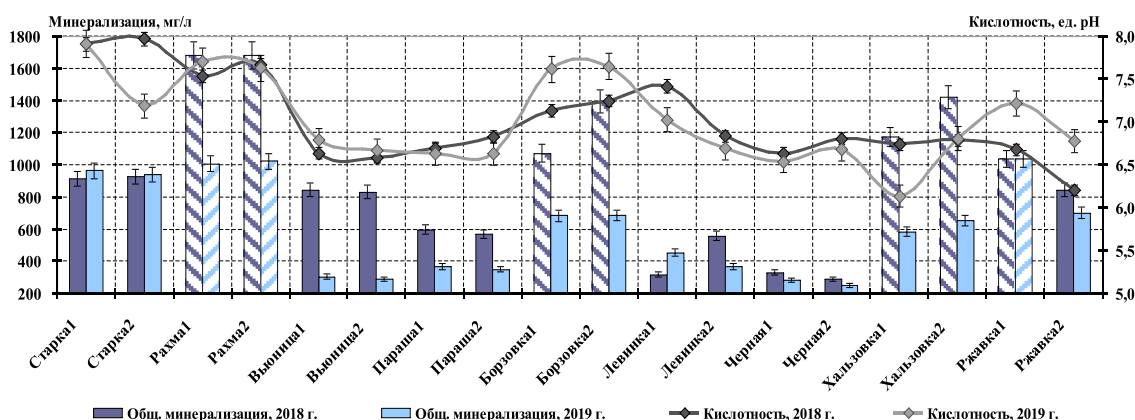


Рис. 2. Вариативность кислотности воды и ее общей минерализации в зависимости от свойств водотока (2018–2019 гг.)

Таблица 1

Общая жесткость вод малых рек Нижнего Новгорода
и содержание в них некоторых ионов (2018 г. / 2019 г.)

Река	Общая жесткость, мг-экв./л		ионный состав воды, мг/л					
			хлориды (Cl ⁻)		сульфаты (SO ₄ ²⁻)		железо (Fe ²⁺ и ³⁺)	
	годы	сред.	годы	сред.	годы	сред.	годы	сред.
Старка ¹	8,2/4,3	6,3	47/50	49	56/520	288	0,18/1,76	0,97
Старка ²	4,7/3,5	4,1	50/52	51	64/564	314	0,19/0,88	0,54
Рахма ¹	12,1/3,9	8,0	141/49	95	40/696	368	0,16/0,45	0,31
Рахма ²	8,5/3,0	5,8	144/49	97	40/540	290	0,41/0,75	0,58
Вьюница ¹	5,6/3,3	4,6	82/24	53	40/288	164	0,79/0,39	0,59
Вьюница ²	5,4/2,8	4,1	71/22	47	40/292	166	0,70/0,49	0,60
Параша ¹	3,4/3,0	3,2	58/36	47	44/344	192	0,30/0,07	0,19
Параша ²	3,4/2,8	3,1	66/32	47	40/400	220	0,29/0,68	0,49
Борзовка ¹	5,1/3,5	4,3	103/64	84	52/304	178	1,54/0,25	0,90
Борзовка ²	5,2/3,5	4,4	146/62	104	40/340	190	0,17/0,26	0,22
Левинка ¹	2,9/3,3	3,1	24/40	32	20/236	128	0,17/2,86	1,52
Левинка ²	3,4/2,5	3,0	63/33	48	24/196	110	0,18/1,38	0,78
Черная ¹	3,0/2,5	2,8	20/14	17	40/324	182	0,39/0,34	0,37
Черная ²	2,5/2,3	2,4	20/13	17	84/344	214	0,21/0,35	0,28
Хальзовка ¹	7,5/4,3	5,9	93/46	70	36/268	152	8,24/0,06	4,15
Хальзовка ²	10,2/4,8	7,5	88/51	70	24/212	118	0,18/0,03	0,11
Ржавка ¹	8,1/8,0	8,1	63/63	63	60/192	126	0,07/0,03	0,05
Ржавка ²	6,0/5,5	5,8	57/54	56	89/208	149	0,05/0,04	0,05
ПДК		7,0		350		500		0,3

Примечания, здесь и далее: ПДК – согласно ГН 2.1.5.1315-03 «Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования»; ГН 2.1.5.2280-07 Дополнения и изменения № 1 к ГН 2.1.5.1315-03; ГН 2.1.5.2307-07 «Ориентировочные допустимые уровни (ОДУ) химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования». Четное число в названии реки – значение показателя по пробе, отобранной по течению реки, нечетное число в названии реки – значение показателя по пробе, отобранной в устье реки.

Динамика веществ, содержащих биогенные элементы, в водах исследованных рек показана в табл. 2. Наибольшее содержание фосфатов присутствовало в водах Рахмы и Хальзовки, где были выявлены заметные концентрации общего растворенного фосфора; воды Старки и Борзовки также отличались некоторым увеличением показателя. Воды же остальных рек содержали растворимые соединения фосфора в минимальном количестве. Среди всех рек воды Хальзовки также имели повышенные концентрации аммонийного азота и, в особенности, по течению реки, что очевидно, было обусловлено недостаточно очищенными коммунально-бытовыми стоками местной жилой застройки (частный сектор). Воды Рахмы, Вьюницы и Парашы имели значительное содержание нитратной формы азота, но только в осенний пе-

риод. В остальных вариантах концентрации были незначительными. Превышений норм по рассматриваемым показателям установлено не было. Как указывалось выше, выявленные тенденции объясняются воздействием коммунальных стоков, содержащих значительные концентрации биогенных элементов за счет остаточных количеств моющих средств (детергентов).

По содержанию растворенного кислорода в наибольшей степени отличались воды реки Вьюница, которые содержат его существенное количество (табл. 3). Также приемлемый уровень показателя наблюдался в водах Левинки, Черной, Старки и Ржавки. Чего нельзя сказать о водах из рек Рахма, Параша и Хальзовка, в которых за отдельные периоды и в разных местах отбора наблюдалось несоответствие установленным нормам.

Таблица 2

Содержание ионов биогенных элементов
в водах малых рек Нижнего Новгорода (2018 г. / 2019 г.)

Река	Биогенные элементы в водах, мг/л					
	фосфаты (PO_4^{3-})		аммонийный азот (NH_4^+)		нитратный азот (NO_3^-)	
	годы	сред.	годы	сред.	годы	сред.
Старка ¹	0,12/0,37	0,25	0,09/0,20	0,15	1,80/2,61	2,21
Старка ²	0,14/1,58	0,86	0,14/0,24	0,19	2,44/2,48	2,46
Рахма ¹	0,62/0,95	0,79	0,29/0,19	0,24	33,03/9,38	21,20
Рахма ²	0,76/1,02	0,89	0,28/0,17	0,23	8,05/7,10	7,58
Вьюница ¹	0,10/0,21	0,16	0,31/0,17	0,24	3,06/0,61	1,84
Вьюница ²	0,06/0,19	0,13	0,31/0,12	0,22	3,18/0,46	1,82
Параша ¹	0,66/0,04	0,35	0,27/0,25	0,26	3,03/0,80	1,92
Параша ²	0,04/0,13	0,09	0,26/0,17	0,22	0,73/0,78	0,76
Борзовка ¹	0,91/0,47	0,69	0,23/0,17	0,20	0,52/1,09	0,81
Борзовка ²	0,29/0,46	0,38	0,24/0,18	0,21	1,04/1,00	1,02
Левинка ¹	0,05/0,09	0,07	0,18/0,15	0,17	0,35/0,54	0,45
Левинка ²	0,06/0,19	0,13	0,26/0,17	0,22	1,18/0,59	0,89
Черная ¹	0,01/0,10	0,06	0,17/0,10	0,14	0,38/0,40	0,39
Черная ²	0,08/0,85	0,47	0,15/0,10	0,13	0,38/0,41	0,40
Хальзовка ¹	0,93/2,40	1,67	0,32/0,14	0,23	0,92/0,43	0,68
Хальзовка ²	0,59/0,71	0,65	1,32/0,13	0,73	0,65/1,17	0,91
Ржавка ¹	0,15/0,19	0,17	0,19/0,10	0,15	0,58/0,86	0,72
Ржавка ²	0,03/0,07	0,05	0,26/0,12	0,19	0,61/0,88	0,75
ПДК		3,5		1,9		45

К сожалению, в среднем за два периода исследования в водах всех рек в большей или меньшей степени было выявлено превышение санитарно-экологических норм по показателю перманганатной окисляемости воды и, в особенности, в водах Параша и Вьюница (от 3,98 до 4,36 ПДК), Левинки и Ржавки (от 2,03 до 2,52 ПДК). Очевидно, что в водах данных рек содержатся значительные концентрации органических веществ, в том числе неприродного происхождения. В частности, многие из них протекают по территории промышленных предприятий, а также вдоль автомагистралей, что может способствовать дополнительному поступлению органических компонентов в русло. Кроме того, за счет наличия процессов эвтрофикации в некоторых водоемах [10, 13] и, как следствие, роста их биопродуктивности, воды рек могут содержать большое количество отмерших остатков фитомассы, которые и способствуют повышению уровня окисляемости вод.

Данные тенденции подтверждает показатель биологического потребления кислорода (БПК₇), относительно которого воды из рек

Рахма и Вьюница оцениваются как очень грязные, а из рек Борзовка, Левинка и Старка – как грязные. Судя по показателям, воды данных водотоков содержат повышенные концентрации загрязняющих веществ органической природы, которые подвержены интенсивному биохимическому разложению анаэробными микроорганизмами, обитающими в реках. Наилучшими показателями, характеризующими процессы биохимического разложения органических веществ, в отдельные периоды отличались воды из рек Параша, Черная и Хальзовка. По-видимому, в их водах органические примеси присутствуют в минимальном количестве.

Относительно влияния сезона отбора проб каких-либо тенденций в содержании БПК₇ выявлено не было, однако в отношении показателя перманганатной окисляемости прослеживался однозначный и достаточно заметный (свыше 30 мг/л по водам рек Вьюница и Параша) повышенный уровень в весенний период, что могло быть объяснено сбросом недостаточно очищенных или неочищенных сточных вод со стороны местной коммунально-бытовой сети.

Таблица 3

Показатели биохимического состояния
в водах малых рек Нижнего Новгорода (2018 г. / 2019 г.)

Река	Биохимическое состояние вод, мг/л					
	Раств. кислород, мг О/л		Перманг. окисл., мг О/л		БПК ₇ , мг О/л	
	годы	сред.	годы	сред.	годы	сред.
Старка ¹	13,6/9,7	11,7	8,0/7,4	7,7	10,4/4,0	7,2
Старка ²	13,4/10,0	11,7	7,0/8,9	8,0	8,6/7,3	8,0
Рахма ¹	29,4/6,2	17,8	4,8/10,2	7,5	16,8/3,8	10,3
Рахма ²	0/7,2	3,6	6,7/12,2	9,5	0/4,0	2,0
Вьюница ¹	18,2/12,0	15,1	8,3/33,9	21,1	18,2/12,0	15,1
Вьюница ²	21,9/9,1	15,5	11,5/32,0	21,8	19,8/6,1	13,0
Параша ¹	0/8,0	4,0	9,6/30,2	19,9	0/7,8	3,9
Параша ²	8,9/8,2	8,6	8,6/34,6	21,6	4,8/4,5	4,7
Борзовка ¹	4,9/9,9	7,4	6,7/8,9	7,8	4,6/9,4	7,0
Борзовка ²	3,2/10,6	6,9	6,1/18,6	12,4	0/8,8	4,4
Левинка ¹	11,8/10,7	11,3	6,1/14,4	10,3	11,0/6,2	8,6
Левинка ²	6,7/8,5	7,6	6,4/17,6	12,0	4,3/8,0	6,2
Черная ¹	9,9/9,9	9,9	2,6/12,8	7,7	1,9/1,1	1,5
Черная ²	15,0/11,4	13,2	3,8/12,8	8,3	10,0/1,7	5,9
Хальзовка ¹	1,4/8,3	4,9	3,5/16,3	9,9	0/8,3	4,2
Хальзовка ²	0/7,5	3,8	3,8/21,8	12,8	0/7,5	3,8
Ржавка ¹	12,3/12,2	12,3	6,4/15,0	10,7	4,6/9,3	7,0
Ржавка ²	9,9/8,5	9,2	7,2/17,9	12,6	0/0	0
ПДК		>4,0		5,0		3,0/6,0

Заключение

Таким образом, на основании проведенной предварительной ступени исследований можно констатировать, что воды малых рек, протекающих в черте Нижнего Новгорода, характеризовались избыточным количеством органических примесей, средним уровнем содержания растворенного кислорода и заниженной биологической активностью в части биохимической деградации органосодержащих примесей. Содержание веществ-носителей биогенных элементов (соединения азота и фосфора) находится на приемлемом санитарно-экологическом уровне, а суммарное содержание железа и сульфатов – на повышенном и точно неблагоприятном уровне. В совокупности показателей неорганического состава избыточное накопление солей жесткости также было свойственно некоторым рекам города (Рахма, Ржавка, Борзовка и Хальзовка).

Для проведения геоэкологической оценки статуса малых водотоков, протекающих по урбанизированной территории города, необходимо продолжить настоящие

исследования и систематически проводить оценку комплекса гидрологических, гидрофизических и гидрохимических свойств вод малых рек с единовременным учетом особенностей хозяйственной деятельности территории, степени ее урбанизации, учетом деятельности по обращению с отходами и наличия свалок ТКО в водоохранной зоне.

Список литературы / References

1. Быков В.Ф., Ковальская И.Л. Малые реки Нижнего Новгорода // Малые реки города: проблемы и перспективы развития. Н. Новгород: Изд. НГПУ им. К. Минина, 2014. С. 19–24.
2. Bykov V.F., Kovalskaya I.L. Small rivers of Nizhny Novgorod // Malye reki goroda: problemy i perspektivy razvitiya. N. Novgorod: Izd. NGPU im. K. Minina, 2014. P. 19–24 (in Russian).
3. Казначеева Ю.В., Якунина И.В., Лузгачев В.А., Шубин Р.А. Проектирование рекреационных комплексов в прибрежных территориях малых рек // Вопросы современной науки и практики. Университет им. В.И. Вернадского. 2018. № 4 (70). С. 9–18. DOI: 10.17277/voprosy.2018.04.pp.009-018.
4. Kaznacheeva Yu.V., Yakunina I.V., Luzgachev V.A., Shubin R.A. Design of recreational complexes in coastal areas of small rivers // Voprosy sovremennoy nauki i praktiki. Universitet im. V.I. Vernadskogo. 2018. № 4 (70). P. 9–18 (in Russian).
5. Варенов А.Л. Малые реки города и пригородных территорий: эколого-русловой аспект изучения и восстанов-

ления // Малые реки города: проблемы и перспективы развития. Н. Новгород: Изд. НГПУ им. К. Минина, 2014. С. 24–33.

Varenov A.L. Small rivers of cities and periurban areas: ecological-channel aspect of study and restoration // *Malye reki goroda: problemy i perspektivy razvitiya*. N. Novgorod: Izd. NGPU im. K. Minina, 2014. P. 24–33 (in Russian).

4. Гелашвили Д.Б. Принципы обоснования нормативов допустимого воздействия (НДВ) по привносу химических и взвешенных минеральных веществ в поверхностные водные объекты // *Экологический мониторинг. Часть VIII. Современные проблемы мониторинга пресноводных экосистем*. Н. Новгород: Изд. Нижегородского университета, 2014. С. 43–60.

Gelashvili D.B. Principles of justification of permissible impact standards (NIR) for the introduction of chemical and suspended mineral substances into surface water objects // *Ekologicheskij monitoring. Chast VIII. Sovremennye problemy monitoringa presnovodnyh ekosistem*. N. Novgorod: Izd. Nizhegorodskogo universiteta, 2014. P. 43–60 (in Russian).

5. Маркова С.М., Наркозиев А.К. Методика исследования содержания профессионального образования // *Вестник Мининского университета*. 2019. Т. 7. № 1 (26). [Электронный ресурс]. URL: <https://vestnik.mininuniver.ru/jour/article/view/923> (дата обращения: 04.11.2019). DOI: 10.26795/2307-1281-2019-7-1-2.

Markova S.M., Narkoziev A.K. Methodology for research into the content of vocational education // *Vestnik of Minin University*. 2019. T. 7. № 1 (26). [Electronic resource]. URL: <https://vestnik.mininuniver.ru/jour/article/view/923> (date of access: 04.11.2019) (in Russian).

6. Рапута В.Ф., Зиновьев А.Т., Ловцкая О.В. Анализ процессов загрязнения малой реки на городской территории // *ИнтерЭкспо Гео-Сибирь*. 2019. Т. 4. № 1. С. 134–140. DOI: 10.33764/2618-981X-2019-4-1-134-140.

Raputa V.F., Zinovev A.T., Lovckaya O.V. Analysis of small river pollution processes in urban territory // *InterEkspo Geo-Sibir*. 2019. V. 4. № 1. P. 134–140 (in Russian).

7. Усманова Л.И. Характеристика химического состава речных вод на территории и в окрестностях города Читы // *Успехи современного естествознания*. 2018. № 7. С. 200–208. DOI: 10.17513/use.36826.

Usmanova L.I. Characteristic of the chemical composition of river waters in the territory and in the neighborhood of the city of Chita // *Advances in current natural sciences*. 2018. № 7. P. 200–208 (in Russian).

8. Ротанова И.Н., Пупкова В.В. Малые реки городской территории как природоохранные объекты урбанизированной среды (опыт исследований на примере Барнаула) // *География и природопользование Сибири*. 2013. № 15. С. 171–181.

Rotanova I.N., Pupkova V.V. Small rivers of urban territory as environmental objects of urbanized environment (experience of research on the example of Barnaul) // *Geografiya i prirodopolzovanie Sibiri*. 2013. № 15. P. 171–181 (in Russian).

9. Суплес Н.А. Влияние хозяйственной деятельности на экологическое состояние водоемов города Ишима // *Самарский научный вестник*. 2018. Т. 7. № 3 (24). С. 98–103.

Suppes N.A. Impact of economic activity on ecological condition of water bodies of the city of Ishima // *Samarskiy nauchnyy vestnik*. 2018. T. 7. № 3 (24). P. 98–103 (in Russian).

10. Гелашвили Д.Б., Копосов Е.В., Лаптев Л.А. Экология Нижнего Новгорода: монография. Н. Новгород: ННГАСУ, 2008. 530 с.

Gelashvili D.B., Koposov E.V., Laptev L.A. Ecology of Nizhny Novgorod: monograph. N. Novgorod: NNGASU, 2008. 530 p. (in Russian).

11. Копосова Н.Н., Козлов А.В., Шешина И.М. Анализ территориальных различий в уровнях концентраций загрязняющих веществ в атмосферном воздухе города Нижнего Новгорода // *Современные проблемы науки и образования*. 2015. № 3. [Электронный ресурс]. URL: <http://science-education.ru/ru/article/view?id=19379> (дата обращения: 04.11.2019).

Koposova N.N., Kozlov A.V., Sheshina I.M. Analysis of territorial differences in concentrations of pollutants in the atmospheric air of the city of Nizhny Novgorod // *Modern problems of science and education*. 2015. № 3. [Electronic resource]. URL: <http://science-education.ru/ru/article/view?id=19379> (date of access: 04.11.2019) (in Russian).

12. Дебольский В.К., Григорьева И.Л., Комиссаров А.Б. Современная гидрохимическая характеристика водохранилищ Волжского каскада в период летней межени // *Экологический мониторинг. Часть VIII. Современные проблемы мониторинга пресноводных экосистем*. Н. Новгород: Изд. Нижегородского университета, 2014. С. 61–76.

Debolskij V.K., Grigoreva I.L., Komissarov A.B. Modern hydrochemical characteristics of the reservoirs of the Volga cascade during the summer intergeny period // *Ekologicheskij monitoring. Chast VIII. Sovremennye problemy monitoringa presnovodnyh ekosistem*. N. Novgorod: Izd. Nizhegorodskogo universiteta, 2014. P. 61–76 (in Russian).

13. Кочеткова М.Ю., Баянов Н.Г. Гидрохимическое состояние некоторых малых рек города Нижнего Новгорода // *Малые реки города: проблемы и перспективы развития*. Н. Новгород: Изд. НГПУ им. К. Минина, 2014. С. 71–75.

Kochetkova M.Yu., Bayanov N.G. Hydrochemical state of some small rivers of the city of Nizhny Novgorod // *Malye reki goroda: problemy i perspektivy razvitiya*. N. Novgorod: Izd. NGPU im. K. Minina, 2014. P. 71–75 (in Russian).

14. Мялкина Е.В. Диагностика качества образования в вузе // *Вестник Мининского университета*. 2019. Т. 7. № 3 (28). [Электронный ресурс]. URL: <https://vestnik.mininuniver.ru/jour/article/view/1006> (дата обращения: 04.11.2019). DOI: 10.26795/2307-1281-2019-7-3-4.

Myalkina E.V. Diagnosis of the quality of education in the university // *Vestnik of Minin University*. 2019. T. 7. № 3 (28). [Electronic resource]. URL: <https://vestnik.mininuniver.ru/jour/article/view/1006> (date of access: 04.11.2019) (in Russian).

15. Козлов А.В. Оценка экологического состояния почвенного покрова и водных объектов: учебно-методическое пособие. Н. Новгород: Мининский университет, 2016. 146 с.

Kozlov A.V. Environmental assessment of soil cover and water objects: educational and methodological manual. N. Novgorod: Mininskiy universitet, 2016. 146 p. (in Russian).

16. Руководство по химическому анализу поверхностных вод суши / Под ред. А.Д. Семенова. Л.: Гидрометеоздат, 1977. 540 с.

Manual for chemical analysis of terrestrial surface waters / Pod red. A.D. Semenova. L.: Gidrometeoizdat, 1977. 540 p. (in Russian).

УДК 550.4:504.53

ХАРАКТЕРИСТИКА СОСТАВА ПОДЗОЛИСТОЙ ПОЧВЫ ОНЕЖСКОГО РАЙОНА

Кузнецова И.А., Мироненко К.А., Бедрина Д.Д.

ФГБУН «Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики
им. академика Н.П. Лаврова» РАН, Архангельск, e-mail: kia.iepn@gmail.com

С применением современного оборудования и общепринятых методик впервые охарактеризован состав и физико-химические свойства диагностических горизонтов подзолистого почв Онежского района Архангельской области. Показано, что наибольшее содержание органического вещества характерно для грубогумусового горизонта, наименьшее – для подзолистого и иллювиально-железистого. Содержание подвижной формы фосфора убывает в ряду: грубогумусовый горизонт, иллювиально-железистый горизонт, подзолистый горизонт. В иллювиально-железистом горизонте характерно накопление Mg, Ca, Al и Fe, а в подзолистом наблюдается снижение содержания Ca, Fe и Mg и увеличение содержания Si и Al, что согласуется с общими закономерностями формирования элементного состава подзолов. Впервые дано описание цвета сухой и влажной почвы с использованием цветовой шкалы почв Манселла. Цвет влажной почвы (по шкале Манселла): грубогумусовый горизонт 2,5/1 10R Reddish black, подзолистый горизонт 4/4 7,5R Brown, иллювиально-железистый 6/2 10 YR Light brownish gray. Дана оценка фракционного состава исследуемых почв. Наличие неотделяемых неразложившихся растительных остатков и песка в составе грубогумусового горизонта проявляется в значительной доле фракций 2–10 мм и 100–250 мкм соответственно. Для иллювиально-железистого горизонта, как и для подзолистого горизонта, характерно преобладание фракций 100, 250 и 45 мкм, при этом самые мелкие фракции преобладают в составе подзолистого горизонта, что можно объяснить процессами разрушения структур почвы в ходе подзолообразования. В ходе катенарного исследования подтверждено влияние типа элементарного ландшафта на элементный состав и мощность диагностических горизонтов подзолистого почв.

Ключевые слова: северная тайга, альфегумусовые почвы, элементарный ландшафт

CHARACTERISTICS OF THE COMPOSITION OF PODZOLIC SOIL OF ONEGA REGION

Kuznetsova I.A., Mironenko K.A., Bedrina D.D.

N. Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research RAS, Arkhangelsk, e-mail: kia.iepn@gmail.com

Applying modern equipment and widely accepted methods, the composition and physicochemical properties of the diagnostic horizons of the podzolic soil of the Onega region of the Arkhangelsk oblast were characterized for the first time. It is shown that the highest content of organic matter is characteristic of the coarse-humus horizon, the smallest – for the podzolic and illuvial-glandular. The content of the mobile form of phosphorus decreases in a row: coarse-humus horizon, illuvial-glandular horizon, podzolic horizon. Accumulation of Mg, Ca, Al, and Fe is characteristic in the illuvial-glandular horizon, while in the podzolic layer, a decrease in the content of Ca, Fe, and Mg and an increase in the content of Si and Al are observed. Description of the color of soil is given using the Mansell soil color scale, coarse-humus horizon – Reddish black, podzolic horizon – Brown, illuvial-glandular – Light brownish gray. The fractional composition of the studied soils is estimated. The presence of inseparable undecomposed plant debris and sand in the coarse-humus horizon is manifested in a significant fraction of fractions of 2-10 mm and 100-250 μ m, respectively. The illuvial-glandular horizon, as well as the podzolic horizon, is characterized by a predominance of fractions of 100, 250, and 45 μ m, while the smallest fractions prevail in the composition of the podzolic horizon. During the catenary research, the effect of the type of elementary landscape on the elemental composition and thickness of the diagnostic horizons of podzolic soil was established.

Keywords: northern taiga, alphehumus soils, elementary landscape

Подзолистые почвы преобладают на песчаных отложениях территорий, где среднегодовое количество осадков превышает 700 мм, и насчитывают приблизительно 485 млн га во всем мире. Они распространены в основном в умеренных и бореальных регионах Северного полушария: Скандинавии, на северо-западе России и в Канаде. Помимо «зональных» подзолов, встречаются и «внутризональные» подзолы как в умеренной зоне, так и в тропиках. Большинство зональных подзолов сформированы под пологом хвойно-доминирую-

щих растительных сообществ. Онежский район Архангельской области расположен на южной границе подзоны глееподзолистых и подзолистых иллювиально-гумусовых почв Северной тайги Европейско-западно-сибирской таежно-лесной области подзолистых и дерново-подзолистых почв, в почвенном покрове которой широко распространены глееподзолистые почвы на суглинистых породах, Al-Fe-гумусовые подзолы на песчаных отложениях в сочетании с болотно-подзолистыми и торфяно-болотными почвами [1]. Для Архангельской об-

ласти характерно преимущественное распространение подзолов и подзолистых почв (67%) [2], однако данных о составе и свойствах почв области недостаточно.

В условиях нарастающего промышленного освоения северных территорий и трансграничного загрязнения немаловажным представляется установление состава и свойств наиболее распространенных типов почв как важного компонента окружающей среды, участвующего в накоплении и перераспределении загрязняющих веществ, в том числе тяжелых металлов.

Цель исследования: характеристика состава подзолистой почвы Онежского района Архангельской области.

Материалы и методы исследования

Исследованию были подвергнуты почвы елово-соснового леса, отобранные в соответствии с ГОСТ 17.4.4.02-84 [3] в Онежском районе Архангельской области в сосново-еловом лесу на склоне холма (N63°50.114' E38°25.003' – N63°50.338' E38°24.948') осенью 2017 г. путем однократного отбора (рис. 1). Отбор проб производили таким образом, чтобы лицевая сторона почвенного профиля открывалась на наиболее освещенную восточную сторону для описания морфологического строения и определения цвета влажной почвы. Подготовка проб к последующему анализу включала высушивание до воздушно-сухого состояния и удаление неразложившихся остатков растений. Определение гранулометрического состава почвы осуществляли ситовым методом с применением аналитической просеивающей машины серии Retsch AS 200 Control в соответствии с инструкцией. Элементный состав почв был определен методом рентгено-флуоресцентного анализа с помощью энергодисперсионного рентгенфлуоресцентного спектрометра типа EDX (Shimadzu) в соответствии

с аттестованной методикой рентгено-флуоресцентного анализа [4]. Подготовка проб к анализу включала дополнительное измельчение в шаровой мельнице до фракции примерно 71 мкм и таблетирование с использованием поливинилового спирта в качестве связующего. Содержание органического вещества, подвижного фосфора и общего азота в почве определяли по ГОСТ 26213-91, ГОСТ Р 54650-2011 и ГОСТ 26107-84 [5–7] соответственно в аккредитованной испытательной лаборатории. С помощью цветовой шкалы почв Манселла (версии 2009 г.) [8] определяли цвет влажной почвы при прямом естественном освещении в соответствии с методикой [9]. ИК-спектры высушенных и измельченных в агатовой ступке проб записаны с использованием ИК-Фурье-спектрометра Vertex 70 (Bruker, Германия) и приставки нарушенного полного внутреннего отражения с алмазной призмой GladiATR (Pike Tech., USA). В качестве фона использовался атмосферный воздух.

Результаты исследования и их обсуждение

В геологическом плане территория исследования расположена в пределах Нижне-Онегорецкой депрессии, а в морфологическом плане на слабоволнистой равнине, сложенной песчано-глинистыми отложениями. Почвы района исследования сформированы на морских четвертичных отложениях (литологический состав – песок), что обеспечивает их промывной режим и формирование подзолов. Характеристика состава и свойств почвы приведены в таблице и на рис. 2, морфологическое строение профилей почвы приведено на рис. 3. Исследованные профили почвы имеют строение В-Е-ВНФ-С, характерное для подзолов, сформированных в автоморфных условиях на песчаных породах, и различается мощностью выделенных диагностических профилей.

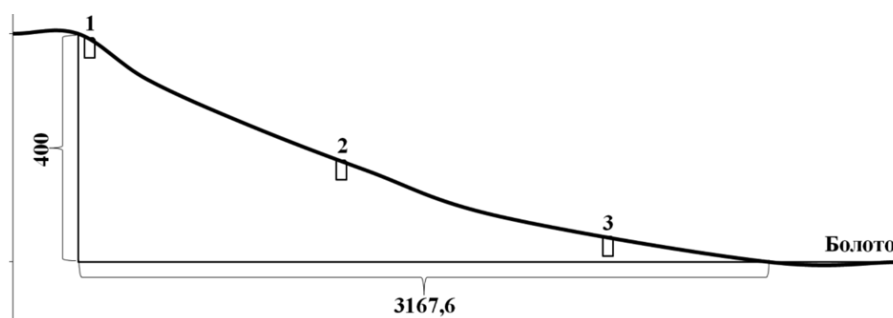


Рис. 1. Точки отбора проб на склоне холма: 1 – профиль № 1, 2 – профиль № 2, 3 – профиль № 3

Наибольшее содержание органического вещества характерно для грубогумусового горизонта ($53,4 \pm 1,6\%$), наименьшее – для подзолистого ($0,41 \pm 0,08\%$) и иллювиально-железистого ($0,46 \pm 0,09\%$). Содержание подвижной формы фосфора убывает в ряду: грубогумусовый горизонт (174 ± 35 мг/кг), иллювиально-железистый горизонт (83 ± 17 мг/кг), подзолистый горизонт ($1,00 \pm 0,35$ мг/кг) (таблица). Содержание питательных веществ в подзолах низкое вследствие высокой степени выщелачивания. Питательные вещества растений сосредоточены в верхнем, грубогумусовом горизонте, где они высвобождаются в результате разложения органических остатков. Накоплению фосфора в иллювиально-железистом горизонте способствует возможность формирования железо- или алюмосиликатов.

Анализ распределения частиц почвы по фракциям (рис. 2) показал преобладание крупной фракции в составе грубогумусового горизонта, что объясняется наличием

слаборазложившихся растительных остатков. Разложение органических веществ и гомогенизация грубогумусового горизонта подзолистой почвы происходят под воздействием ферментной системы грибов, мелких членистоногих и насекомых.

Продуктом продолжительного процесса разложения становятся гумусовые кислоты, способствующие миграции питательных элементов вниз по профилю почвы. Для грубогумусового горизонта наблюдается увеличение массы частиц размером 100–250 мкм в связи с наличием в его составе песчаной фракции, которая также может формировать агрегаты с участием органического вещества. Для иллювиально-железистого горизонта, как и для подзолистого горизонта, характерно преобладание фракций 100, 250 и 45 мкм, при этом самые мелкие фракции преобладают в составе подзолистого горизонта, что можно объяснить процессами разрушения структур почвы в ходе подзолообразования.

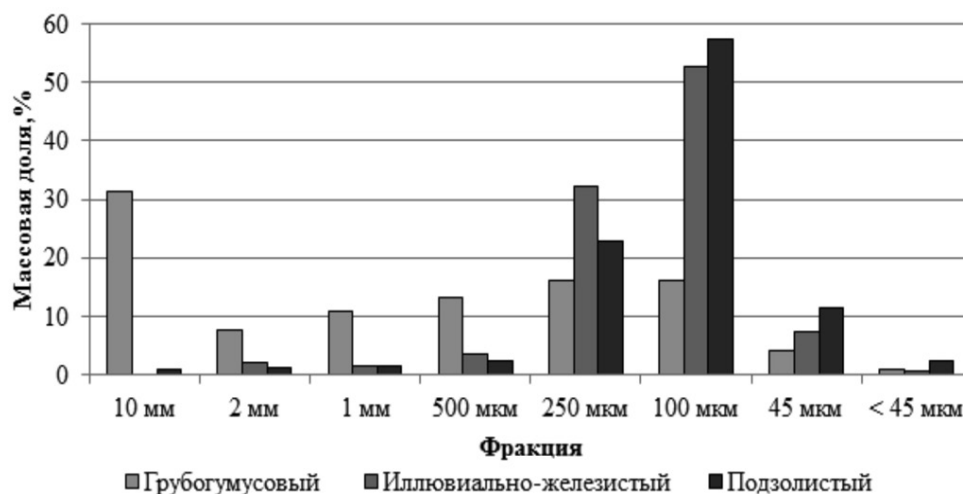


Рис. 2. Распределение частиц почвы по фракциям

Характеристика состава и свойств подзолистой почвы

Показатель	Грубогумусовый горизонт	Подзолистый горизонт	Иллювиально-железистый горизонт
Органическое вещество, %	$53,4 \pm 1,6$	$0,41 \pm 0,08$	$0,46 \pm 0,09$
Фосфор (подвижная форма), мг/кг	174 ± 35	$1,00 \pm 0,35$	83 ± 17
Общий азот, %	–	$0,017 \pm 0,010$	$0,014 \pm 0,010$
Цвет сухой почвы (по шкале Манселла)	2,5/1 7,5YR Black	5/8 10YR Yellowish brown	8/1 2,5Y White
Цвет влажной почвы (по шкале Манселла)	2,5/1 10R Reddish black	4/4 7,5R Brown	6/2 10 YR Light brownish gray

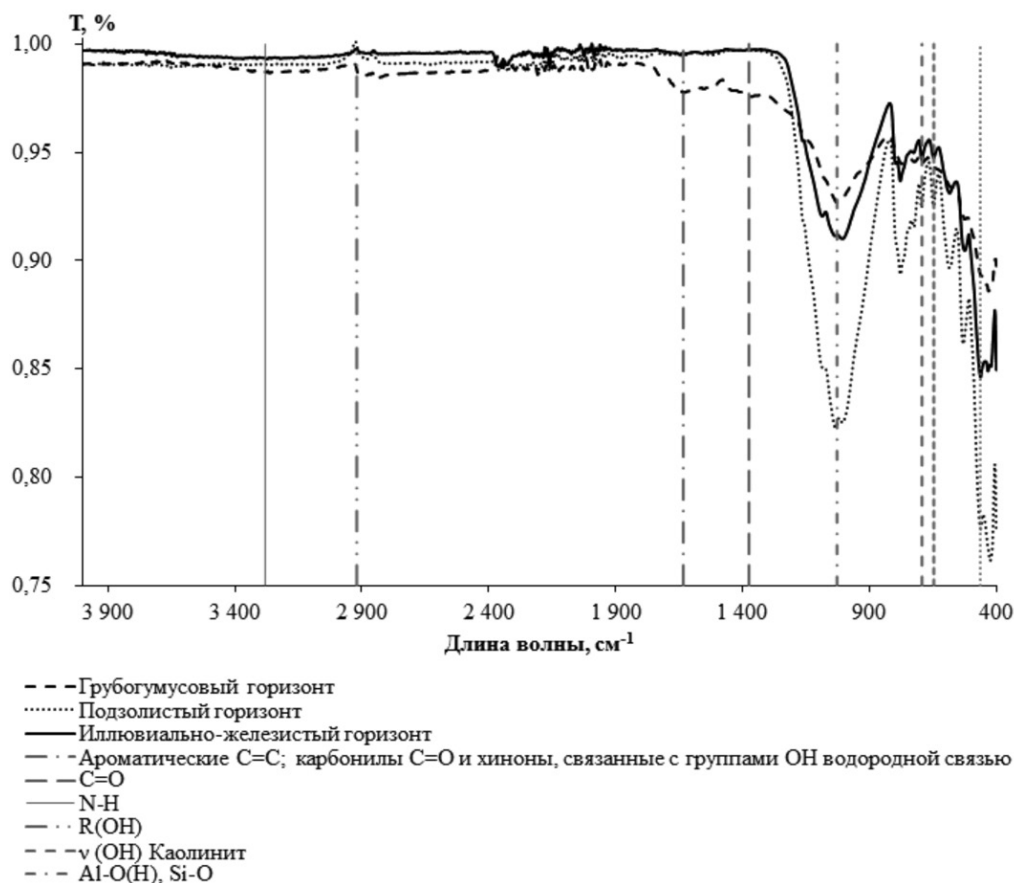


Рис. 3. ИК-спектры образцов почвы

Анализ ИК-спектров исходных горизонтов почвы показал присутствие характеристических полос Al-O-Al, Si-O, O-Si-O, ярко выраженных для подзолистого, иллювиально-железистого и, в меньшей степени, грубогумусового горизонтов почв, соответствующих их минеральной составляющей (рис. 3). ИК-спектры подзолистого и грубогумусового горизонтов имеют полосу поглощения в районе 462 см^{-1} , свидетельствующую о наличии оксидов железа. Минеральная составляющая может принимать участие в иммобилизации катионов путем ионного обмена (за счет групп Al-O(H)) и сорбции на положительно заряженных участках дефектных кристаллических решеток. Для грубогумусового горизонта характерным является наличие органических кислородсодержащих групп в составе почвенных компонентов (характеристическая полоса поглощения 1030 см^{-1}), присутствие характеристических полос ионизированных -COO^- групп (1370 см^{-1})

и C=C ароматических структур (1600 см^{-1}), что позволяет предположить взаимодействие органической составляющей почвы с ионами металлов по механизмам ионного обмена и комплексообразования.

Отношение интенсивностей характеристических полос поглощения длин волн 1730 и 1620 см^{-1} составило $1,0080$; $1,0007$ и $1,0014$ для грубогумусового, подзолистого и иллювиально-железистого горизонта соответственно. Это свидетельствует о большем числе протонированных карбоксильных групп в составе компонентов, составляющих грубогумусовый и иллювиально-железистый горизонты, в то время как в подзолистом карбоксильные группы компонентов преимущественно связаны с катионами.

Катенарное исследование состава подзолистой почвы, сформированной на склоне холма, позволило выявить миграционные процессы в элементарном ландшафте. Они нашли свое отражение в строении и составе диагностических профилей почвы:

на вершине холма преобладают процессы вымывания элементов и органического вещества, что приводит к формированию диагностических профилей разной мощности (рис. 4). Осаждение продуктов выветривания из органогенного горизонта обычно приводит к разной степени цементации слоев в пределах профиля почвы. Эти цементированные слои могут образовывать барьеры для вертикального проникновения корней деревьев и воды, что приводит к водонасыщенности слоя выше цементированного слоя. Нарастание мощности иллювиально-железистого горизонта в нижней части склона может привести к формированию водоупора и, в дальнейшем, оторфовыванию почвы.

Анализ содержания элементов в почве показал, что в иллювиально-железистом го-

ризонте наблюдается накопление Mg, Ca, Al и Fe, а в подзолистом – снижение содержания Ca, Fe и Mg и увеличение содержания Si и Al, что согласуется с общими закономерностями формирования элементного состава подзолов [10]. Преобладание Al в подзолистом горизонте обусловлено наличием в Онежском регионе алевритов, к которым относятся полевые шпаты, содержащие в своем составе нерастворимые соединения с Al (рис. 5) [11].

Катенарное исследование показало влияние типа элементарного ландшафта на элементный состав и мощность диагностических горизонтов формирующихся в нем почв. Наблюдается вымывание легкорастворимых элементов из подзолистого горизонта и накопление их в подстильно-торфяном и иллювиально-железистом горизонтах.

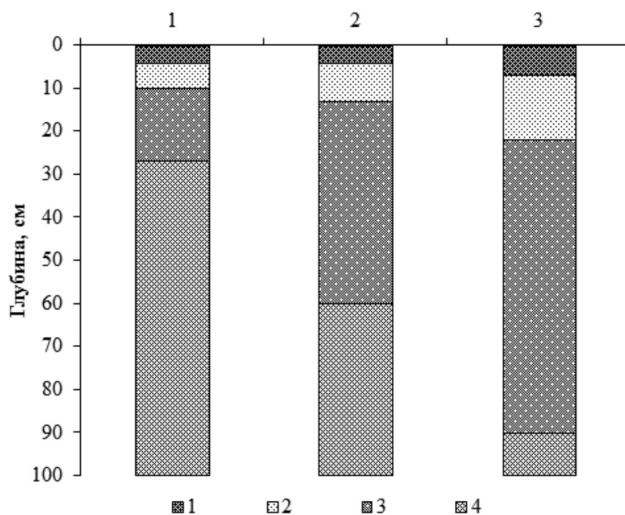


Рис. 4. Схема строения почвенных профилей: 1 – грубогумусовый, 2 – подзолистый, 3 – иллювиально-железистый горизонт, 4 – материнская порода

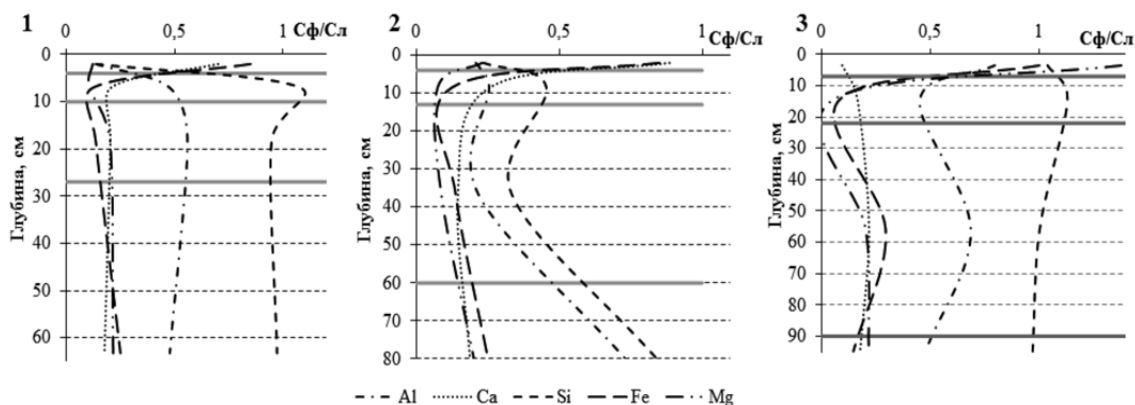


Рис. 5. Схема распределения относительного содержания элементов в профилях № 1, № 2, № 3

Выводы

С применением современного оборудования и общепринятых методик впервые охарактеризован состав и физико-химические свойства диагностических горизонтов подзолистой почвы Онежского района Архангельской области. Показано, что наибольшее содержание органического вещества характерно для грубогумусового горизонта, наименьшее – для подзолистого и иллювиально-железистого. Содержание подвижной формы фосфора убывает в ряду: грубогумусовый горизонт, иллювиально-железистый горизонт, подзолистый горизонт. В иллювиально-железистом горизонте характерно накопление Mg, Ca, Al и Fe, а в подзолистом наблюдается снижение содержания Ca, Fe и Mg и увеличение содержания Si и Al, что согласуется с общими закономерностями формирования элементного состава подзолов. Исследование структуры почв методом ИК-спектроскопии показало наличие двух групп активных центров связывания катионов металлов, характерных для органических и минеральных компонентов почвы. Впервые дано описание цвета сухой и влажной почвы с использованием цветовой шкалы почв Манселла. Фракционный состав почв отражает процесс подзолообразования: в грубогумусовом горизонте преобладают крупные фракции (соответствует медленному разложению растительных остатков), для подзолистого горизонта характерно максимальное количество мелких фракций (соответствует процессу разрушения и вымывания минеральной и органической составляющей), в подзолистом наблюдается укрупнение частиц за счет цементирования их Fe-гуминовыми комплексами. В ходе катенарного исследования подтверждено влияние типа элементарного ландшафта на элементный состав и мощность диагностических горизонтов подзолистой почвы. Полученные сведения могут найти свое применение в целях мониторинга подзолистых почв Онежского района, информация о химическом составе может быть полезна при прогнозировании удерживающей способности почв по отношению к катионам, в том числе тяжелых металлов.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-35-00552. Работа выполнена с использованием оборудования Центра

коллективного пользования научным оборудованием «Арктика» Северного (Арктического) федерального университета.

Список литературы / References

1. Пшеничников Б.Ф., Пшеничникова Н.Ф. Основы почвоведения и географии почв. Владивосток: Изд. ВГУЭС, 2006. 200 с.
2. Pshenichnikov B.F., Pshenichnikova N.F. Fundamentals of soil science and soil geography. Vladivostok: Izd. VGUES, 2006. 200 p. (in Russian).
3. Геоинформационная система «Атлас земель сельскохозяйственного назначения», Почвенный институт им. В.В. Докучаева. Москва, 2014. [Electronic resource]. URL: <http://atlas.mcx.ru/materials/egrpr/content/adm/adm29.html> (дата обращения: 20.11.2019).
4. Geographic Information System «Atlas of Agricultural Land», Soil Institute V.V. Dokuchaev. Moscow, 2014. [Electronic resource]. URL: <http://atlas.mcx.ru/materials/egrpr/content/adm/adm29.html> (date of access: 20.11.2019) (in Russian).
5. ГОСТ 17.4.4.02-84. Охрана природы. Почвы. Методы отбора и подготовки проб для химического, бактериологического, гельминтологического анализа. Введ. 01.01.1986. М.: Стандартинформ, 2016. 12 с.
6. М-02-0203-09. Методика выполнения измерений массовой доли натрия, кремния, кальция, титана, ванадия, хрома, бария, марганца, железа, никеля, меди, цинка, стронция, свинца, циркония, молибдена, алюминия, магния в порошковых пробах почв и донных отложениях рентгеноспектральным методом с применением энергодисперсионных рентгенофлуоресцентных спектрометров типа EDX фирмы Shimadzu. СПб., 2009. 20 с.
7. ГОСТ 26213-91. Почвы. Методы определения органического вещества. Введ. 01.07.1993. М.: Стандартинформ, 1992. 8 с.
8. ГОСТ Р 54650-2011 Почвы. Определение подвижных соединений фосфора и калия по методу Кирсанова в модификации ЦИНАО. Введ. 01.01.2013. М.: Стандартинформ, 2013. 12 с.
9. ГОСТ 26107-84. Почвы. Методы определения общего азота. Введ. 01.01.1985. М.: Стандартинформ, 2018, 11 с.
10. Munsell soil-color charts: with genuine Munsell color chips. Michigan: Munsell Color (Firm). 2017, 14 p.
11. Field Book for Describing and Sampling Soils, version 3.0. Natural Resources Conservation Service. 2012. [Electronic resource]. URL: https://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE_DOCUMENTS/nrcs142p2_052523.pdf (date of access: 20.11.2019).
12. Жангуров Е.В., Старцев В.В., Дубровский Ю.А., Дымов А.А. Эколого-генетические особенности формирования иллювиально-железистых подзолов горной ландшафтной зоны приполярного Урала // Актуальные проблемы биологии и экологии: материалы XXIV Всероссийской молодежной научной конференции. 3-7 апреля 2017 г. Сыктывкар, 2017. С. 88-92.
13. Zhangurov E.V., Startsev V.V., Dubrovsky J.A., Dymov A.A. Ecological and genetic features of the formation of the illuvial glandular podzols of the mountain landscape zone of the polar Urals // Aktual'nyye problemy biologii i ekologii: materialy XXIV Vserossiyskoy molodezhnoy nauchnoy konferentsii. 3-7 aprelya 2017 g. Syktyvkar, 2017. P. 88-92 (in Russian).
14. Атлас Архангельской области: геологическая карта. М.: Научно-редакционная картосоставительная часть ГУГК, 1976. 1 к. (2 л.): цв.
15. Atlas of the Arkhangelsk oblast: geological map. M.: Nauchno-redakcionnaya kartosostavitel'naya chast' GUGK, 1976. 1 k. (2 l.): tsv. (in Russian).

УДК 504.064.2:502.2.08:551.4.044:528.854.2:519.876.5

**ИЗМЕРЕНИЕ КООРДИНАТ ПО СПУТНИКОВЫМ СНИМКАМ
ВДОЛЬ РУСЛА МАЛОЙ РЕКИ ИРОВКА В РЕСПУБЛИКЕ МАРИЙ ЭЛ****Мазуркин П.М., Георгиева Я.О.***Поволжский государственный технологический университет, Йошкар-Ола,
e-mail: kaf_po@mail.ru, yanageorgieva2017@yandex.ru*

Спутниковые снимки р. Ировка позволили разработать методику проведения измерений координат русла (широта, долгота, высота) от истока до устья по характерным точкам, расположенным вдоль малой реки по её стрежню. Начальной точке в истоке реки дается нулевой ранг. По сути ранг заменяет расстояние по руслу реки. В среде (Карты высот, уклонов) северная широта и восточная долгота имеют погрешность измерения $\pm 0,005$ минуты, а высота над уровнем моря имеет погрешность $\pm 0,5$ м. Высота показывает средний рельеф берегов. Вдоль реки от истока до устья выбираются характерные точки. Ими становятся места с резко изменяющейся кривизной русла. Для измерений спутниковые снимки увеличивают, а затем передвигают на экране компьютера снимок от истока до устья. Затем курсором устанавливают точку в характерном месте русла по его стрежню. Из выскочившего окна выделяют три параметра и заносят в таблицу. Достоинством предлагаемой в статье технологии измерений координат точки вдоль русла малой реки по её стрежню является небольшая трудоемкость. В режиме «Топо» можно измерять координаты любой точки по границам водоразделов и внутри водосборного бассейна. Следующим достоинством также является наглядность объектов, находящихся слева или справа русла по берегам малой реки. Если еще учесть, что космические снимки приводятся в реальном режиме времени, то появляется практическая возможность изучения объектов и самой малой реки в динамике после многократных измерений.

Ключевые слова: малая река, космический снимок, русло, точки, координаты, измерения, методика**MEASUREMENT OF COORDINATES BY SATELLITE IMAGES ALONG
THE CHANNEL OF THE SMALL RIVER IROVKA IN THE REPUBLIC OF MARI EL****Mazurkin P.M., Georgieva Ya.O.***Volga State University of Technology, Yoshkar-Ola,
e-mail: kaf_po@mail.ru, yanageorgieva2017@yandex.ru*

Satellite images of the Irovka River made it possible to develop a method for measuring the coordinates of the channel (latitude, longitude, altitude) from source to mouth at characteristic points located along the small river along its rod. The starting point at the source of the river is given a zero rank. In fact, the rank replaces the distance along the riverbed. In the environment (Maps of heights, slopes), the northern latitude and eastern longitude have a measurement error of ± 0.005 minutes, and the height above sea level has an error of ± 0.5 m. The height shows the average relief of the coast. Characteristic points are chosen along the river from source to mouth. They become places with sharply changing curvature of the channel. For measurements, satellite images are enlarged, and then the image is moved from the source to the mouth on the computer screen. Then the cursor sets the point in the characteristic place of the channel in its middle. Three parameters are selected from the pop-up window and entered into the table. The advantage of the technology proposed in the article for measuring the coordinates of a point along the bed of a small river along its rod is its small laboriousness. In the «Topo» mode, you can measure the coordinates of any point along the boundaries of the watershed and inside the catchment. Another advantage is the visibility of objects located on the left or right of the channel along the banks of a small river. If we take into account that satellite images are presented in real time, then there is a practical opportunity to study objects and the smallest river in dynamics after multiple measurements.

Keywords: small river, satellite image, channel, points, coordinates, measurements, technique

В 1969 г. были проведены первые эксперименты по геоморфологической интерпретации космических снимков. Идея об их использовании тогда была неожиданной. Применение космических снимков позволяет получать новую объективную качественную и количественную информацию, не обеспечиваемую другими методами, и, наконец, при современном ограниченном финансировании во многом сократить сроки работ [1].

По космическим снимкам возможно получать координаты (широта, долгота, высота от уровня Балтийского моря) любой точ-

ки на поверхности. По рекомендациям [2] при нажатии курсора на карту открывается информационное окно, показывающее координаты указанной точки. Нами предлагается на линии стрежня малой реки выбирать характерные точки от истока до устья и после проведения измерений составить таблицу исходных данных для последующего моделирования методом идентификации устойчивых закономерностей [3, 4].

В статье показана методика измерений. Цель – составить таблицу результатов измерений по трем координатам в характерных точках, определяемых по резкому из-

менению кривизны продольного профиля в плане, вдоль русла малой реки от истока до устья.

Умеренное овражное расчленение (0,02–0,05) характерно для междуречий рек Большой, Малой Кокшаги и Илети на территории Марий Эл. Средняя лесистость составляет 34%, распаханность – 51%, крутизна склонов – около 2,5°, глубина местных базисов эрозии – 103 м. Отсутствие оврагов приурочено к более четверти всех бассейнов, как правило сильно залесенных и расположенных в подзоне южной тайги в Марийском Полесье [5].

По классификации методом Варда [6] малых водосборов по четырем морфометрическим характеристикам, определяющим энергию рельефа (средняя высота, вертикальная расчлененность, густота овражно-балочной сети и средний уклон) р. Ировка является элементарным водосбором. В дальнейшем предполагается устанавливать соотношение обрабатываемых (пашня), слабонарушенных (пастбища) и ненарушенных (лес, луг) земель для минимизации темпов смыва почв и сокращения доли наносов.

Продольный профиль реки в естественных условиях характеризуется, как правило, неравномерным распределением уклона. Его можно рассматривать в разных

пространственно-временных масштабах: всей реки от истока до устья или конкретного участка реки, в пределах которого существуют некоторые особые условия для режима стока воды и наносов [7]. В статье рассматривается вся малая река Ировка от истока до устья, в стрекне русла которой выделено 290 характерных точек.

Материалы и методы исследования

Ировка – река в России, протекает в Республике Марий Эл, в Параньгинском, Куженерском и Моркинском районах (рис. 1) вдоль восточной стороны Вятского увала. По нашей классификации [4] река Волга получает нулевой ранг, а её приток река Илеть – ранг 1. Поэтому приток Илети река Ировка получает ранг 2, у неё имеются собственные притоки с рангами 3. На мелко-масштабных снимках возможно выделение на притоках Ировки еще более мелких притоков с рангами 4.

Сведения о реке (рис. 2), о притоках и свойствах были взяты из интернета. Правые притоки: Унжа, Кокшерка, Шойка, Изюмка, а левым притоком является речка Шеменер. В пойме малой реки Ировки находится семь озер.

Тогда получается, что по классификации [8] р. Ировка относится к четковидным руслам.

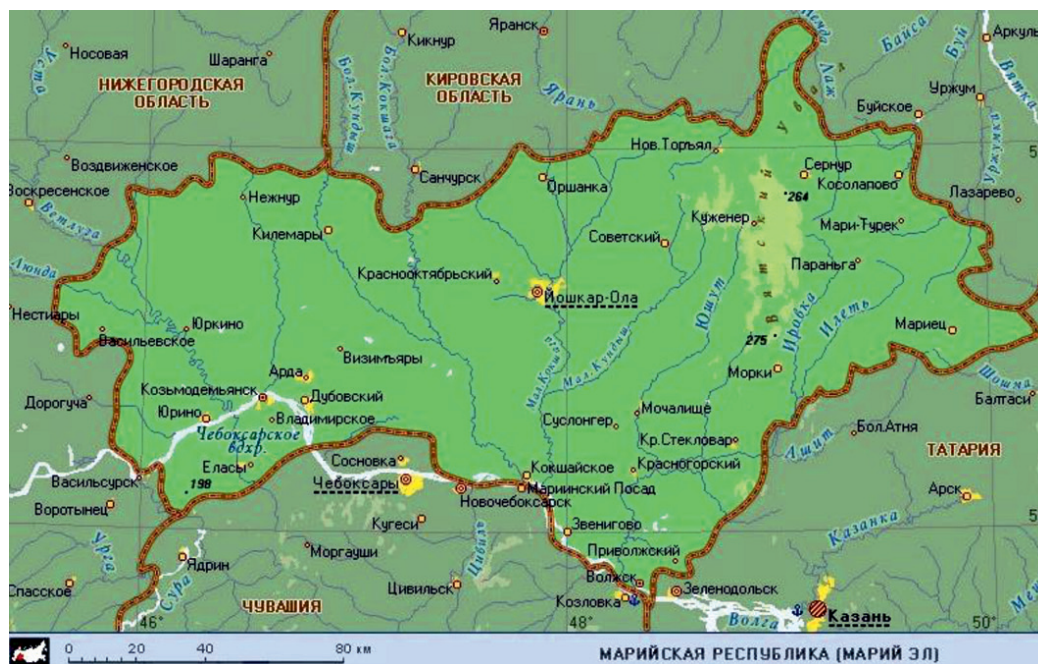


Рис. 1. Река Ировка

(Слайд 5. <https://infourok.ru/prezentaciya-prilozhenie-k-nod-moya-malaya-rodina-1383082.html>)

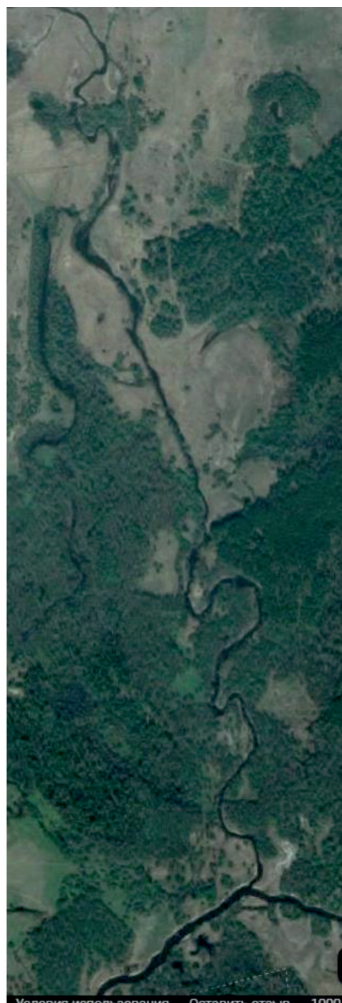


Рис. 2. Река Ировка [2]: С-Ю

Четковидные русла малых рек характеризуются сопряженным чередованием озеровидных расширений и соединяющих их узких протоков. Весьма распространенным типом русел малых рек являются четковидные извилистые русла, анализ морфологии которых может внести некоторую ясность в развитие представлений о механизмах формирования. Извилистая форма четковидных русел характерна для малых рек [8].

По р. Ировка и Илеть проходит сплавной маршрут № 124 длиной 197 км до Волги.

Исток реки находится у деревни Данилово в 9 км к северо-западу от села Параньга. Река течёт на юг, протекает мимо деревень Ирмучаш, Яндимирово, Ирнур, Портянур, Шойдум, Нижняя, Семисола, Алмаметьево, Канал, Юрдур, Мари-Кужеры. Река Ировка протекает в двух километрах восточнее крупного посёлка Морки. Впадает в р. Илеть ниже деревни Мари-Кужеры в 10 км к юго-востоку от села Морки.

В 1950–1960 гг. река Ировка была полноводной и весной сильно разливалась. Во время весеннего разлива по ней ходил катер. Работал лесосплав, и по ней сплавляли бревна. Ныне в засушливые годы она местами превращается в ручей, около истока имеет пересыхающие участки. Ировка очень живописная река. У нее песчаные косы, омуты и затоны с кувшинками, бобровые запруды, обрывы, поросшие корабельными соснами.

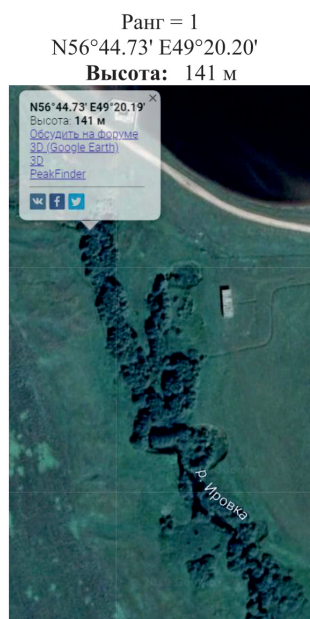
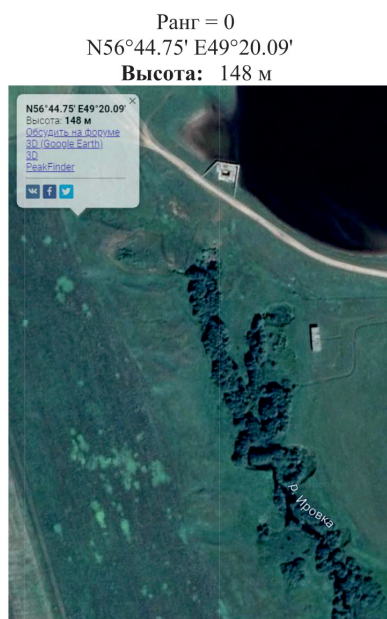


Рис. 3. Исток и вторая точка малой реки Ировка



Рис. 4. Характерные точки на излучине малой реки Ировка

Вначале на космическом снимке (рис. 3) выделяется исток.

Начальной точке даем ранг 0. По сути ранг заменяет расстояние вдоль русла реки. Северная широта и восточная долгота имеют погрешность измерений $\pm 0,005$ минуты, а высота над уровнем моря $\pm 0,5$ м. При этом высота на снимке показывает средний рельеф у обоих берегов.

Вдоль реки от истока до устья выбираются характерные точки (рис. 4). Как правило, ими становятся места в горизонтальных изломах реки с резко изменяющейся кривизной русла в плане.

На рис. 4 показаны три характерные точки. Первая точка принята при повороте на 90° русла реки, а вторая точка расположена также на повороте 90° на восток.

На рис. 5 показаны три характерные точки прохождения русла реки Ировка по озеру. Первая точка принята до входа водотока в озеро. Вторая точка принята в месте впадения малой реки в озеро. Затем третьей точкой принята середина входа от озера в продолжение русла малой реки Ировка.

Из этого примера видно, что от истока до устья реки Ировка характерных точек извилистого русла намного больше 290. Поэтому учитывались только крупные изменения радиуса кривизны русла по стрежню. В итоге русло реки Ировка разделилось на 289 промежутков со средней длиной $69000 / 289 = 239$ м.

На рис. 6 показаны две характерные точки около устья реки Ировка. Последней характерной точкой становится середина створа впадения Ировки в реку Илеть.

Как видно из всех рисунков, для измерений спутниковые снимки увеличивают, а затем передвигают снимок постепенно на экране компьютера от истока до устья. Затем курсором устанавливают точку в характерном месте русла по его стрежню. Из данных в окошке выделяют три параметра (широта, долгота и высота) и заносят в таблицу. Сверху фото показаны значения этих трех параметров точки.

В такой же последовательности проводят измерения в характерных точках водосборных бассейнов после нажатия слева сверху на космическом снимке на кнопку «Топо».

Результаты исследования и их обсуждение

Характерные точки выбираются визуально относительно быстро. При этом повышается наглядность снимка под углом 90° : видна растительность и другие объекты, например строения и огороды по сторонам реки.

В сравнении с любыми электронными картами спутниковые снимки отличаются оперативностью и возможностью быстрого измерения координат любой принятой точки. При этом на снимках измерения проводятся с очень малой трудоемкостью, так как не требуется составлять электронные карты. Однако по сравнению с картой в ГИС Панорама 11 с горизонталями, при относительно высокой трудоемкости процесса измерений. На карте с горизонталями высоту рельефа русла можно измерять с погрешностью $\pm 0,05$ м, что на порядок выше по сравнению с космическим снимком.

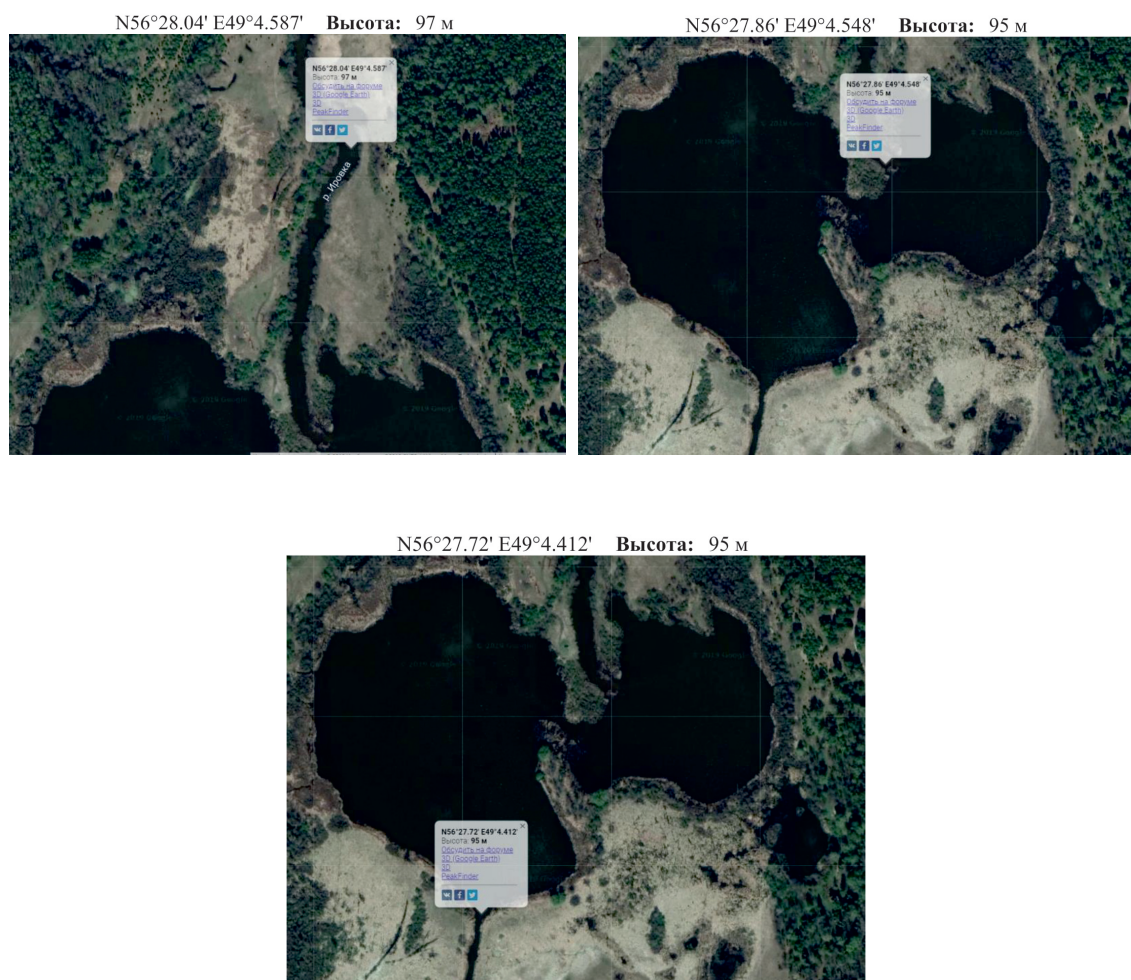


Рис. 5. Характерные точки русла реки внутри водоема

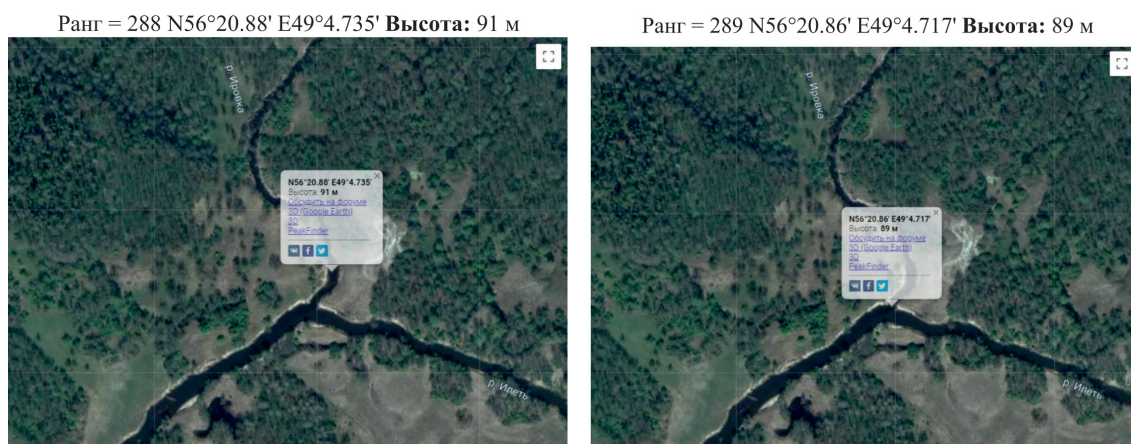


Рис. 6. Характерные точки в устье реки Ировка

Координаты характерных точек продольного профиля русла малой реки Ировка

№ п/п	Измеренные данные			Данные относительно реки Ировка		
	Северная широта	Восточная долгота	Высота над морем, м	Север-Юг α , минута	Долгота β , минута	Высота от устья h , м
1	N56°44.75'	E49°20.09'	148	0	17.39	59
2	N56°44.73'	E49°20.20'	141	0.02	17.50	52
3	N56°44.56'	E49°20.32'	137	0.19	17.62	48
4	N56°44.55'	E49°20.37'	137	0.20	17.67	48
...	...	...	...	...	...	...
287	N56°20.92'	E49°4.670'	93	23.83	1.97	4
288	N56°20.91'	E49°4.719'	93	23.84	2.019	4
289	N56°20.88'	E49°4.735'	91	23.87	2.035	2
290	N56°20.86'	E49°4.717'	89	23.89	2.017	0

В таблице даны результаты измерений по выпискам из всплывающего окна при нажатии курсором на выбранную точку. Затем русло реки Ировка принимается за географический объект с местными приведенными координатами. Поэтому по течению реки от истока до устья устанавливается ось абсцисс, начиная от нуля в точке истока. В этом случае местная широта образуется в направлении Север – Юг с началом в истоке реки Ировка. Из фактических широт вычитается вначале 56°, а затем 20.86 минут для последней точки в устье. После этого сменой отрицательного знака получается ось абсцисс α в пределах от 0 до 23.89 минут.

Местная восточная долгота образуется после вычитания 49°, а затем выбирается западная точка № 255 с новой долготой 2.772 минуты. Из всех значений для 290 точек вычитаем 2.7 и получаем начало местной восточной долготы 0.072 минуты. Тогда река Ировка находится в прямоугольнике 23.89 минут длиной и 18.89 минут шириной. Можно перевести минуты в метры. Однако для моделирования подходят данные и в минутах.

Данные таблицы затем подвергаются моделированию методом идентификации [3, 4] устойчивыми законами. Для трех параметров вначале выявляются ранговые распределения, а после этого проводится факторный анализ с учетом парных отношений.

Заключение

Применение спутниковых снимков позволяет оперативно изучать малые реки и составлять таблицы координат характерных точек русла для последующего статистического моделирования. В ближайшем будущем появится возможность построе-

ния 3D вида для пространственного анализа водосборного бассейна. Это позволит на космических снимках изучать эрозию почвы на склонах, на водоохранной зоне и водозащитной полосе по четырем берегам, а также выявлять разрушения берегов малой реки. На космических снимках будет возможным также изучать распределение классов почвенного покрова ООП в охранной зоне малой реки.

Достоинством предлагаемой технологии измерений координат характерной точки, определяемой по изменению кривизны русла в плане, вдоль русла малой реки по её стрежню, является малая трудоемкость. В режиме «Топо» можно измерять координаты любой точки по границам водоразделов и внутри водосборного бассейна. Достоинством является наглядность объектов, находящихся по берегам малой реки. Если еще учесть, что космические снимки приводятся в реальном режиме времени, то появляется практическая возможность изучения объектов и параметров самой малой реки в динамике после многократных измерений.

Список литературы / References

1. Асоян Д.С. Первые шаги в аэрокосмическом зондировании Земли в Институте географии РАН // Геоморфология. 2019. № 1. С. 103–108. DOI: 10.31857/S0435-428120191103-108.
2. Asoyan D.S. The first steps in the earth aerospace remote sensing in the Institute of Geography RAS // Geomorphology. 2019. № 1. P. 103–108 (in Russian).
3. Карты высот, уклонов. [Электронный ресурс]. URL: <http://votetovid.ru/#56.201192,48.95536,17z,51v30l> (дата обращения: 02.11.2019).
4. Maps of heights, slopes. [Electronic resource]. URL: <http://votetovid.ru/#56.201192,48.95536,17z,51v30l> (date of access: 02.11.2019) (in Russian).
5. Мазуркин П.М., Зверев В.И., Толстухин А.И. Статистическая гидрология: учебное пособие. Йошкар-Ола: МарГТУ, 2002. 274 с.

Mazurkin P.M., Zverev V.I., Tolstukhin A.I. Statistical Hydrology: A Training Manual. Yoshkar-Ola: MarGTU, 2002. 274 p. (in Russian).

4. Иванов А.А., Мазуркин П.М. Экологическая оценка водосборов малых рек (на примере Республики Марий Эл). Йошкар-Ола: МарГТУ, 2007. 108 с.

Ivanov A.A., Mazurkin P.M. Ecological assessment of catchments of small rivers (on the example of the Republic of Mari El). Yoshkar-Ola: MarGTU, 2007. 108 p. (in Russian).

5. Ермолаев О.П., Рысин И.И., Голосов В.Н. Картографирование овражной эрозии на востоке русской равнины // Геоморфология. 2017. № 2. С. 38–51. DOI: 10.15356/0435-4281-2017-2-38-51.

Ermolaev O.P., Rysin I.I., Golosov V.N. Mapping assessment of gully erosion in the east of the Russian plain // Geomorphology. 2017. № 2. P. 38–51 (in Russian).

6. Мальцев К.А., Шарифуллин А.Г. Морфологическая классификация малых водосборов в речных бассейнах осво-

енных равнин // Геоморфология. 2017. № 3. С. 76–87. DOI: 10.7868/S0435428117030075.

Maltsev K.A., Sharifullin A.G. Morphological typology of small catchments in river basins on cultivated plains // Geomorphology. 2017. № 3. P. 76–87 (in Russian).

7. Беркович К.М., Злотина Л.В., Турыкин Л.А. Особенности развития продольного профиля реки Оки в условиях антропогенных нарушений русла // Геоморфология. 2016. № 3. С. 3–11. DOI: 10.15356/0435-4281-2016-3-11.

Berkovitch K.M., Zlotina L.V., Turykin L.A. The features of the Oka river longitudinal profile development under the anthropogenic disturbances of the river bed // Geomorphology. 2016. № 3. P. 3–11 (in Russian).

8. Тарбеева А.М. О происхождении четковидной формы русел малых рек криолито-зоны // Геоморфология. 2018. № 1. С. 88–95. DOI: 10.7868/S043542811801008X.

Tarbeeveva A.M. On the Origin of Beaded River Channels Shape in the Permafrost Zone // Geomorphology. 2018. № 1. P. 88–95 (in Russian).

УДК 553.411:579.66

ИЗУЧЕНИЕ СОСТАВА СООБЩЕСТВА МИКРООРГАНИЗМОВ, ВЫДЕЛЕННОГО ИЗ КЕКА ФИЛЬТРАЦИИ ПОСЛЕ ПЕРЕРАБОТКИ СУЛЬФИДНОЙ ЗОЛОТОСОДЕРЖАЩЕЙ РУДЫ

Пашкевич Р.И., Хайнасова Т.С.

ФГБУН «Научно-исследовательский геотехнологический центр» Дальневосточного отделения
Российской академии наук (НИГТЦ ДВО РАН), Петропавловск-Камчатский, e-mail: nigtc@nigtc.ru

Золотодобывающая промышленность и ряд производств используют в своей деятельности цианиды и их производные, которые являются чрезвычайно токсичными химическими веществами. Из-за способности образовывать стойкие соединения с металлами и инактивировать ферменты дыхательной цепи проблема детоксикации цианидов актуальна для многих стран. Несмотря на токсичность этих соединений, некоторые организмы, в том числе бактерии, грибы, водоросли, растения и животные, способны к синтезу и ассимиляции цианидов. В настоящей работе представлены результаты высокопроизводительного секвенирования маркерного гена 16S рРНК сообщества микроорганизмов, выделенного из полученного при переработке золотосодержащей руды месторождения Аметистовое (Камчатский край) кека фильтрации. Анализ таксономического состава показал присутствие группы хорошо известных и некультивируемых микроорганизмов, представленных на уровне домена главным образом бактериями. В сообществе доминировали грамотрицательные мезофильные аэробные микроорганизмы, для которых характерен гетеротрофный способ питания. В составе доминирующих представителей сообщества были обнаружены как типичные бактерии, способные к ассимиляции и деструкции цианида и его производных (роды *Rhizobium*, *Sediminibacterium*, *Sphingomonas*, *Acidovorax*, *Acinetobacter*, *Hafnia*, *Pseudomonas* и др.), так и микроорганизмы, принимающие участие в окислительно-восстановительных реакциях трансформации серо- и металлосодержащих соединений (роды *Herminiimonas* и *Cupriavidus*). Преобладающим по количеству (32%) являлся род *Sediminibacterium*, роль которого в синтезе или деструкции цианидов неизвестна. Он, как и остальные представители анализируемого сообщества, недостаточно изучен на сегодняшний день. Данные микроорганизмы встречаются в природных и техногенных объектах, что не исключает их потенциальной роли в ассимиляции и диссимиляции цианосодержащих соединений.

Ключевые слова: высокопроизводительное секвенирование, цианиды, тиоцианаты, цианирование, бактерии

STUDY OF THE COMPOSITION OF THE MICROORGANISM COMMUNITY ISOLATED FROM THE FILTRATION CAKE OBTAINED FROM THE PROCESSING OF GOLD BEARING ORE

Pashkevich R.I., Khaynasova T.S.

Research Geotechnological Center, Far Eastern Branch of Russian Academy of Sciences
(RGC FEB RAS), Petropavlovsk-Kamchatsky, e-mail: nigtc@nigtc.ru

The gold mining industry and a number of industries use cyanides and their derivatives which are extremely toxic chemicals. The problem of cyanide detoxification is relevant for many countries because cyanides are able to form stable compounds with metals and inactivate respiratory chain enzymes. Despite the toxicity of cyanides many organisms including bacteria, fungi, algae, plants and some animals are able to synthesize and assimilate these compounds. This work presents the results of high-throughput sequencing of the marker gene 16S rRNA of a community of microorganisms isolated from the filtration cake obtained from the processing of gold ore from the Amethystovoye deposit (Kamchatka Krai). Analysis of the taxonomic composition showed a group of well-known and uncultivated microorganisms represented at the domain level mainly by bacteria. Gram-negative mesophilic aerobic heterotrophic microorganisms dominated the community. Typical bacteria capable of assimilation and destruction of cyanide and its derivatives (genera *Rhizobium*, *Sediminibacterium*, *Sphingomonas*, *Acidovorax*, *Acinetobacter*, *Hafnia*, *Pseudomonas*, etc.) as well as microorganisms involved in redox and sulfur- and metal transformation reactions (genera *Herminiimonas* and *Cupriavidus*) were found in the community. The genus *Sediminibacterium* whose role in the synthesis or destruction of cyanides is not known prevailed in number (32%). It like other representatives of the analyzed community is found in natural and technogenic objects which do not exclude their potential role in the assimilation and dissimilation of cyanide compounds.

Keywords: high throughput sequencing, cyanides, thiocyanates, cyanidation, bacteria

Основная часть золота, ежегодно добываемого во всем мире, в частности в США, Китае, Австралии, России, странах Европы и Африки, извлекается с помощью цианистого выщелачивания. Используемые цианиды являются чрезвычайно токсичными химическими соединениями, способными связываться

с металлами и инактивировать ферменты дыхательной цепи [1]. Помимо золотодобывающей промышленности, источника цианидов служат гальваническое, газовое, лакокрасочное и металлургическое производство, газификация угля. В связи с этим на сегодняшний день актуальна проблема их утилизации [2].

Соединения, содержащие циано-группу ($-\text{C}\equiv\text{N}$), в природе присутствуют в различных формах, но токсичность их зависит от способности образовывать свободный цианид (CN^-). Чаще они встречаются в виде металл-цианидных комплексов. Например, в виде легко диссоциируемых комплексов с никелем, медью и цинком или более устойчивых соединений с железом и кобальтом. Другие важные производные цианида представлены цианатом (OCN^-), образующимся при окислении цианида, тиоцианатом (SCN^-) – продуктом взаимодействия между свободной формой цианида и присутствующей в рудах восстановленной серой, нитрилами или циангидринами, органическими формами цианида. Пути разложения цианидов различны. Они основываются на реакциях окисления, восстановления, замещения, присоединения и гидролиза.

Несмотря на токсичность этих соединений, многие организмы, в том числе бактерии, грибы, водоросли, растения и некоторые животные, способны как синтезировать цианиды, так и ассимилировать. Обширная группа микроорганизмов использует в своем метаболизме CN^- и SCN^- в качестве источников энергии и серы и/или азота, что делает ее потенциальным объектом для использования в биологической детоксикации сточных вод и растворов металлургических производств. Такая способность обнаружена у бактерий родов *Arthrobacter*, *Pseudomonas* (*P. pseudoalcaligenes*, *P. fluorescens*, *P. stutzeri*, *P. putida*, *P. diminuta*), *Bacillus* (*B. pumilus*), *Acinetobacter* (*A. johnsonii*), *Halomonas* (*H. meridians*), *Klebsiella* (*K. pneumoniae*), *Ralstonia*, *Acidovorax*, *Escherichia*, *Methylobacterium*, *Thiobacillus* (*T. thioparus*), а также у *Alcaligenes xylosooxidans* subsp. *denitrificans*, *Paracoccus thiocyanatus*, *Thioalkalivibrio thiooxyanoxidans*, *Achromobacter xylosoxidans*, *Thiohalophilus thiooxyanoxidans* и др. При этом некоторые микроорганизмы, помимо цианидов, попутно окисляют тиосульфаты, тетратионаты, сульфиды и элементную серу, расширяя области возможного промышленного применения [2, 3].

Цель работы: исследовать таксономический состав сообщества микроорганизмов, выделенного из кека фильтрации после переработки сульфидной золотосодержащей руды и принимающего участие в ассимиляции и диссимиляции цианидов и извлечении золота, с помощью высокопроизводительного секвенирования.

Материалы и методы исследования

В работе использовали микробное сообщество, выделенное в НИГТЦ ДВО РАН из кека фильтрации, полученного после цианирования золотосодержащей руды месторождения Аметистовое (Камчатский край). Технологическая усредненная проба кека, светло-коричневого цвета, без запаха, влажностью 21,5% и сохраненная при температуре от -10 до $+30^\circ\text{C}$, имела содержание золота 0,39 г/т, серебра – 5,6 г/т.

Выделение микробной биомассы осуществляли в периодическом режиме в биореакторе с механическим перемешиванием путем добавления к кеку (225 г) дистиллированной воды (1800 мл) в соотношении Т:Ж 1:8. Культивирование происходило при средней температуре 27°C в течение 8 дней. На момент окончания процесса количество микроорганизмов в растворе, определяемое прямым подсчетом на микроскопе с фазово-контрастной насадкой «МИКРОМЕД 3 вар. 3-20» (Россия, Китай), насчитывало $3,6 \cdot 10^7$ кл/мл.

Таксономический состав выделенной биомассы исследовали с помощью высокопроизводительного секвенирования маркерного гена 16S рРНК, выполненного в Федеральном исследовательском центре «Фундаментальные основы биотехнологии» Российской академии наук (Москва) по договору о НИР [4].

В ходе молекулярно-биологических исследований ДНК выделяли следующим стандартным методом. Образец ресуспендировали в 200 мкл лизирующего буфера (0,15 М NaCl, 0,1 М Na_2EDTA (pH 8,0)), содержащего 15 мг/мл лизоцима. После чего инкубировали на водяной бане при 37°C в течение 60 мин, тщательно встряхивая лизат каждые 10 мин. Затем вносили аналогичное количество 200 мкл буфера (0,1 М NaCl, 0,5 М Tris-HCl (pH 8,0)) и додецилсульфат натрия до конечной концентрации 0,5%. Дальнейшее разрушение клеток осуществляли с помощью гомогенизатора FastPrep® 24 (MP Biomedicals, США) в соответствии с инструкциями производителя. После гомогенизации проводили обработку протеиназой К, которую добавляли до конечной концентрации 100 мкг/мл, после чего лизат инкубировали в течение 40 мин на водяной бане при 50°C . Эффективность лизиса определяли подсчетом клеток в световом микроскопе с фазово-контрастным устройством. Затем к лизату добавляли равный объем смеси фенол-хлороформ (фенол был насыщен

0,1 М Tris-HCl (pH 8,0); хлороформ представлял собой смесь хлороформа и изоамилового спирта в соотношении 24:1). Полученную смесь аккуратно перемешивали в течение 10–20 мин. Смесь центрифугировали при 12000 x g в течение 8 мин. Затем отбирали супернатант, который еще 2 раза аналогичным образом обрабатывали хлороформом. К получившемуся объему супернатанта добавляли 0,1 часть 3 М ацетат натрия (pH 5,2) и 3 части 96% спирта. Для осаждения ДНК данную смесь инкубировали при –20°C в течение ночи. Затем ДНК осаждали центрифугированием при 12000 x g в течение 20 мин. Осадок последовательно промывали и центрифугировали при 12000 x g в течение 8 мин сначала в 70% спирте, затем в 96%, после чего супернатант удаляли. Полученный осадок тщательно высушивали и растворяли в 30–50 мкл ТЕ буфера (10 mM Tris-HCl, 1 mM EDTA (pH 8,0)). Получившийся раствор ДНК очищали от примесей РНК путем инкубации с РНКазой А (конечная концентрация 0,2 мг/мл) в течение 2 ч при 37°C. Также ДНК очищали с помощью набора крупных фрагментов ДНК Wizard® DNA Clean-Up System (Promega, США). Качественная и количественная оценка полученных препаратов ДНК производилась на спектрофотометре DropSense-96® (Trinean, Бельгия). После лизиса буфер с раствором ДНК хранили при –20°C в течение приблизительно 70 сут [4].

Библиотеки для секвенирования были приготовлены в соответствии с ранее описанным протоколом. В качестве универсальных использовали праймеры Pro341F(5'-CCTACGGGNBGCASCAG-3') и Pro805R(5'-GACTACNVGGGTATCTAATCC-3'), которые позволяют амплифицировать вариатбельные участки генов 16S рРНК V3 и V4. Для дальнейшего секвенирования полученные ампликоны разделяли с помощью электрофореза в агарозном геле. Вырезанные из геля ампликоны очищали с помощью набора для очистки ДНК из геля и реакционных смесей Cleanup Standard (Евроген, Россия) [4].

Секвенирование проводили при помощи набора реагентов, обеспечивающего длину прочтения 300 нуклеотидов с каждого конца ампликона. Первичная обработка (фльтрация и демультиплексирование) полученных прочтений производилось при помощи ПО CLC Genomics Workbench 7.5 (Qiagen, США). Полученные данные были обработаны с помощью онлайн-сервиса SILVangs

(<https://www.arb-silva.de/ngs/>). Всего было проанализировано 59392 фрагмента средней длиной 486 нуклеотида [4].

Результаты исследования и их обсуждение

Оценка выделенных таксономических единиц в ходе метагеномного секвенирования 16S рРНК показала присутствие 181 известного рода и неклассифицированных групп микроорганизмов. Таксономическое разнообразие на уровне доменов было представлено практически только бактериями. Археи насчитывали лишь тысячные доли процента (рисунок, таблица). До вида идентифицировать микроорганизмы не удалось.

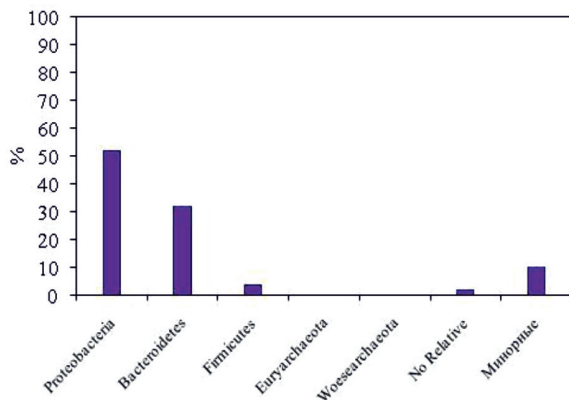
Дальнейшему анализу подвергали доминирующие таксономические единицы, доля которых составляла $\geq 1\%$. На уровне филумов бактерии характеризовались присутствием *Proteobacteria*, *Bacteroidetes* и *Firmicutes*. Причем на протеобактерии приходилось более 50%. Таксономический состав включал 5 классов, представленных главным образом *Bacteroidia*, *Betaproteobacteria* и *Alphaproteobacteria*, 9 порядков с доминированием *Chitinophagales*, *Rhizobiales* и *Burkholderiales*, 13 семейств с явным преобладанием *Chitinophagaceae* и 15 родов, среди которых преобладал *Sediminibacterium*.

Бактерии рода *Sediminibacterium* представлены строго аэробными грамотрицательными палочками, способными к гетеротрофному росту и выделяемыми из почв и различных водных объектов (сточные воды, пресная вода и др.) [5]. Информации о непосредственной причастности данных бактерий к синтезу или разрушению цианидов в литературе не имеется. Однако в результате того, что микроорганизмы были выделены сравнительно недавно и слабо изучены, о действительной их роли сложно судить.

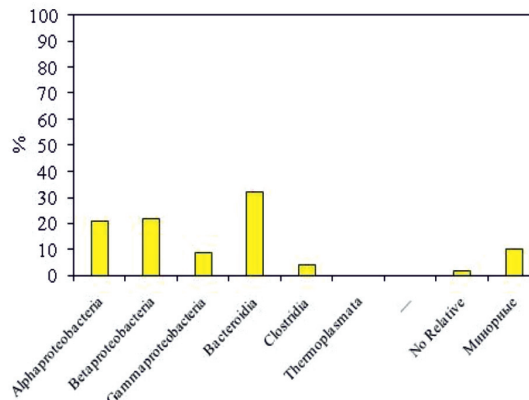
Микроорганизмы, которые имеют отношение к ассимиляции или разложению цианидов, в анализируемом сообществе были представлены в меньшем количестве. Так, бактерии рода *Rhizobium* – второго (11%) рода после *Sediminibacterium*, ранее выделяемые из перерабатывающих никель-содержащие цианиды биореакторов, способны к ассимиляции большого количества цианида [6]. Есть сведения о том, что идентифицированные в настоящей работе представители родов *Sphingomonas* (например,

S. paucimobilis) и *Acidovorax* способны к де-струкции цианида и тиоцианата. Немаловажная роль *Acinetobacter* подтверждается данными о способности разрушать широ-

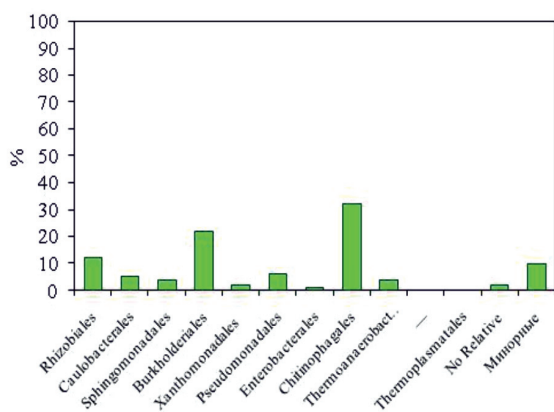
кий спектр цианидсодержащих соединений, включающих комплексные соединения цианидов с металлами, свободные цианиды и простые органические нитрилы [7].



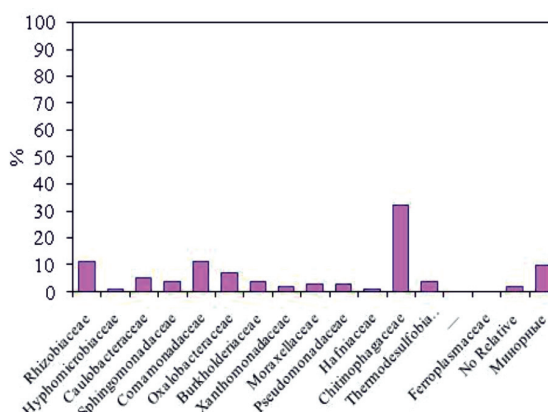
a)



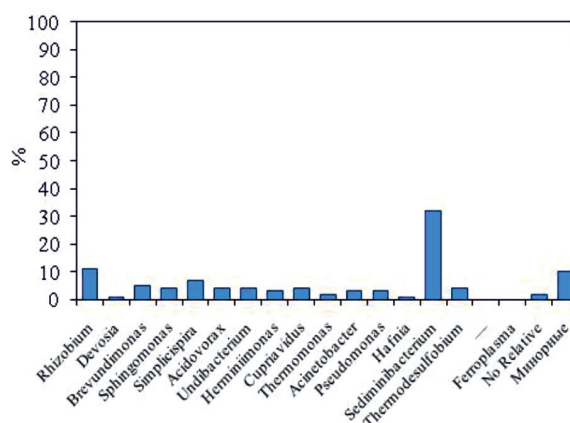
б)



в)



г)



д)

Таксономический состав сообщества микроорганизмов, выделенного из кека фильтрации при переработке золотосодержащей руды месторождения Аметистовое, на уровне филум (а), классов (б), порядков (в), семейств (г) и родов (д)

Таксономический состав представителей микробного сообщества, выделенного из кека фильтрации при переработке золотосодержащей руды месторождения Аметистовое

Домен	Филум	Класс	Порядок	Семейство	Род	Количество, %
<i>Bacteria</i>	<i>Proteobacteria</i>	<i>Alphaproteobacteria</i>	<i>Rhizobiales</i>	<i>Rhizobiaceae</i>	<i>Rhizobium</i>	11
				<i>Hyphomicrobiaceae</i>	<i>Devosia</i>	1
			<i>Caulobacterales</i>	<i>Caulobacteraceae</i>	<i>Brevundimonas</i>	5
		<i>Betaproteobacteria</i>	<i>Sphingomonadales</i>	<i>Sphingomonadaceae</i>	<i>Sphingomonas</i>	4
			<i>Burkholderiales</i>	<i>Comamonadaceae</i>	<i>Simplicispira</i>	7
				<i>Oxalobacteraceae</i>	<i>Acidovorax</i>	4
				<i>Oxalobacteraceae</i>	<i>Undibacterium</i>	4
				<i>Oxalobacteraceae</i>	<i>Hermiimonas</i>	3
				<i>Burkholderiaceae</i>	<i>Cupriavidus</i>	4
		<i>Gammaproteobacteria</i>	<i>Xanthomonadales</i>	<i>Xanthomonadaceae</i>	<i>Thermomonas</i>	2
			<i>Pseudomonadales</i>	<i>Moraxellaceae</i>	<i>Acinetobacter</i>	3
				<i>Pseudomonadaceae</i>	<i>Pseudomonas</i>	3
			<i>Enterobacteriales</i>	<i>Hafniaceae</i>	<i>Hafnia</i>	1
	<i>Bacteroidetes</i>	<i>Bacteroidetes</i>	<i>Chitinophagales</i>	<i>Chitinophagaceae</i>	<i>Sediminibacterium</i>	32
		<i>Clostridia</i>	<i>Thermoanaerobacteriales</i>	<i>Thermodesulfobiaceae</i>	<i>Thermodesulfobium</i>	4
<i>Archaea</i>	<i>Firmicutes</i>	–	–	–	–	0,003
	<i>Woesearchaeota (DHVEG-6)</i>	<i>Thermoplasma</i>	<i>Thermoplasmales</i>	<i>Ferroplasmaceae</i>	<i>Ferroplasma</i>	0,003
No Relative	No Relative	No Relative	No Relative	No Relative	No Relative	2
Доля остальных минорных членов сообщества						9,994

В исследуемом сообществе выявлен род *Hafnia*. Известно, что у бактерии (*H. alvei*) данного рода обнаружена роданаза – внутриклеточный фермент, катализирующий образование тиоцианата из тиосульфата и цианида, что подтверждает ее причастность к деструкции последнего. Также совсем недавно стало известно об участии бактерий рода *Thermomonas*, выделенных из сточных вод и систем биоочистки отходов после коксования, в биодеструкции цианида [8]. Стоит отметить, что род *Devosia* был выявлен в составе альгобактериального сообщества, разлагающего тиоцианат [9].

Обнаруженные в сообществе кека фильтрации представители рода *Pseudomonas* играют двойную роль, так как участвуют как в синтезе, так и в разрушении цианида [10, 11].

Некоторые присутствующие микроорганизмы могут быть связаны не столько с метаболизмом цианидсодержащих соединений, сколько с разрушением сульфидов и участвовать в окислительно-восстановительных реакциях с металлами. Например, представитель рода *Herminiimonas* (*H. arsenitoxidans*) способен к окислению арсенита [12]. Бактерия рода *Cupriavidus* (*C. metallidurans*), обладающая устойчивостью в отношении ряда катионов металлов (меди, цинка, серебра, кадмия, свинца и золота), доминирует в формирующихся на частицах золота биопленках. Это, вероятно, связано с ее участием в биоминерализации металла [13].

Отдельно необходимо отметить присутствие в сообществе анаэробных хемолитотрофных бактерий рода *Thermodesulfobium*, относящихся к сульфатредукторам, которые были недавно выделены из кислых термальных источников Камчатки [14]. Поскольку сульфатредукторы обладают способностью образовывать тиосульфат, нельзя исключать их потенциальное участие в деструкции цианидов.

Неизвестна роль остальных бактерий родов *Undibacterium*, *Brevundimonas* и *Simplicispira*, входящих в состав проанализированного сообщества, в деструкции или синтезе цианидов. Однако в связи с выделением данных микроорганизмов из различных природных источников, таких как почвы, питьевые и промышленные сточные воды и активный ил [15], их присутствие может быть связано с широкой областью распространения.

Среди выявленных доминирующих бактерий большая часть принадлежала к из-

вестным охарактеризованным родам. Микроорганизмы были представлены в основном грамотрицательными мезофильными аэробными палочками, для которых характерен гетеротрофный способ питания, за исключением рода *Thermodesulfobium* – автотрофных сульфатредуцирующих бактерий.

Заключение

На основании проведенного высокопроизводительного секвенирования 16S рРНК сообщества микроорганизмов, выделенного из кека фильтрации после цианирования золотосодержащей руды месторождения Аметистовое, анализ таксономического состава показал обширную группу хорошо известных и некультивируемых микроорганизмов, представленных главным образом грамотрицательными мезофильными аэробными бактериями, для которых характерен гетеротрофный способ питания.

В составе доминирующих представителей сообщества были обнаружены как типичные бактерии, способные к синтезу и деструкции цианида и его производных (роды *Rhizobium*, *Sediminibacterium*, *Sphingomonas*, *Acidovorax*, *Acinetobacter*, *Hafnia*, *Pseudomonas* и др.), так и микроорганизмы, принимающие участие в окислительно-восстановительных реакциях трансформации серо- и металлсодержащих соединений (роды *Herminiimonas* и *Cupriavidus*). Преобладающим по количеству (32%) являлся род *Sediminibacterium*, роль которого в синтезе или разложении цианидов не известна. Однако он, как и остальные представители анализируемого сообщества, встречается в природных и техногенных объектах, что не исключает потенциальной роли в ассимиляции и диссимиляции циансодержащих соединений.

Авторы благодарят к.б.н., заведующего лабораторией хемолитотрофных микроорганизмов ФИЦ «Фундаментальные основы биотехнологии» РАН А.Г. Булаева за методическую помощь и консультации, а также сотрудников НИГТЦ ДВО РАН А.В. Киореску, В.О. Мусихина и А.С. Хомченкову за техническую помощь в проведении работ по выделению микроорганизмов.

Список литературы / References

1. Luque-Almagro V.M., Moreno-Vivian C., Roldán M.D. Biodegradation of cyanide wastes from mining and jewellery industries. Current Opinion in Biotechnology. 2016. vol. 38. P. 9–13. DOI: 10.1016/j.copbio.2015.12.004.
2. Григорьева Н.В., Кондратьева Т.Ф., Красильникова Е.Н., Каравайко Г.И. Механизм деструкции цианида и тиоцианата ассоциацией штаммов *Pseudomonas putida*

- и *Pseudomonas stutzeri* // Микробиология. 2006. Т. 75. № 3. С. 320–328.
- Grigor'eva N.V., Kondrat'eva T.F., Krasil'nikova E.N., Karavaiko G.I. Mechanism of cyanide and thiocyanate decomposition by an association of *Pseudomonas putida* and *Pseudomonas stutzeri* strains. Microbiology. 2006. vol. 75. no. 3. P. 266–273. DOI: 10.1134/S0026261706030040.
3. Gould W.D., King M., Mohapatra B.R., Cameron R.A., Kapoor A., Koren D.W. A critical review on destruction of thiocyanate in mining effluents. Minerals Engineering. 2012. vol. 34. P. 38–47. DOI: 10.1016/j.mineng.2012.04.009.
4. Булаев А.Г., Лебедева Е.В. Заключительный отчет по договору на выполнение научно-исследовательских работ № ДВ-1-2016 «Изучение микробного сообщества из пульпы реактора биоокисления хвостов цианирования». 2016. 35 с.
- Bulaev A.G., Lebedeva E.V. Final report on the research contract No. DV-1-2016 «Study of the microbial community from the pulp of the cyanidation tail biooxidation reactor». 2016. 35 p. (in Russian).
5. Kim Y., Kim B., Kang K., Ahn T.-Y. *Sediminibacterium aquarii* sp. nov., isolated from sediment in a fishbowl. International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology. 2016. vol. 66. P. 4501–4505. DOI: 10.1099/ijsem.0.001380.
6. Quan Z.-X., Bae H.-S., Baek J.-H., Chen W.-F., Im W.-T., Lee S.-T. *Rhizobium daejeonense* sp. nov. isolated from a cyanide treatment bioreactor. International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology. 2005. vol. 55. P. 2543–2549. DOI: 10.1099/ijse.0.63667-0.
7. Finnegan I., Toerien S., Abbot L., Smit F., Raubenheimer H.G. Identification and characterisation of an *Acinetobacter* sp. capable of assimilation of a range of cyano-metal complexes, free cyanide ions and simple organic nitriles. Applied Microbiology Biotechnology. 1991. vol. 36. P. 142–144. DOI: 10.1007/BF00164715.
8. Ju J.-H., Kim J.-S., Lee D.-H., Jeon J.H., Heo S.-Y., Seo J.-W., Kim C.H., Park D.-S., Oh B.-R. *Thermomonas aquatica* sp. nov., isolated from an industrial wastewater treatment plant. International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology. 2019. vol. 69. Issue 11. DOI: 10.1099/ijsem.0.003630.
9. Ryu B.-G., Kim W., Nam K., Kim S., Lee B., Park M.S., Yang J.-W. A comprehensive study on algal-bacterial communities shift during thiocyanate degradation in a microalga-mediated process. Bioresource Technology. 2015. vol. 191. P. 496–504. DOI: 10.1016/j.biortech.2015.03.136.
10. Lenney W., Gilchrist F.J. *Pseudomonas aeruginosa* and cyanide production. European Respiratory Journal. 2011. vol. 37. no 3. P. 482–483. DOI: 10.1183/09031936.00122810.
11. Huertasa M.J., Saez L.P., Roldan M.D., Luque-Almagro V.M., Martinez-Luque M., Blasco R., Castillo F., Moreno-Vivian C., Garcia-Garcia I. Alkaline cyanide degradation by *Pseudomonas pseudoalcaligenes* CECT5344 in a batch reactor. Influence of pH. Journal of Hazardous Materials. 2010. vol. 179. P. 72–78. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2010.02.059.
12. Koh H.-W., Hur M., Kang M.-S., Ku Y.-B., Ghai R., Park S.-J. Physiological and genomic insights into the lifestyle of arsenite-oxidizing *Herminiimonas arsenitoxidans*. Scientific Reports. 2017. vol. 7. no. 15007. P. 1–12. DOI: 10.1038/s41598-017-15164-4.
13. Reitha F., Etschmann B., Grossef C., Moorsg H., Benotmaneg M.A., Monsieurg P., Grassh G., Doonani C., Vogtj S., Laij B., Martinez-Criadok G., Georgel G.N., Niesf D.H., Mergeay M., Pringc A., Southamm G., Bruggera J. Mechanisms of gold biomineralization in the bacterium *Cupriavidus metallidurans*. Proceedings of the National Academy of Sciences. 2009. vol. 106. no. 42. P. 17757–17762. DOI: 10.1073/pnas.0904583106.
14. Frolov E.N., Kublanov I.V., Toshchakov S.V., Samarov N.I., Novikov A.A., Lebedinsky A.V., Bonch-Osmolovskaya E.A., Chernyh N.A. *Thermodesulfobium acidiphilum* sp. nov., a thermoacidophilic, sulfate-reducing, chemoautotrophic bacterium from a thermal site. International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology. 2017. vol. 67. no. 5. P. 1482–1485. DOI: 10.1099/ijsem.0.001745.
15. Lu S., Ryu S.H., Chung B.S., Chung Y.R., Park W., Jeon C.O. *Simplicispira limi* sp. nov., isolated from activated sludge. International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology. 2007. vol. 57. P. 31–34. DOI: 10.1099/ijse.0.64566-0.

УДК 551.793:561.26(571.645)

УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ ОТЛОЖЕНИЙ МОРСКИХ ИЗОТОПНЫХ СТАДИЙ 11-9 ОСТРОВА КУНАШИР (КУРИЛЫ)^{1,2,3}Пушкар В.С., ^{1,3}Микишин Ю.А.¹ФГБУН «Дальневосточный геологический институт» ДВО РАН, Владивосток,
e-mail: vpushkar@mail.ru;²ФГБОУ ВО «Владивостокский государственный университет экономики и сервиса», Владивосток;³ФГБОУ ВО «Дальневосточный федеральный университет», Владивосток

Палеоклиматические колебания и изменения уровня моря в среднем плейстоцене записаны в отложениях верхней части головнинской свиты (о-в Кунашир, Курильская островодужная система). Среднеплейстоценовый возраст отложений свиты установлен с помощью палеомагнитного и диатомового анализов. Многочисленные прослои тефры были использованы в качестве маркеров возраста и корреляции. Отложения образовались в межледниково-ледниковые климатические и трансгрессивно-регрессивные циклы, соответствующие 11-9 морским изотопным стадиям (МИС). Была реконструирована последовательность смен морских и континентальных условий осадконакопления. Во время первой трансгрессивной фазы (МИС-11) уровень моря был на 20–25 м выше современного уровня моря (в.с.у.м.) и до 5 м выше во второй трансгрессивной фазе (МИС-9). Слои туфа и перерывы в осадконакоплении соответствуют регрессивной фазе (МИС-10). Скорость тектонического поднятия острова Кунашир оценивается в 0,3–0,4 мм / год. Различия в условиях формирования отложений во время МИС-11 (424–374 тыс. л.н.) и МИС-9 (370–337 тыс. л.н.) позволяют предположить, что теплый климат и высокое положение уровня моря в течение чрезвычайно длинного межледникового периода МИС-11 в истории Земли были вызваны не только вариациями солнечной инсоляции, связанными с орбитальными изменениями Земли. В этот период произошли лишь слабые орбитально обусловленные изменения в распределении солнечной инсоляции на поверхности Земли. Условия среды МИС-11 вызваны иными причинами, которые, возможно, были связаны с изменениями уровня концентрации углекислого газа в атмосфере, регистрирующиеся высокой фотосинтетической палеопродуктивностью диатомовых водорослей.

Ключевые слова: диатомы, палеоклимат, уровень моря, Курилы, МИС-11-9, средний плейстоцен**CONDITIONS OF THE KUNASHIRI ISLAND (KURILE) DEPOSITION OF MARINE ISOTOPE STAGES 11-9**^{1,2,3}Pushkar V.S., ^{1,3}Mikishin Yu.A.¹Far East Geological Institute FEB RAS, Vladivostok, e-mail: vpushkar@mail.ru;²Vladivostok State University Economy and Service, Vladivostok;³Far East Federal University, Vladivostok

The middle Pleistocene paleoclimatic fluctuations and sea-level changes were recorded in the deposits of upper units of the Golovnin Formation (Kunashiri Island, Kurile Arc System). The middle Pleistocene age of the Formation deposits was established by paleomagnetic and diatom analyses. Numerous tephra beds were used as age and correlation markers. The deposits were formed during interglacial-glacial climatic and transgressive-regressive cycles, corresponding to 11-9 marine isotopic stages (MIS). Evolution of interbedded marine and terrestrial sedimentary environments was reconstructed. The sea-level was raised to 20-25 m above modern sea level (a.m.s.l.) in the first transgressive phase time (MIS-11), and to 5 m a.m.s.l. in the second transgressive phase time (MIS-9). The tuff deposits and hiatuses are corresponded to regressive phase (MIS-10). The Kunashiri tectonic uplift rate was estimated at 0,3-0,4 mm/year. The differences in paleoenvironment between MIS-11(424-374 kyr) and MIS-9 (337-300 kyr) allows us to suppose that warm climate and high sea-level position during extraordinarily long interglacial period MIS 11 in the Earth's history were not forced only by Earth's orbital changes and solar insolation. During this period there were weak orbital induced changes in the distribution of solar energy reaching the Earth. The MIS-11 condition rendered the climate susceptible to other forcing, may be with changes in the high level of atmospheric carbon dioxide recorded by a very high photosynthetic diatom paleoproductivity.

Keywords: diatoms, paleoclimate, sea level, Kurile, MIS-11-9, middle Pleistocene

Четвертичный период истории Земли является периодом мощных оледенений. Принято считать, что чередование экспансии и распада полярных ледниковых покровов регулируется изменениями орбитальных параметров Земли (теория Миланковича), отраженных вариациями изотопно-кислородной кривой [1]. Однако эта теория не может объяснить ряд во-

просов по несоответствию орбитальных изменений, а следовательно, и солнечной инсоляции ряду морских изотопных стадий (МИС). В частности, это проблема 11-й изотопной стадии [2–4]. В.А. Большаков [2, 3] отмечает, что причина в том, что в качестве управляющего инсоляционного сигнала рассматривается среднемесячная или суточная инсоляция под одной

широтой. С этих позиций В.А. Большаков постулирует, что эксцентриситетный инсоляционный сигнал, близкий к 100-тысячному циклу, «...является в данном случае как бы спусковым крючком, запускающим работу резонансного механизма климатической системы» [2, с. 243]. Но и новая концепция не позволяет объяснить масштабность изменений среды времени 11-й МИС, поскольку амплитуды орбитальных изменений этого времени были не столь значительны. Что же могло вызвать коллапс ледниковых покровов во время 11-й МИС [5]? Многие исследователи пришли к выводу, что, кроме орбитальных изменений, на климатическую систему Земли сильнейшее влияние оказывает концентрация CO_2 в атмосфере Земли, приводящая к «парниковому эффекту» и сокращению объемов ледниковых покровов. Но изменения концентрации CO_2 не связаны с орбитальными параметрами Земли и могут с ними не совпадать. Скорее всего, глобальные углеродные циклы имеют свою собственную причинно-следственную связь, которая не обусловлена ледниковой периодизацией как первопричиной [6–8]. В связи с этим возникла и проблема изменений уровня Мирового океана во время самой экстремально теплой и длительной МИС-11 (424–374 тыс. л.н. – тыс. л.н., миндель-рисс) за всю историю плейстоцена. Существуют три основные точки зрения. Одна из них базируется на положении береговых линий в разрезах морских террас на тектонически стабильном острове Барбадос и предполагающая повышение уровня моря во время МИС-11 не менее чем на +21 м по сравнению с современным [9]. Аналогичные данные получены по Аляске и Курильским островам [10]. Другая точка зрения, основанная на аналоговых моделях изменения объемов ледников планеты и их таяния, сводится к утверждению о соответствии уровня моря времени МИС-11 в голоцене или уровню межледниковой МИС-5 [4, 11, 12]. Третья позиция касается возможного катастрофического обрушения антарктических ледников во время ледникового коллапса МИС-11 и возникновения мегацунами, приведшего к формированию высокого положения береговых линий на о. Барбадос, что вызвало обширную и острую дискуссию [5, 13].

Цель исследования: определение условий формирования осадков и выделение палеогеографических событий, соответствующих глобальным изменениям природной

среды среднего плейстоцена, выяснение возможных причин палеоклиматических особенностей и колебаний уровня моря во время резко контрастирующих между собой межледниковых МИС-11 (424–374 тыс. л.н.) и МИС-9 (337–300 тыс. л.н.).

Материалы и методы исследования

Основным резервуаром накопления любых форм углерода, поглощенного из атмосферы, служит Мировой океан. Главную роль в этом биогеохимическом круговороте углерода играют микроскопические диатомовые водоросли, обеспечивающие свою жизнедеятельность и высокую продуктивность в результате фотосинтеза. Общеизвестно, что диатомеи создают более 50% всей органической массы Мирового океана, поглощая при этом около 10 млрд т углерода ежегодно. Поэтому количество панцирей диатомей в осадках океана может отражать палеопродуктивность диатомей, связанную с концентрацией CO_2 в атмосфере. Это и послужило основанием выбора диатомового анализа как основного рабочего инструмента исследований [10, 14]. При интерпретации палеоклиматических условий и глубины формирования прибрежно-морских отложений использованы данные по экологии диатомей [10, 14, 15]. В качестве возрастной модели применена зональная диатомовая шкала Северной Пацифики [10] и кислородно-изотопная шкала, построенная по фораминиферам [1].

Материалом для работы послужили образцы, отобранные в отложениях верхней части головнинской свиты о-ва Кунашир от мыса Пузанова (43°52′05″с.ш., 145°36′07″в.д.) до устья ручья Белозерский (43°51′03″с.ш., 145°34′45″в.д.), обнажающиеся в Головинском клифе, а также в карьере у подножья горы Отдельная по левому берегу реки Лесная (44°00′57″с.ш., 145°46′37″в.д. (рис. 1).

Результаты исследования и их обсуждение

Верхняя подсвита (высота обнажений до 50 м) сложена моноклинально залегающими (азимут падения 80–90°, угол падения 5–10°) туфоалевритами, туфодиатомитами, песками и алевритами, переслаивающимися с пепловыми прослоями и пачками тефроидов (рис. 2). Перекрывается подсвита аллювиально-озерными отложениями белозерских слоев верхнего плейстоцена (alQ_{III}) и лимническими фациями голоцена (lmQ_{IV}) [10].



Рис. 1. Схема расположения изученных разрезов

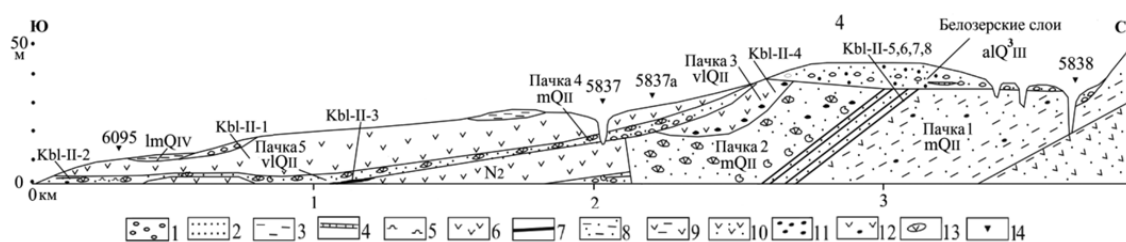


Рис. 2. Строение и состав верхней части головнинской свиты о-ва Кунашир (по [10] с небольшими изменениями): 1 – галька; 2 – песок; 3 – алеврит; 4 – торф; 5 – диатомит; 6 – туф; 7 – вулканический пепел; 8 – алеврит песчанистый, 9 – туфоалеврит; 10 – туфопесчаник; 11 – пемзовая галька; 12 – пемзовый туф; 13 – вулканическая бомба; 14 – изученные разрезы

Литостратиграфия. В верхней под-свите выделено пять литологических пачек отложений:

Пачка 1 (mQII, разрез 5838 и вдоль основания клифа, мощность до 45 м) представлена переслаиванием алевритов и мелкозернистого песка с пемзовой галькой. Венчает кровлю пачки туфоалеврит мощностью до 2 м.

Пачка 2 (mQII, разрез 5837a по основанию клифа, мощность до 25 м) согласно залегает на отложениях пачки 1. Состоит из мелкозернистых песков с раковинами

морских моллюсков в основании. В нижней части пачки прослеживаются четыре слоя риолитового пепла (SiO_2 – 70,66-73,73 %) толщиной 5–7 см – Kbl-II-5, 6, 7, 8.

Пачка 3 (vlQII, мощность до 16 м) согласно перекрывает отложения пачки 2 и представлена пемзовым туфом (Kbl-II-4). В нижней части пачки обильна хорошо окатанная галька дацитового состава (SiO_2 – 66,96, K_2O – 0,58 %).

Пачка 4 (mQII, мощность до 6 м) не-согласно перекрывает плиоценовые туфы и отложения пачек 2 и 3 (разрезы 5837, 6095)

и сложена мелкозернистым песком с галькой, переходящим к югу клифа в илистый песок. В подошве и кровле пачки лежат два слоя вулканического пепла дацит-риолитового состава Kbl-II-3 и Kbl-II-2 (толщина 0,5 м и 0,25 м).

Пачка 5 (vIQII, мощность до 20 м, разрезы 5837 и 6095) согласно перекрывает отложения пачки 4 и состоит из пемзового туфа Kbl-II-1 (SiO_2 – 1,99%) с низким содержанием K_2O (0,49–0,66%). Пачка 5 несогласно перекрыта лимническими отложениями голоцена (ImQIV).

Возрастная модель. По комплексу вымерших диатомей в среднем плейстоцене [10] (*Thalassiosira gravida* Cleve var. *fossilis* Jousé, *Th. nidulus* (Tempere et Brun) Jousé var. *nidulus*, *Th. jouseae* Akiba, *Actinocyclus ochotensis* var. *fossilis* Pushkar, *Proboscia curvirostris* (Jousé) Jordan et Priddle, *Stephanopyxis* (*Pyxidicula*) *dimorpha* Schrader и встречаемости зонального вида *Proboscia barboi* (Brun) Jordan et Priddle изученные отложения относятся к диатомовой зоне *Proboscia barboi* с возрастом 0,55–0,28 млн лет [10]. Корректировать возраст позволяет комплекс силикофлагеллят *Paradictyocha polyactis* (Ehr.) Freng. f. *completa* Freng., *Distephanus speculum* (Ehr.) Haeckel var. *speculum*, *D. speculum* var. *septenarius* (Ehr.) Jorg., *D. octonarius* (Ehr.) Defl. var. *polyactis* (Jorg.) Gleser и *Dictyocha fibula* (Ehr.) var. *fibula* (в сумме 7%), встреченных в отложениях нижней части разреза 5800 (13,0–6,7 м). Это указывает на их формирование в пределах миндель-рисского межледникового (424–374 тыс.л.н., МИС-11). Установлено также, что прослой Kbl-II-8 с высоким содержанием K_2O является региональным маркером среднего плейстоцена [10].

Биостратиграфия. Наиболее полно комплекс диатомей изучен в отложениях разреза 5800. В его основании (13–9,8 м от его подошвы) выходит пачка туфодиатомитов ($\text{SiO}_{2\text{заморф.}}$ – 74,3%). Средняя часть разреза (9,8–5,0 м) сложена тефрогенными алевритами ($\text{SiO}_{2\text{заморф.}}$ – 18,96%) с риолитовыми пепловыми прослоями толщиной до 4 см. Верхняя часть (1–5 м) представлена переслаиванием алевритов и песков с пемзой и прослоями дацитовых пеплов (толщина до 1–2 см). Кровля разреза характеризуется супесью и почвой (1–0 м). Пепловые прослои по химическому составу сопоставимы с пепловыми прослоями разрезов Головинского клифа (пеплы Kbl), что послужило основанием прямой корреляции комплексов диатомей разреза

5800 с комплексами пачек Головинского клифа [10].

Комплекс I (13,0–9,8 м) Доминируют планктонные *Actinocyclus curvatulus* Janisch (10,7%), *A. divisus* (Grunow) Hustedt (19%), а из сублиторальных обильны северо-бореальный *Delphineis kippae* Sancetta (12,3%) и южно-бореальный *Hyalodiscus obsoletus* Sheshukova-Poretskaya (33%). В отложениях встречены силикофлагелляты *Paradictyocha polyactis* (Ehr.) Freng. f. *completa* Freng., *Distephanus speculum* (Ehr.) Haeckel var. *speculum*, *D. speculum* var. *septenarius* (Ehr.) Jorg., *D. octonarius* (Ehr.) Defl. var. *polyactis* (Jorg.) Gleser и *Dictyocha fibula* (Ehr.) var. *fibula* (в сумме 7%). Важной чертой комплекса является высокая встречаемость южно-бореальных и субтропических океанических диатомей *Coscinodiscus asteromphalus* Ehrenberg, *C. radiatus* Ehrenberg и *C. perforatus* Ehrenberg (в сумме до 47,5%). Абсолютная численность створок диатомей в 1 г осадка достигает 20 млн.

Комплекс II (9,8–6,7 м). Вымершие виды составляют 6,7%. Среди аркто- и северо-бореальных диатомей доминируют неритические виды *Thalassiosira gravida* Cleve var. *gravida* (24%), *Th. kryophila* (Grunow) Jorgensen (7,7%), а среди сублиторальных – северо-бореальные *Paralia sulcata* (Ehrenberg) Cleve (9%) и *Delphineis kippae* Sancetta (17%), а также южно-бореальный *Hyalodiscus obsoletus* Sheshukova-Poretskaya (21%). Абсолютная численность створок диатомей в 1 г осадка колеблется в пределах 10–16 млн.

Комплекс III (6,7–5,0 м). Вымершие виды сохраняют численность 1–2%, остальные вымершие виды единичны. Структуру формируют неритические холодноводные *Thalassiosira gravida* Cleve var. *gravida* (11,7%), *Th. kryophila* (5%) (Grunow) Jorgensen, широкобореальная *Th. eccentrica* (Ehrenberg) Cleve (12,2%) и *Chaetoceros* spp. (6,3%) (споры). Сублиторальная группа представлена *Paralia sulcata* (Ehrenberg) Cleve var. *sulcata* (8,3%), *Delphineis kippae* Sancetta (15,3%), *Hyalodiscus obsoletus* Sheshukova-Poretskaya (21,6%). Абсолютная численность створок в 1 г осадка варьирует от 0,2 до 7 млн.

Комплекс IV (5,0–1,0 м). Вымерших видов около 2%. Доминируют сублиторальный южно-бореальный *Hyalodiscus obsoletus* Sheshukova-Poretskaya (36–60%), северо-бореальные *Paralia sulcata* (Ehrenberg) Cleve (18%), *Delphineis kippae* Sancetta (12,7%), а также океанические южно-боре-

альные и субтропические *Actinocyclus divisus* Grun.) Hustedt (8%), *Coscinodiscus asteromphalus* Ehrenberg (15,6%), *C. radiatus* Ehrenberg и *C. perforatus* Ehrenberg (в сумме до 17,2%). Следует отметить и участие тропического вида *Azpeitia nodulifera* (A. Sm.) G.A. Fryxell et Sims (2,2%). Из северо-бореальных диатомей заметны планктонные *Thalassiosira gravida* Cleve var. *gravida* (11,1%) и *Actinocyclus curvatulus* Janisch (7,3%). Абсолютная численность створок диатомей в 1 г осадка достигает 15 млн.

В этих отложениях встречены силикофлагелляты *Paradietyocha polyactis* (Ehr.) Freng. f. *completa* Freng., *Distephanus speculum* (Ehr.) Haeckel var. *speculum*, *D. speculum* var. *septenarius* (Ehr.) Jorg., *D. octonarius* (Ehr.) Defl. var. *polyactis* (Jorg.) Gleser и *Dicetyocha fibula* (Ehr.) var. *fibula* (в сумме 7%).

В стратотипе головнинской свиты диатомей не столь обильны, как в отложениях разреза 5800 из-за участия в отложениях вулканического пирогенного материала, влияющего на концентрацию диатомей (до 3–4 млн створок в 1 г осадка). Лишь только отложения разрезов 5838 и 6095 содержат до 10–15 млн створок в 1 г осадка.

В разрезе 5838 (пачка 1, рис. 2) встречаются те же вымершие диатомей и силикофлагелляты, что и в отложениях разреза 5800. В нижней части (9,10–7,8 м от кровли) доминируют неритические *Thalassiosira gravida* Cleve var. *gravida* (14%) и *Bacterosira fragilis* (Gran) Gran (*Bacterosira bathyomphala* (Cleve) Syvertsen et Hasle) (10%). В средней части разреза (7,8–5,0 м) диатомей редки, а в верхней (5,0–2,0 м) значительная роль принадлежит стеногалинному планктону – *Coscinodiscus asteromphalus* Ehrenberg var. *asteromphalus* (12%), *C. radiatus* Ehrenberg (5,5%), *C. perforatus* Ehrenberg (4%). Зональный вид *Proboscia barboi* (Brun) Jordan et Priddle достигает численности 1,5–2%. Комплекс диатомей хорошо коррелируется с комплексом 1 разреза 5800.

В разрезе пачки 2 (5837а, рис. 2) Головинского клифа диатомей редки (0,2–2,5 млн створок в 1 г осадка) и представлены в основном сублиторальными диатомеями (82,7%), среди которых доминируют холодноводные сублиторальные *Paralia sulcata* var. *sulcata* (Ehrenberg) Cleve и *Paralia sulcata* var. *biseriata* Grunow (до 38%). Встречены и пресноводные диатомей родов *Navicula* Bory, *Pinnularia* Ehrenberg, *Aulacoseira* Thwaites, *Achnanthes* Bory (12,8%).

Отложения пачки 3 (пемзовый туф) диатомей не содержат.

Отложения пачки 4 изучены в разрезах 5837 и 6095. В разрезе 5837 вымершие диатомей единичны. Только *Proboscia barboi* (Brun) Jordan et Priddle достигает 2%. Доминантами комплекса (9,5–6,6 м от поверхности клифа) являются сублиторальные *Paralia sulcata* var. *sulcata* (Ehrenberg) Cleve и *Paralia sulcata* var. *biseriata* Grunow (в сумме до 86,8%). Встречены и умеренно-тепловодные сублиторальные *Hyalodiscus obsoletus* Sheshukova-Poretskaya, *Lyrella lyra* (Ehrenberg) Karajeva, *Actinocyclus octonarius* Ehrenberg, *Arachnoidiscus ehrenbergii* Ralfs (в сумме до 20%) и океанические *Actinocyclus curvatulus* Janisch, *Coscinodiscus radiatus* Ehrenberg (в сумме до 7,5%). Выше по разрезу диатомей очень редки.

В разрезе 6095 комплекс диатомей характеризуется высокой значимостью двух вымерших видов *Proboscia*: *P. curvirostris* (Jousé) Jordan et Priddle (12,5%) и *P. barboi* (Brun) Jordan et Priddle (7,5%). В его экологической структуре важную роль играют тропические и субтропические диатомей (в сумме до 29,8%): *Azpeitia nodulifera* (A. Schmidt) G.A. Fryxell et P.A. Sims, *Thalassiosira lineata* Jousé, *Th. oestrupii* (Ostenfeld) Proschkina-Lavrenko et Hasle (*Shionodiscus oestrupii* (Ostenfeld) A.J. Alverson, S.-H. Kang & E.C. Theriot), *Coscinodiscus asteromphalus* Ehrenberg, *C. radiatus* Ehrenberg и *C. perforatus* Ehrenberg. Абсолютная численность створок диатомей в 1 г осадка достигает 15 млн. Комплекс отражает более глубоководные отложения, чем одновозрастный комплекс разреза 5837.

Палеогеографическая интерпретация. Формирование среднеплейстоценовых толщ о. Кунашир сопровождалось сильными выбросами пирокластики. Активная вулканическая деятельность происходила синхронно с вулканами о. Хоккайдо и обусловила высокие скорости седиментации, что способствовало формированию мощных вулканогенно-осадочных толщ, запечатлевших в себе как этапы вулканической активности, так и палеоклиматические изменения и колебания уровня моря [10].

Согласно возрастной модели выделенные комплексы диатомей укладываются во временной диапазон 11–9 МИС зоны *Proboscia barboi*. Комплексы, соответствующие МИС-11, установлены в разрезе 5800. Для них характерно присутствие зональных вымерших видов (6–7%) и морских планктонных субтропических и тропических

диатомей (43–51%). Если учесть, что современные ассоциации диатомей в этом тихоокеанском регионе содержат 17% тепловодных видов (среднегодовая температура поверхностных вод составляет 7°C), то следует допустить, что среднегодовая температура вод времени формирования отложений МИС-11 была на 8–10° выше современной [10]. Отложения средней части разреза (комплекс III) характеризуются падением численности тепловодных диатомей и снижением количества створок в 1 г осадка до 0–0,2 тыс. створок, что указывает на похолодание климата и свидетельствует о колебании палеоклиматических параметров в течение самой МИС-11, что соответствует и глобальной климатической ритмике [1]. Аналогичные изменения комплексов отражены в отложениях пачки 1 в разрезе 5838, имеющие хорошую корреляцию по вулканическим пепловым прослоям с отложениями разреза 5800 [10].

Отложения пачек 2–3 содержат сублиторальные диатомей (82,7%), среди которых доминируют холодноводные сублиторальные *Paralia sulcata* var. *sulcata* (Ehrenberg) Cleve и *Paralia sulcata* var. *biseriata* Grunow (до 38%), свидетельствуют о холодных климатических условиях на фоне регрессии моря. О близости береговой линии свидетельствуют пресноводные диатомей (12,8%). Диатомовый комплекс пачки 4 (разрез 5837 и 6095) отражает новую волну потепления и сопоставляется с МИС-9. Судя по участию тепловодных диатомей (29,8) температура поверхностных водных масс в районе формирования осадков могла быть выше современной на 3–5°.

В разрезе 5800 зафиксирована трансгрессивная серия отложений МИС-11. Судя по экологической структуре комплекса (около 50% неритических и океанических видов), подобные комплексы начинают формироваться на глубинах около 50 м. Такая же ситуация отмечается и для комплекса диатомей разреза 5838. Кровля пачки 1 лежит на высоте 50 м. Если учитывать тектонический подъем океанического берега о. Кунашир в 0,3 мм в год [10], то глубина формирования отложений МИС-11 должна была составлять около 70 м. Следовательно, можно предположить, что уровень моря 400 тыс. л.н. был не менее чем на +20 м выше современного. Учитывая, что отложения разреза 5837 содержат в основном сублиторальный комплекс диатомей (91,5%) с абсолютным доминированием *Paralia sulcata* var. *sulcata* (Ehrenberg)

Cleve и *Paralia sulcata* var. *biseriata* Grunow (в сумме до 86,8%) можно предположить о его формировании в пределах шельфа на глубинах не менее 20 м [11, 15]. В этом случае трансгрессия не была столь значительной, как во время МИС-11, и уровень моря не превышал значений +5 м по сравнению с современным. Одновозрастный комплекс разреза 6095 формировался в более глубоких зонах шельфа.

Заключение

МИС-11 является необычайно длинный межледниковый период, характеризующийся слабыми орбитальными изменениями и соответственно в распределении инсоляции. Но комплексы диатомей отложений МИС-11 отражают достаточно высокие среднегодовые температуры поверхностных вод (выше современных на +10°C, следовательно, была и другая причина, повлиявшая на столь теплые климатические условия высокое положение береговых линий за счет изменения объема вод Мирового океана за счет коллапсирующего таяния ледниковых покровов планеты. Иная климатическая ситуация отражена в диатомовых комплексах отложений МИС-9, причиной которой были именно инсоляционные изменения, связанные с орбитальными параметрами. Различия в палеоклиматическом режиме и положении береговых линий между двумя стадиями, по-видимому, связаны с влиянием концентрации CO₂, обеспечивающего парниковый эффект. Но глобальные углеродные циклы, скорее всего, имеют собственную реакцию на изменения орбитального характера и собственную историю, которая не вызвана ледниковой периодичностью как первопричиной.

Вполне допустимо, что изменение палеопродуктивности диатомовых водорослей как фотосинтетиков может соответствовать этим углеродным циклам и изменение концентрации створок диатомей в отложениях Мирового океана может служить одним из критерием для определения относительных изменений CO₂ в атмосфере геологического прошлого.

Список литературы / References

1. Lisiecki L.E., Raymo Maureen E.A. Pliocene-Pleistocene stack of 57 globally distributed benthic $\delta^{18}O$ records. *Paleoceanography*. 2005. vol. 20. no. PA1003. P. 1–17. DOI: 10.1029/2004PA001071.
2. Большаков В.А. Проблема межледниковой 11-й морской изотопной стадии с позиций новой концепции орбитальной теории палеоклимата // *Океанология*. 2010. Т. 50. № 2. С. 236–247.

- Bolshakov V.A. The problem of the interglacial 11th marine isotope stage from the standpoint of a new concept of the orbital theory of paleoclimate. *Oceanology*. 2010. T. 50. № 2. P. 215–225. DOI: 10.1134/S0001437010020074.
3. Большаков В.А. Связь глобальных колебаний климата в плейстоцене с вариациями орбитальных параметров Земли // Стратиграфия. Геологическая корреляция. 2014. Т. 22. № 5. С. 97–112. DOI: 10.7868/S0869592X14050044.
- Bolshakov V.A. The relationship of global climate fluctuations in the Pleistocene with variations in the Earth's orbital parameters // *Stratigraphiya. Geologicheskaya korrelyatsiya*. 2014. V. 22. № 5. P. 97–112 (in Russian).
4. Rohling E.J., Braun K., Grant K., Kucera M., Roberts A.P., Siddall M., Trommer G. Comparison between Holocene and Marine Isotope Stage-11 sea-level histories. *Earth and Planetary Science Letters*. 2010. vol. 291. P. 97–105. DOI: 10.1016/j.epsl.2009.12.054.
5. Raymo M.E., Mitrovica J.X. Collapse of polar ice sheets during the stage 11 Interglacial. *Nature*. 2012. vol. 483. P. 453–456. DOI: 10.1038/nature10891.
6. Loutre M.F. Clues from MIS 11 to predict the future climate – a modeling point of view. *Earth and Planetary Science Letters*. 2003. vol. 212. P. 213–224. DOI: 10.1016/S0012-821X(03)00235-8.
7. Yin Q.Z., Berger A. Insolation and CO₂ contribution to the interglacial climate before and after the Mid-Brunhes Event. *Nature Geoscience*. 2010. vol. 3. no. 4. P. 243–246. DOI: 10.1038/ngeo771.
8. Yin Q., Berger A. Individual contribution of insolation and CO₂ to the interglacial climates of the past 800,000 years. *Climate Dynamics*. 2012. vol. 38. P. 709–724. DOI: 10.1007/s00382-011-1013-5.
9. Olson Storrs L., Hearty Paul J. A sustained +21 m sea-level highstand during MIS 11 (400 ka): direct fossil and sedimentary evidence from Bermuda. *Quaternary Sci. Rev.* 2009. vol. 28, no. 3-4. P. 271–285. DOI: 10.1016/j.quascirev.2008.11.001.
10. Пушкар В.С., Разжигаева Н.Г. Головинская свита плиоцена-плейстоцена о. Кунашир (Курилы): стратиграфия и условия формирования // Стратиграфия. Геологическая корреляция. 2003. Т. 11. № 5. С. 82–94.
- Pushkar V.S., Razjigaeva N.G. The Pliocene-pleistocene Golovnin Formation of Kunashir Island (the Kuriles): Stratigraphy and formation conditions. *Stratigraphy and Geological Correlation*. 2003. T. 11. № 5. P. 492–504.
11. Bowen D.Q. Sea level 400000 years ago (MIS 11): analogue for present and future sea-level? *Climate of the Past*. 2010. vol. 6. P. 19–29. DOI: 10.5194/cp-6-19-2010.
12. Hearty P.J. Comment on «Sea level 400 000 years ago (MIS 11): analogue for present and future sea-level?» by D.Q. Bowen (2010). Can the extrapolation of uplift rates from MIS 5e shorelines to MIS 11 replace direct and tangible evidence of the latter's sea-level history? *Climate of the Past*. 2010. v. 6. P. 295–305. DOI: 10.5194/cpd-6-295-2010.
13. Hearty Paul J., Olson Storrs. L. Mega-highstand or megatsunami? Discussion of McMurtry et al. (Elevated marine deposits in Bermuda record a late Quaternary megatsunami: *Sedimentary Geology*. 200 (2007) 155–165). *Sedimentary Geology*. 2008. vol. 203 P. 307–312. DOI: 10.1016/j.sedgeo.2007.08.001.
14. Пушкар В.С., Черепанова М.В., Тарасова Е.В. Условия формирования отложений морской изотопной стадии 5 Берингоморской Субарктики // Успехи современного естествознания. 2018. № 9. С. 78–82. DOI: 10.17513/use.36870.
- Pushkar V.S., Cherepanova M.V., Tarasova E.V. Condition of the Bering Sea Subarctic deposition of Marine Isotope Stage 5 // *Advances in current natural sciences*. 2018. № 9. P. 78–82 (in Russian).
15. Gebühr Christina, Wiltshire Karen H., Aberle Nicole, Beusekom Justus E. E. van, Gerds Gunnar. Influence of nutrients, temperature, light and salinity on the occurrence of *Paralia sulcata* at Helgoland Roads, North Sea. *Aquatic Biology*. 2009. vol. 7. P. 185–197. DOI: 10.3354/ab00191.

УДК 622.692.4

К ПРОБЛЕМЕ ОЦЕНКИ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ МАЛОИНФОРМАТИВНЫХ ОБЪЕКТОВ

¹Сайфутдинов А.И., ^{2,3}Ямалетдинова К.Ш., ¹Янчушка А.П.¹ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет»,
Уфа, e-mail: korobkov45@mail.ru;²ФГБОУ ВО «Челябинский государственный университет», Челябинск;³АН РБ «Центр нефтегазовых технологий и новых материалов» ГАНУ ИСИ РБ, Уфа

В настоящей статье рассматриваются принципы совершенствования оценки технического состояния малоинформативных объектов на примере подводного перехода магистрального нефтепровода. Точная оценка технического состояния подводного перехода необходима и для текущего момента и прогнозирования следующего обследования, а также остаточного ресурса работы подводного перехода. Показаны достоинства и недостатки академических полных математических, полуэмпирических и эмпирических индивидуальных моделей для оценки технического состояния объекта. Предложен новый научно-методический принцип формирования информационно-аналитической системы, который позволит создавать эмпирические индивидуальные математические модели для каждого подводного перехода взамен традиционно используемых полуэмпирических моделей, что позволит существенно повысить точность оценки технического состояния объекта и сократить расходы на техническое обслуживание и ремонт. Для реализации этого принципа предлагается использовать метод кластерного анализа, достоинством которого является тот факт, что он работает даже тогда, когда данных мало и не выполняются требования нормальности распределения случайных величин и другие требования классических методов статистического анализа. Разработана модель обработки информации по результатам обследования технического состояния подводного перехода в процессе кластеризации. Она решает задачи выбора целевого кластера, анализ достоверности результатов оценки технического состояния подводных переходов на различных этапах жизненного цикла и формирования рекомендаций по составу и срокам проведения технического обслуживания и ремонтно-восстановительных работ. Рассмотрен один из возможных вариантов повышения эффективности системы технического обслуживания и ремонта подводных переходов посредством снижения погрешности расчетов результатов прогнозирования. Предложен оптимальный путь к улучшению качества прогнозирования (снижение величины погрешности результатов расчетов) – разработка эмпирических моделей для групп подводных переходов с близкими по величине входными параметрами.

Ключевые слова: оценка, техническое состояние, подводный переход, модель, метод, кластер, ресурс, погрешность, ремонт

TO THE PROBLEM OF TECHNICAL CONDITION ASSESSMENT UNINFORMATIVE OBJECTS

¹Sayfutdinov A.I., ^{2,3}Yamaletdinova K.Sh., ¹Yanchushka A.P.¹Ufa State Petroleum Technological University, Ufa, e-mail: korobkov45@mail.ru;²Chelyabinsk State University, Chelyabinsk;³AS RB 'Centre of Oil and Gas Technologies and New Materials' SASU ISI RB, Ufa

This article discusses the principles of improving the assessment of the technical condition of uninformative objects on the example of the underwater crossing of the oil trunk pipeline. An accurate assessment of the technical condition of the underwater transition is necessary for the current moment and to predict the next survey, as well as the residual life of the underwater transition. The advantages and disadvantages of academic full mathematical, semi-empirical and empirical individual models for assessing the technical condition of the object are shown. A new scientific and methodological principle of formation of information and analytical system is proposed, which will allow to create empirical individual mathematical models for each underwater transition instead of the traditionally used semi-empirical models, which will significantly improve the accuracy of the assessment of the technical condition of the object and reduce the cost of maintenance and repair. To implement this principle, it is proposed to use the method of cluster analysis, the advantage of which is the fact that it works even when there is little data and the requirements of the normality of the distribution of random variables and other requirements of classical methods of statistical analysis are not met. A model of information processing based on the results of the survey of the technical condition of the underwater transition in the process of clustering is developed. It solves the problem of selecting the target cluster, the analysis of the reliability of the results of the assessment of the technical condition of underwater crossings at different stages of the life cycle and the formation of recommendations on the composition and timing of maintenance and repair work. One of possible variants of increase of efficiency of system of maintenance and repair of underwater transitions by means of decrease of error of calculations of results of forecasting is considered. The optimal way to improve the quality of forecasting (reduction of the error of the calculation results) – the development of empirical models for groups of underwater transitions with similar input parameters.

Keywords: assessment, technical condition, underwater transition, model, method, cluster, resource, error, repair

Качество оценки технического состояния (ОТС) любого объекта в деятельности специалиста является интегральным требованием, объединяющим использование процессных характеристик. Проблема повышения качества и точности оценки

технического состояния всегда актуальна, начиная с самого человека (в медицине) и продолжая во всех видах его деятельности. Особенной остротой отличается эта задача при эксплуатации пожаровзрывоопасных объектов, информация о которых ограничена [1]. Характерным примером подобного объекта является подводный переход магистрального нефтепровода [2].

Точная оценка технического состояния подводного перехода (ОТС ПП) необходима и для текущего момента и прогнозирования следующего обследования, а также остаточного ресурса работы подводного перехода.

В зависимости от результатов ОТС ПП принимаются решения о сроке и об объеме следующего обследования, по виду необходимого технического обслуживания и ремонта (ТОР), по остаточному ресурсу ПП и его замене. Точное определение вышеуказанных характеристик, в основе которого лежит использование достоверных математических моделей, позволяет существенно сократить расходы на ТОР при обеспечении достаточного уровня надежности ПП. Достоверность результатов применения базовых моделей, в свою очередь, зависит от качества исходной информации, от возможности самой модели наиболее полного учета реальных условий эксплуатации подводного перехода [3].

Цель исследования: разработка модели обработки информации по результатам обследования технического состояния подводного перехода в процессе кластеризации для повышения точности оценки технического состояния объекта.

Материалы и методы исследования

Традиционные этапы планирования системы технического обслуживания и ремонта перехода нефтепровода можно изложить в следующей последовательности:

а) вначале на основе многочисленных теоретических и экспериментальных исследований условий эксплуатации и изменения характеристик технического состояния подводных переходов разрабатывается полная академическая фундаментальная общая математическая модель оценки ТС ПП, содержащая некий ряд составляющих;

б) используя некоторые постоянные коэффициенты, данная общетеоретическая модель ТС ПП адаптируется к конкретному объекту, т.е. переходят к так называемой полуэмпирической модели ТС ПП;

в) на заключительном этапе, на основе использования полученной полуэмпириче-

ской модели, осуществляют планирование ТОР ПП: определяют перечень, сроки и объемы соответствующих технических и организационно-технических мероприятий.

К достоинству полуэмпирических моделей следует отнести выявление наиболее влияющих факторов, действующих в данной технико-экономической задаче. Однако очень существенны их недостатки:

1) определяется широкий диапазон значений параметров безопасной эксплуатации;

2) соответственно, принимаются очень высокие коэффициенты запаса, что влечет за собой большие, чем могли бы быть, затраты на ТОР.

Предлагается новый научно-методический принцип формирования информационно-аналитической системы, который позволит создавать эмпирические индивидуальные модели для каждого подводного перехода взамен традиционно используемых полуэмпирических моделей, что позволит существенно сократить расходы на ТОР.

Вероятно, в рамках реализации этого принципа возможны различные решения, но в данной статье предлагается использовать метод кластерного анализа (кластеризации).

Решаемая в статье техническая задача с теоретической точки зрения относится к тому классу задач, где применим многомерный статистический анализ. Достоинством кластерного анализа является тот факт, что он работает даже тогда, когда данных мало и не выполняются требования нормальности распределений случайных величин и другие требования классических методов статистического анализа [4, 5].

Несмотря на различия в целях, типах данных и примененных методах, все исследования, использующие кластерный анализ, характеризуют следующие пять основных шагов:

1) отбор выборки для кластеризации;

2) определение множества признаков, по которым будут оцениваться объекты в выборке;

3) вычисление значений той или иной меры сходства между объектами;

4) применение метода кластерного анализа для создания групп сходных объектов [6];

5) проверка достоверности результатов кластерного решения.

Каждый из перечисленных шагов играет существенную роль при использовании кластерного анализа и прикладном анализе данных.

Использование кластер-анализа для решения данной задачи наиболее эффективно. В данном случае кластер-анализ предназначен для объединения подводных переходов в классы (кластеры) таким образом, чтобы в один класс попадали максимально схожие, а ПП различных классов максимально отличались друг от друга. Количественный показатель сходства рассчитывается заданным способом на основании данных, характеризующих ПП [7]. Таким образом, в данной статье под кластеризацией понимается группировка (разбиение множества ПП) на непересекающиеся подмножества (кластеры), состоящие из схожих переходов [8]. Под схожестью (сходством) понимается незначительное отличие (по величине) входных параметров, используемых в процессе прогнозирования технического состояния ПП.

Предлагаемая модель обработки информации в информационно-аналитической системе «Подводные переходы» (ИАСПП) приведена на рис. 1. Она решает задачи выбора целевого кластера, анализ достоверно-

сти результатов оценки технического состояния подводных переходов на различных этапах жизненного цикла (ЖЦ) и формирования рекомендаций по составу и срокам проведения ТОР, ремонтно-восстановительных работ (РВР).

Обработка информации по результатам обследований технического состояния ПП выполняется в три этапа:

1) на этапе «Выбор целевого кластера обработки информации» формируется выборка ИАСПП (так называемая целевая выборка), необходимая для формирования заключения о перспективах дальнейшей эксплуатации обследуемого ПП, основанного на формализованном опыте эксплуатации ПП. В выборку объединяются расчетные параметры дефектов, обнаруженных на ПП, которые «близки» по технологии сооружения, длительности и условиям эксплуатации [9];

2) на этапе «Анализ достоверности результатов ОТС» отфильтровываются «грубые промахи» информации, полученной при обследованиях технического состояния целевой выборки.

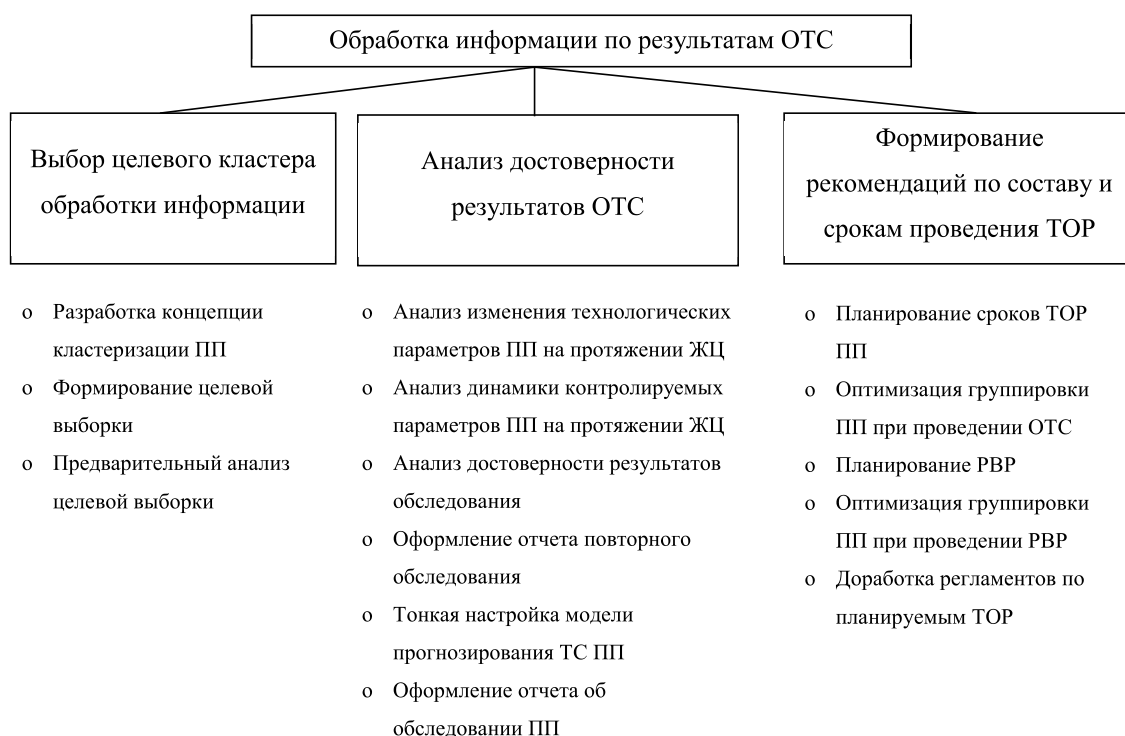


Рис. 1. Модель обработки информации по результатам обследования технического состояния ПП в процессе кластеризации

Периодичность обследований технического состояния ПП определяется действующими нормативными документами ПАО Транснефть [10–12], которые регламентируют сроки проведения обследований, их содержание, используемую измерительную аппаратуру и оформление результатов обследований;

3) процесс формирования выводов и рекомендаций по результатам, по составу и срокам проведения ТОР, обследований оформляется в соответствии с нормативными документами. Указанная документация архивируется и хранится на протяжении всего жизненного цикла каждого ПП системы нефтепроводного транспорта России.

В настоящее время часть этой информации оцифрована и используется для изучения и обобщения опыта эксплуатации ПП. На основании этого анализа разрабатываются планы НИОКР, целью которых является повышение эффективности эксплуатации ПП.

В системе комплексной ОТС ПП составными элементами являются оценки коррозионной и малоцикловой усталости ПП, способные привести к разгерметизации трубопровода. Проведенный анализ показал, что доступное в настоящее время качество результата трудно назвать высоким [10], поскольку модели, используемые при прогнозировании технического состояния ПП, связаны с рядом причин, повлиять на которые невозможно.

Рассмотрим и попытаемся изменить модели прогнозирования технического состояния ПП в контексте возможностей, до-

ступных при использовании современных информационных технологий [5].

Выше уже подчеркивалось, что при разработке заключения о техническом состоянии ПП по результатам обследований используются полуэмпирические модели коррозионной и малоцикловой усталости, которые с определенным уровнем приближения адаптируют академические модели к конкретной предметной области (в данном случае к прогнозированию остаточного ресурса тела трубы подводного перехода при воздействии коррозии и/или малоцикловой усталости).

В проведенном анализе научно-технической литературы по указанной проблеме отмечено, что относительная погрешность результатов расчетов может достигать более 1000%, что, в значительной степени, обусловлено спецификой полуэмпирических моделей, в частности, при создании подобных моделей используются максимально возможные диапазоны варьирования входных величин.

Следует отметить, что традиционно используемое в механике разрушения понятие «критический размер трещины» к магистральному трубопроводу неприменимо, так как существующие нормативы в системе магистрального транспорта углеводородов не допускают разгерметизации трубопровода. Поэтому основной целью прогнозирования малоцикловой усталости ПП является предотвращение утечек перекачиваемого продукта, т.е. критическим считается такой размер усталостной трещины, при котором ее глубина достигает толщины стенки трубы на рассматриваемом участке.

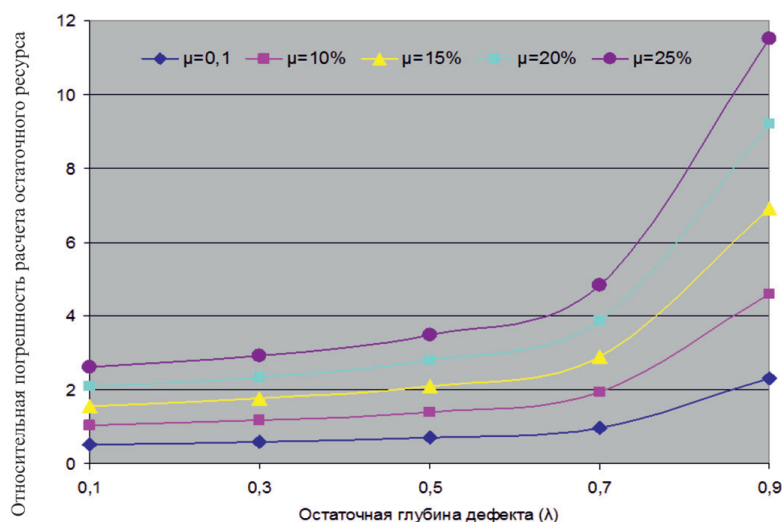


Рис. 2. Влияние приведенной погрешности μ входных величин на относительную погрешность расчета остаточного ресурса ПП при остаточной глубине дефекта $\lambda \in (0,1; 0,9)$

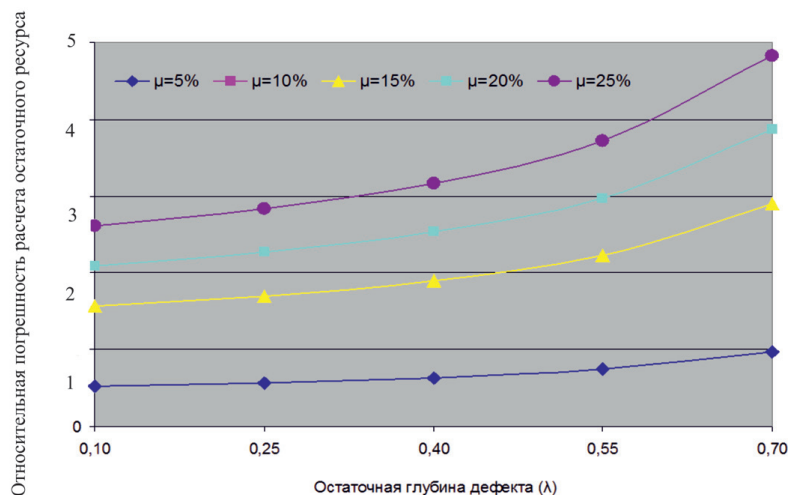


Рис. 3. Влияние приведенной погрешности μ входных величин на относительную погрешность остаточного ресурса ПП при остаточной глубине дефекта $\in (0,1; 0,7)$

Результаты исследования и их обсуждение

На рис. 2 и 3 приведены результаты расчетов, иллюстрирующих один из возможных вариантов повышения эффективности системы ТОР подводных переходов, посредством снижения погрешности расчета результатов прогнозирования. В частности, расчеты показывают, что, например, уменьшение нормируемого параметра «остаточная глубина дефекта» с величины 0,9 до 0,7 (приблизительно на 20%) почти в четыре раза снижает относительную погрешность прогноза (приблизительно на 400%).

Учитывая эти результаты, за основу принимается следующий постулат: «Оптимальный путь к улучшению качества прогнозирования (снижения величины погрешности результатов расчетов) – разработка эмпирических моделей для групп подводных переходов с близкими по величине входными параметрами». Выше эта группа ПП была определена как «целевая выборка». Такой подход возможен при наличии существующего (весьма значительного) опыта эксплуатации подводных переходов, реализованного и документированного в форме «результатов обследований технического состояния подводных переходов» [13], что и позволяет существенно улучшить (в несколько раз) качество прогнозов безопасной эксплуатации ПП.

Выводы

Таким образом, предложена модель концепции повышения эффективности эксплуатации подводных переходов (рис. 1),

соответствующая современному уровню развития технической науки и вычислительной техники. Под эффективностью эксплуатации понимается достижение необходимого уровня надежности ПП с минимальными затратами.

Список литературы / References

1. Халимов А.Г., Зайнуллин Р.С., Халимов А.А. Техническая диагностика и оценка ресурса нефтегазохимического оборудования: учеб. пособие. СПб.: Недра, 2012. 568 с.
2. Кульбей А.Г. Разработка методики оценки технического состояния подводных переходов магистральных трубопроводов Беларуси: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Москва, 2009. 22 с.
3. Сайфутдинов А.И., Коробков Г.Е. Безаварийная эксплуатация подводных переходов МНП // Neftegaz.RU. 2018. № 12. С. 48–51.
4. Бучацкая В.В., Бучацкий П.Ю., Гущин К.А. Программное приложение кластеризации данных // Системный администратор. 2017. № 1–2. С. 170–171.
5. Алетдинова Т.А. Бенчмаркинг сайтов на основе кластерного анализа // Форум молодых учёных. 2017. № 1 (5). С. 26–28.
6. Низамутдинова Р.И. Система поддержки принятия коллективных решений при управлении взаимодействующими деловыми процессами в промышленности: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Уфа, 2011. 22 с.

Nizamutdinova R.I. A collective decision support system for managing interacting business processes in industry: autoref. dis. ... kand. tekhn. nauk. Ufa, 2011. 22 p. (in Russian).

7. Диденко Д.А. Кластерный анализ и направления его использования // Теория и практика современной науки. 2015. № 6 (6). С. 360–364.

Didenko D.A. Cluster analysis and directions of its use // Teoriya i praktika sovremennoy nauki. 2015. № 6 (6). P. 360–364 (in Russian).

8. Маркова Е.С. Кластеризация как фактор инновационного развития региона // Социально-экономические явления и процессы. 2013. № 12 (058). С. 87–89.

Markova E.S. Clustering as a factor of innovative development of a region // Sotsial'no-ekonomicheskiye yavleniya i protsessy. 2013. № 12 (058). P. 87–89 (in Russian).

9. Сайфутдинов А.И., Коробков Г.Е. К проблеме расчета остаточного ресурса длительно эксплуатируемых подводных переходов магистральных нефтепроводов // Транспорт и хранение нефтепродуктов и углеводородного сырья. 2017. № 5. С. 24–27.

Sajfutdinov A.I., Korobkov G.E. To the problem of calculating the residual life of long-running underwater crossings of

main oil pipelines // Transport i khraneniye nefteproduktov i uglevodorodnogo syr'ya. 2017. № 5. P. 24–27 (in Russian).

10. ОР-75.200.00-КТН-231-16. Магистральный трубопроводный транспорт нефти и нефтепродуктов. Порядок технической эксплуатации переходов магистральных нефтепроводов и нефтепродуктопроводов через водные преграды и малые водотоки, 2016. 289 с.

11. РД-75.200.00-КТН-012-14 Магистральный трубопроводный транспорт нефти и нефтепродуктов. Переходы магистральных трубопроводов через водные преграды. Нормы проектирования, 2014. 193 с.

12. ОР-35.240.50-КТН-106-11. Порядок эксплуатации автоматизированной информационно-аналитической системы контроля технического состояния подводных переходов магистральных нефтепроводов и нефтепродуктопроводов, 2011. 37 с.

13. Ибрагимов А.А. Методы прогнозирования долговечности трубопроводов с учетом коррозии и переменных напряжений. Тюмень: ТюмГНГУ, 2011. 76 с.

Ibragimov A.A. Methods for predicting the durability of pipelines taking into account corrosion and variable stresses. Tyumen': TyumGNGU, 2011. 76 p. (in Russian).

УДК 911.9(470.57)

**ПРИРОДНО-РЕСУРСНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ РЕСПУБЛИКИ
БАШКОРТОСТАН: ОЦЕНКА, ТЕНДЕНЦИИ, ПРОБЛЕМЫ****Сафиуллин М.Р.***Институт стратегических исследований Республики Башкортостан, Уфа,
e-mail: Marek1987@yandex.ru*

В статье анализируется изменение роли и значения природно-ресурсного потенциала территорий на современном этапе рыночного социально-экономического развития России. Обосновывается объективная необходимость в условиях развивающихся рыночных отношений в переосмыслении стратегического значения и роли минерально-сырьевых ресурсов в социально-экономическом развитии территорий. Изменение роли природно-ресурсного потенциала территорий определяют следующие основные тенденции пространственного развития Российской Федерации: концентрация экономического роста в ограниченном числе центров, рост социально-экономической роли городов и в первую очередь городских агломераций; стабилизация численности населения в большинстве субъектов страны; сокращение межрегиональных социально-экономических диспропорций; трансформация пространственной организации экономики; усиление влияния научно-технического прогресса на пространственное развитие России. Рассмотрены затратная, экономическая, результативная концепции оценки природно-ресурсного потенциала территорий. Обоснована необходимость использования и научно-практическое значение рыночной оценки природно-ресурсного потенциала территорий. Предложена методика рыночной оценки природно-ресурсного потенциала территорий. Выполнена рыночная оценка минерально-сырьевых ресурсов (нефтяных, газовых, угольных рудных), лесных, водных и земельных ресурсов Республики Башкортостан. Истощение природно-ресурсного потенциала промышленного значения Республики Башкортостан к началу процесса инновационного развития страны объективно вынуждает пересмотреть содержание и идеологию концепций и альтернативных программ социально-экономического развития республики. Этап нефтяного развития Республики Башкортостан неотвратимо приближается к своему логическому завершению. На основе территориальной оценки природно-ресурсного потенциала Республики Башкортостан выделены инвестиционно-привлекательные зоны для развития определенных видов экономической деятельности. Сделаны выводы о роли и проблемах использования природно-ресурсного потенциала Республики Башкортостан в стратегическом социально-экономическом развитии.

Ключевые слова: Республика Башкортостан, природно-ресурсный потенциал, методы оценки, рыночная оценка, тенденции, проблемы

**NATURAL RESOURCE POTENTIAL OF THE REPUBLIC OF BASHKORTOSTAN:
ASSESSMENT, TRENDS, PROBLEMS****Safullin M.R.***Institute of Strategic Studies Republic of Bashkortostan, Ufa, e-mail: Marek1987@yandex.ru*

The article analyzes the changing role and importance of natural resource potential of territories at the present stage of market socio-economic development of Russia. The article substantiates the objective necessity in the conditions of developing market relations in rethinking the strategic importance and role of mineral resources in the socio-economic development of territories. Changing the role of natural resource potential of the territories determine the following main trends of spatial development of the Russian Federation: the concentration of economic growth in a limited number of centers, the growth of socio-economic role of cities and especially urban agglomerations; stabilization of population in most subjects of the country; reduction of interregional socio-economic imbalances; transformation of the spatial organization of the economy; strengthening the impact of scientific and technological progress on the spatial development of Russia. The article considers the cost, economic, effective concept of assessing the natural resource potential of the territories. The necessity of use and scientific and practical value of market estimation of natural resource potential of territories is proved. The technique of market estimation of natural resource potential of territories is offered. The market evaluation of mineral resources (oil, gas, coal ore), forest, water and land resources of the Republic of Bashkortostan was carried out. Exhaustion of natural resource potential of industrial significance of the Republic of Bashkortostan to the beginning of the process of innovative development of the country objectively forces to reconsider the content and ideology of concepts and alternative programs of socio-economic development of the Republic. The stage of oil development of the Republic of Bashkortostan is inevitably approaching its logical conclusion. Based on the territorial assessment of the natural resource potential of the Republic of Bashkortostan, investment and attractive zones for the development of certain types of economic activity are identified. Conclusions are drawn about the role and problems of using the natural resource potential of the Republic of Bashkortostan in the strategic socio-economic development.

Keywords: Republic of Bashkortostan, natural resource potential, evaluation methods, market evaluation, trends, problems

Факторы «первой природы» (богатство природными ресурсами, благоприятные природные условия, выгодное географическое положение) мало зависят от чело-

века. Опора развития территорий только на ресурсные преимущества замедляет модернизацию [1]. Наоборот, такие факторы «второй природы», как агломерационный

эффект, формирующийся за счет высокой плотности населения и экономической деятельности, человеческий капитал (образование, здоровье, трудовые мотивации, высокий уровень доходов), институциональная среда (благоприятный предпринимательский климат, территориальная мобильность населения, стимулирование инноваций), развитие инфраструктуры, играют ключевую роль в территориально-структурной модернизации социэкономике. Модернизация социэкономике территорий быстрее идет там, где лучше условия для диффузии инноваций – выше концентрация населения и его качество, более развита инфраструктура и меньше экономическое расстояние, ниже институциональные барьеры.

В условиях развивающихся рыночных отношений возникает потребность в переосмыслении стратегического значения и роли минерально-сырьевых ресурсов при оценке социально-экономического потенциала субъектов в теоретическом и прикладном аспектах. Составляющие природно-ресурсного потенциала территории [2–4]:

1. *Экономико-географическое положение региона* – важная характеристика, определяющая меру соседства, проницаемость границ, доступность для внешних субъектов хозяйственных отношений и функциональные составляющие (транспортно-географическое, демографическое и другие виды положений).

2. *Природные условия* – среда, в пределах которой осуществляется функционирование всех региональных общественных подсистем (населения и расселения, социальные, экологические, экономические).

3. *Природные ресурсы* – важнейшая составляющая интегрального потенциала региона.

В современной ситуации в экономике России, характеризующейся усилением роли территориальных факторов социально-экономического развития и в связи с принятием «Стратегии пространственного развития Российской Федерации на период до 2025 года», все большую научно-практическую значимость приобретает экономическая оценка природно-ресурсного потенциала субъектов страны [5].

Развитие процесса истощения невозобновляемых природных ресурсов и необходимость учета потребности в них в целях обеспечения их эффективного и рационального использования определяет необходимость рыночной стоимостной оценки природно-ресурсного потенциала территорий.

В работе дается рыночная оценка природных ресурсов, являющихся важнейшей составляющей природно-ресурсного потенциала Республики Башкортостан.

Материалы и методы исследования

В широком понимании природно-ресурсный потенциал территории – эта часть природных ресурсов, которая может быть использована в хозяйственной деятельности при данных технических и социально-экономических возможностях при обеспечении устойчивого развития. В более узком экономическом понимании природно-ресурсный потенциал – это совокупность природных ресурсов и условий, являемых процессами, которая, с одной стороны, является территориальной и ресурсной базой жизнедеятельности общества, а с другой, выступает как объект антропогенного воздействия общества.

Вплоть до 1960-х гг. в нашей стране была распространена концепция бесплатности природных ресурсов, так как они не являются продуктом трудовой деятельности человека. На рубеже 1970-х гг. наметилось истощение наиболее удобно расположенных месторождений полезных ископаемых, разработка которых позволяла получать дешевое, качественное сырье. Это повлекло за собой разработку новой концепции оценки природно-ресурсного потенциала – «затратной».

Экономическая стоимостная оценка определялась на основе затрат на освоение ресурса. Однако на практике часто общественно необходимая продукция подменялась любой (даже ненужной) продукцией, что приводило к затовариванию складов предприятий, магазинов и т.д.

Согласно «результативной» концепции, экономическая оценка ресурса определялась исходя из стоимости получаемой продукции или прибыли с единицы ресурса. Несмотря на недостатки этих концепций, они способствовали развитию теории экономической оценки природных ресурсов.

Нами предлагается использовать рыночный метод оценки природно-ресурсного потенциала территорий. В связи с тем, что в рыночной экономике России осложняющим фактором экономической оценки природных ресурсов стал инфляционный процесс, предлагается проводить стоимостную оценку природных ресурсов в международных валютах (доллар, евро) с учетом складывающихся цен на глобальных сырьевых рынках. Информационной

базой при выполнении рыночной оценки природно-ресурсного потенциала Республики Башкортостан (РБ) послужили материалы Государственного доклада «О состоянии природных ресурсов и окружающей среды Республики Башкортостан в 2018 г.» Министерства природопользования и экологии РБ [6].

Результаты исследования и их обсуждение

Минерально-сырьевые ресурсы Башкирии явились первоисточником развития экономики, фактором, определившим формирование структуры производств в территориальных промышленных системах на основе разработки наиболее экономически выгодных природных ресурсов.

Для современной экономики регионов требуется динамичная рыночная оценка природно-ресурсного потенциала. Исчерпание природно-ресурсного потенциала промышленного значения Башкирии к началу процесса инновационного развития страны объективно вынуждает пересмотреть содержание и идеологию концепций и альтернативных программ социально-экономического развития республики. Этап нефтяного развития Республики Башкортостан неотвратимо приближается к своему логическому завершению. Нефти в республике осталось на 25–30 лет. В связи с этим экономику республики необходимо трансформировать в инновационном направлении: определить приоритеты стратегического территориально-структурного развития, источники формирования бюджетов и инвестиций, модернизировать систему подготовки кадров, содержание инновационного развития. И при этом должно обеспечиваться реальное повышение доходов и уровня жизни населения.

Рыночная стоимостная оценка природно-ресурсного потенциала РБ. Суммарный доход от всех нынешних извлекаемых нефтяных ресурсов при цене 60 долл. за баррель равен около 80 млрд долл., или 4800 млрд руб., что составляет сегодня всего три годовых ВРП республики (таблица).

Годовой объем добычи природного газа около 0,4 млрд м³. Ежегодная потребность экономики и населения республики в природном газе составляет 16 млрд м³. Сегодняшняя стоимость извлекаемых запасов газа республики при цене в 250 долл. за 1 тыс. м³ составляет 1 млрд долл., или 65 млрд руб.

Стоимостная ценность извлекаемых разведанных запасов угля республики оценивается всего в 2,1 млрд долл. или 130 млрд руб. Однако угли Южноуральского и Камского бассейнов РБ низкосортные, неконкурентоспособные и «выпадают» из реальной рыночной экономики ввиду их не востребоваемости.

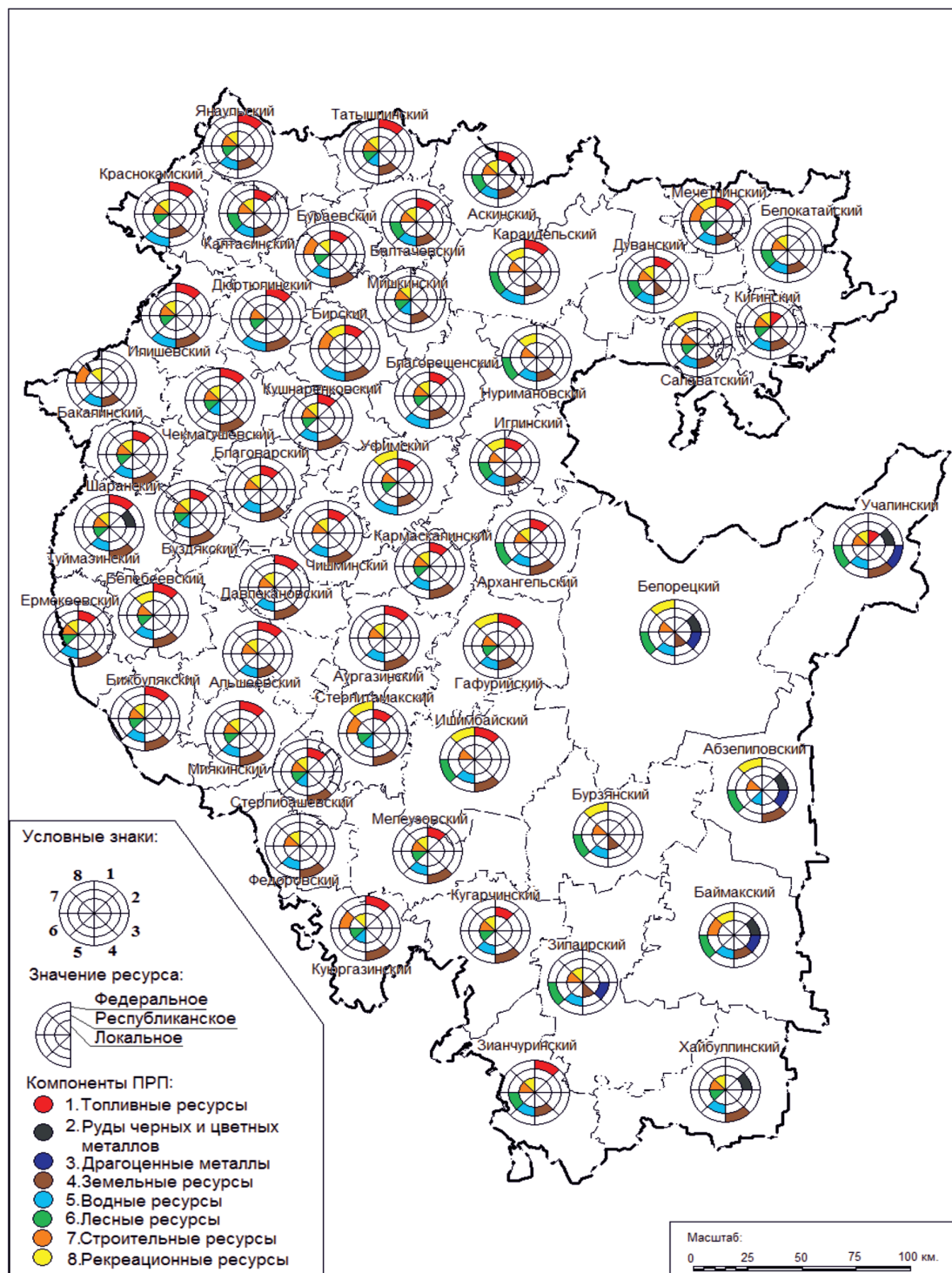
Медно-колчеданные руды. В 1970-е гг. добыча руд достигала 10 млн т. В 2008 г. около 3 млн т, в том числе Учалинский ГОК – 2,1 млн т, Башкирский медно-серный комбинат и Бурибайский рудник – 0,9 млн т. Извлекаемая ценность полезных компонентов разведанных запасов медноколчеданных руд оценивается в 22 млрд долл. Однако на РБ приходится только третья часть этой ценности, т.е. примерно 7 млрд долл., или 455 млрд руб. Остальной доход остается на медеплавильных и цинковых заводах Челябинской области.

Железная руда. Если добыть все извлекаемые запасы железной руды в республике, то можно получить доход в размере 0,5 млрд долл., или 32 млрд руб. С 2002 г. добыча и переработка железной руды в Башкирии прекращена из-за экономической неконкурентоспособности.

Современная рыночная цена природных ресурсов Республики Башкортостан

Наименование ресурса	Рыночная цена используемых ресурсов		Доля ресурса %
	Млрд долл.	Млрд руб. (в ценах 2017 г.)	
Земельные ресурсы	1100	74000	90,5
Нефть	80,0	4800	5,9
Водные ресурсы (за год)	36,0	2300	2,8
Медно-колчеданные руды	7,0	455	0,6
Природный и попутный газ	1,0	65	0,08
Уголь	–	–	–
Лесные ресурсы	1,6	100	0,12
Итого:	1225,6	81720	100,0
ВРП (2017)	22	1396	–

го 3,3 млн м³. Доход от использования доступных к разработке запасов древесины при нынешних ценах за 1 м³ круглой древесины в 3 долл. оценивается в 1,6 млрд долл., или около 100 млрд руб.



Природно-ресурсный потенциал районов Республики Башкортостан [7, с. 13]

Земельные ресурсы. Сельскохозяйственные угодья республики составляют 7,4 млн га. По этому ресурсу идет процесс формирования рыночной цены с учетом спроса и предложения. Средняя рыночная цена 1 га земли достигает 10 млн руб. или 150 тыс. долл. Исходя из этого, цена всех сельхозугодий по средней рыночной цене составляет 74 трлн руб., или 1,1 трлн долл.

Водные ресурсы. Объем суммарных запасов поверхностных вод, формирующихся на территории республики с учетом вод, поступающих из соседних областей и Республики Татарстан, и подземных вод, достигает 41,0 км³. Исходя из современного уровня цен за водопотребление и водоотведение 1 м³ воды населением городов (56 руб. 27 коп.), рыночная цена всех водных ресурсов определяется в 2,3 трлн руб., или до 36 млрд долл.

На основе территориальной оценки природно-ресурсного потенциала Республики Башкортостан можно выделить следующие инвестиционно-привлекательные зоны для развития определенных видов экономической деятельности (рисунок):

1. Восточная (Горная), Южная и Юго-Восточная часть Башкирии – рудно-лесохозяйственная зона.

2. Западная, Центральная и Юго-Западная часть Башкирии – индустриально-аграрная зона, развившаяся на основе использования нефтяных ресурсов и черноземных почв.

3. Северо-Западная часть – индустриальная зона, имеющая выгодное экономико-географическое положение, ресурсную базу (земельные, нефтяные, водные: реки Кама и Белая, а также Нижнекамское водохранилище).

Северная и Северо-Восточная часть – аграрная зона. Отсутствуют эффективные природные ресурсы, кроме земельных

Современные проблемы использования природно-ресурсного потенциала РБ:

1. Основная часть доходов от использования индустриальных ресурсов (нефтяных, рудных и пр.) не достается самим территориям (районам и городам), а «оседает» в федеральном и региональном центре.

2. Экологические платежи за загрязнение природной среды не стимулируют повышение эффективности экономики природопользования ввиду мизерности платежей.

3. Финансовая и экологическая «закрытость» хозяйственной деятельности федеральных, частных, иностранных фирм и производств на территории муниципальных образований.

4. В сохраняющейся энергозатратной, энергоемкой и низкоэффективной экономике Башкирии с каждым годом нарастает дефицит дешевых и эффективных топливно-энергетических ресурсов.

5. Стратегию пространственного социально-экономического развития Башкирии необходимо разрабатывать исходя из перспектив падения роли природных ресурсов.

Выводы

Таким образом, из числа главных и эффективных природных ресурсов в республике остались только земельные и водные ресурсы. Свыше 95% потребностей хозяйства и населения республики обеспечивается за счет импорта природного газа (до 16 млрд м³ в год). В перспективе дефицит природного газа придется в возрастающих размерах компенсировать за счет импорта из Западной Сибири, Восточной Сибири и Казахстана. Для населения республики это обернется дальнейшим ростом цен на электроэнергию, газ, городской и автомобильный транспорт, услуги ЖКХ, продовольствие. Поэтому в стратегии территориального социально-экономического развития республики оценка роли влияния природно-ресурсного потенциала должна пересматриваться исходя из складывающихся и ожидаемых рыночных реалий цены природных ресурсов.

Список литературы / References

1. Доклад Всемирного банка о мировом развитии 2009. Новый взгляд на экономическую географию // Ред. А.А. Бандаренко, Е.И. Журавлева, О.А. Зимарин, Т.В. Кирсанова. М.: Весь Мир, 2009. 384 с.
2. World Bank world development report 2009. A new look at economic geography // Red. A.A. Bandarenko, E.I. Zhuravleva, O.A. Zimarin, T.V. Kirsanova. M.: Ves' Mir, 2009. 384 p. (in Russian).
3. Географическое положение и территориальные структуры: памяти И.М. Маергойза / сост.: П.М. Полян, А.И. Трейвиш. М.: Новый хронограф, 2012. 896 с.
4. Geographical position and territorial structures: in memory of I.M. Maergoiz / sost.: P.M. Polyan, A.I. Treyvish. M.: Novyy khronograf, 2012. 896 p. (in Russian).
5. Гладкевич Г.И. Природные условия и обеспеченность ресурсами // Россия: социально-экономическая география. М.: Новый хронограф, 2013. С. 44–92.
6. Gladkevich G.I. Natural conditions and availability of resources // Russia: socio-economic geography. M.: Novyy khronograf, 2013. P. 44–92 (in Russian).
7. Экономическая и социальная география России. География отраслей народного хозяйства / Под ред. В.Л. Бабурина, М.П. Ратановой. М.: Книжный дом «Либроком», 2013. 516 с.
8. Economic and social geography of Russia. Geography of branches of the national economy / Pod red. V.L. Baburina, M.P. Ratanovoy. M.: Knizhnyy dom «Librokom», 2013. 516 s. (in Russian).
9. Стратегия пространственного развития Российской Федерации на период до 2025 года. Распоряжение Прави-

тельства РФ от 13 февраля 2019 г. № 207-р. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/72074066/> (дата обращения: 12.12.2019).

Spatial development strategy of the Russian Federation for the period up to 2025. Russian Government order No. 207-R of 13 February 2019. [Electronic resource]. URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/72074066/> (date of access: 12.12.2019) (in Russian).

6. Государственный доклад «О состоянии природных ресурсов и окружающей среды Республики Башкортостан в 2018 г.». Министерство природопользования и экологии Республики Башкортостан. Уфа, 2019. 329 с.

State report «on the state of natural resources and environment of the Republic of Bashkortostan in 2018». Ministry of nature management and ecology of the Republic of Bashkortostan. Ufa, 2019. 329 p. (in Russian).

7. Ахунов А.Р. Экономико-географическая оценка территориальной организации хозяйства и населения с использованием бизнес-карт (на примере Республики Башкортостан): автореф. ... канд. геогр. наук. Пермь, 2010. 24 с.

Akhunov A.R. Economic and geographical assessment of the territorial organization of the economy and population using business cards (for example, the Republic of Bashkortostan): avtoref. ... kand. geogr. nauk. Perm', 2010. 24 p. (in Russian).

УДК 502.752(470.630)

**ИЗУЧЕНИЕ БИОРАЗНООБРАЗИЯ РАСТЕНИЙ ЗАКАЗНИКА
РЕГИОНАЛЬНОГО ЗНАЧЕНИЯ «ИРГАКЛИНСКИЙ»
СТЕПНОВСКОГО РАЙОНА СТАВРОПОЛЬСКОГО КРАЯ****Степаненко Е.Е., Зеленская Т.Г., Стукало В.А., Окрут С.В., Друп В.Д.***ФГБОУ ВО «Ставропольский государственный аграрный университет», Ставрополь,
e-mail: elenapstepanenko@yandex.ru*

В статье отражены результаты оценки биоразнообразия экосистем территории заказника краевого значения «Иргаклинский» Ставропольского края. Здесь преобладают лесостепи, имеются луговидные степи и ковыльно-типчаково-разнотравные степи. В результате проведенных исследований были выделены следующие типы растительных сообществ: разнотравно-злаковая, ковыльно-бородачевая. Большая часть облебованной территории занята естественной степной растительностью. Обилие и видовой состав разнотравно-злакового типа растительности составляет 20 видов, относящихся к 15 семействам, таким как астровые, выюновые, злаковые, крестоцветные, норичниковые, льновые, лютиковые, подорожниковые, зонтичные, жимолостные, яснотковые, гвоздичные, бурачниковые, мальвовые. Выявлено, что состав ковыльно-бородачевого типа растительности состоит из 16 видов, относящихся к 8 семействам, таким как крестоцветные, бобовые, свинчаковые, злаковые, астровые, молочайные, зонтичные, яснотковые. Степень участия отдельных видов в травостое определяли методами учета их относительного обилия. Использовали шкалу Друде, в которой различные степени обилия обозначаются баллами на основе величин наименьших расстояний между особями вида и их встречаемости. На исследуемой территории в ходе эмпирических изысканий обнаружено 7 видов сосудистых растений, нуждающихся в охране – включенных в Красную книгу Ставропольского края, относящихся к 4 семействам, таким как бобовые, ирисовые, злаковые, лилейные. В ходе наблюдений выявлено, что в фитоценозах всех пунктов преобладает разнотравная растительность (61%), а именно: амброзия полыннолистная, выюнок полевой, подорожник ланцетолистный, полынь австрийская, резак обыкновенный, скабиоза бледно-желтая, чертополох крючочковый, цикорий обыкновенный, шток-роза, бурачок носатый, шандра ранняя и так далее. В спектре групп по продолжительности жизни доминируют многолетние растения, такие как амброзия полыннолистная, выюнок полевой, ежа сборная, пырей ползучий, цикорий обыкновенный, костер.

Ключевые слова: Ставропольский край, заказник краевого значения «Иргаклинский», особо охраняемые природные территории (ООПТ), биоразнообразие

**STUDYING PLANT BIODIVERSITY OF THE ORGANIZATION
OF REGIONAL IMPORTANCE «IRGAKLINSKY»
OF STEPNOVSKY DISTRICT OF STAVROPOL REGION****Stepanenko E.E., Zelenskaya T.G., Stukalo V.A., Okrut S.V., Drup V.D.***Stavropol State Agrarian University, Stavropol, e-mail: elenapstepanenko@yandex.ru*

The article reflects the results of assessing the biodiversity of ecosystems in the territory of the reserve of regional significance «Irgaklinsky» of the Stavropol Territory. Forest-steppes prevail here, there are meadow-like steppes and feather-grass-fescue-mixed-grass steppes. As a result of the research, the following types of plant communities were distinguished: forbs-cereal, feather-grass bearded. Most of the surveyed area is occupied by natural steppe vegetation. The abundance and species composition of the herb-herbaceous type of vegetation is 20 species belonging to 15 families such as: aster, bindweed, cereal, cruciferous, norinaceous, flaxseed, buttercup, plantain, umbrella, honeysuckle, clear-headed, clove, borage, mallow. It was revealed that the composition of the feather grass-bearded type of vegetation consists of 16 species belonging to 8 families such as cruciferous, bean, gilt, cereal, aster, euphorbia, umbelliferous, clear-headed. The degree of participation of individual species in the herbage was determined by taking into account their relative abundance. We used the Drude scale, in which various degrees of abundance are indicated by points based on the values of the smallest distances between individuals of the species and their occurrence. In the course of empirical research, 7 species of vascular plants were discovered in the study area that need protection – included in the Red Book of the Stavropol Territory, belonging to 4 families such as legumes, iris, cereal, and lilac. In the course of observations, it was revealed that in the phytocenoses of all points the herbaceous vegetation prevails (61%), namely ragweed ragweed, field bindweed, plantain lanceolate, Austrian wormwood, common cutter, pale yellow scabiosis, hook thistle, rosacea, chicory, alyssum, chandra early and so on. Perennial plants such as ragweed, field bindweed, field hedgehog, hedgehog creeper, common chicory, bonfire dominate the spectrum of groups by life expectancy.

Keywords: Stavropol territory, reserve of regional significance «Irgaklinsky», specially protected natural territories (SPNA), biodiversity

Создание сети особо охраняемых природных территорий Ставропольского края является наиболее эффективной формой сохранения природных комплексов и объектов. Особо охраняемые природные тер-

ритории (ООПТ) Ставропольского края занимают всего 1,6% его площади, и представляют собой островные биогеоценозы среди распаханых и застроенных земель, обреченные на деградацию. Это явно

не способствует сохранению растительных сообществ региона [1].

С целью сохранения и защиты степных ландшафтов Ставропольского края, как наиболее пострадавшего и угрожаемого типа экосистем степной зоны России, в крае ведется разработка мероприятий по сохранению и рациональному использованию природных ландшафтов. В рамках этой работы необходимо создание новых особо охраняемых природных территорий и поддержка существующих [2].

Цель исследования: изучение биоразнообразия растений заказника краевого значения «Иргаклинский».

Материалы и методы исследования

Работа выполнена на основе полевых экспедиционных исследований 2014–2019 гг. сотрудниками кафедры экологии и ландшафтного строительства Ставропольского государственного аграрного университета, в результате которых был собран обширный гербарный материал, а также на основе обработки гербарных фондов и анализа литературных источников. Государственный природный биологический заказник краевого значения «Иргаклинский» расположен в двух километрах к юго-востоку от села Иргаклы Степновского муниципального района Ставропольского края.

Географические координаты – 44°19' северной широты 44°44' восточной долготы. Заказник расположен в пределах Курско-Терского окультуренного ландшафта, в междуречье рек Терека и Горькой Балки, провинции полупустынных ландшафтов.

Территория заказника разбита на три функциональные зоны: природоохранная, зона ограниченного природопользования и зона рекреационного использования заказника.

Природоохранная зона. Площадь природоохранной зоны заказника составляет 394,5 га. В данную зону включаются участки северо-восточной и южной частей заказника.

Зона ограниченного природопользования. Площадь зоны составляет 827,5 га. На территории заказника зона размещается по восточной границе и в центральной части.

Зона рекреационного использования заказника. Площадь рекреационной зоны 159 га. Расположена зона в северо-западной и центральной частях заказника, вблизи водоемов. Также включает экологическую тропу, маршрут которой берет свое нача-

ло в северной части заказника и проходит по всей его территории.

Растительное биоразнообразие является необходимой составляющей стабильности и функционирования природных экосистем [3]. Данные исследования проведены в полевых условиях. Во время предполевого этапа было проведено изучение литературных и фондовых материалов по району исследований.

Помимо описательного и сравнительно-аналитического методов в работе использовался метод биогеоценотических исследований [4].

Растительность заказника изучена на основе академических и общепринятых методических руководств [5]. Характеристика редких и исчезающих видов, хозяйственно полезных растений дана в работе с использованием специальной литературы.

Видовое разнообразие растительности государственного природного заказника изучалось на площадках 100 м (10x10 м), встречаемость их – на 0,25 м (п = 6). Биопродуктивность определялась на 0,5 м (п = 6). Обилие видов учитывалось по О. Друде.

При анализе флоры исследуемой территории нами была принята система геоэлементов, разработанная Н.Н. Портенниером (1993, 2000) и адаптированная для флоры Предкавказья А.Л. Ивановым (1998) добавлением некоторых связующих элементов. Основой географического анализа является составление спектра географических элементов исследуемой флоры (Иванов, 1998).

Результаты исследования и их обсуждение

Во флористическом отношении исследуемая территория заказника «Иргаклинский» относится к Моздокскому району (М) понтической провинции. Здесь преобладают лесостепи, имеются луговые степи и ковыльно-типчаково-разнотравные степи [6]. Моздокский флористический район занимает юго-восточную часть Ставропольского края. В него частично входят территории Степновского (за исключением крайней восточной части, Курского (западная часть), Советского (восточная часть), Кировского (восточная часть), Буденновского (южная часть), Нефтекумского (западная часть) районов. Основной тип растительности – ковыльно-типчаковые степи с элементами злаково-полынных и солянковых полупустынь.

В районе насчитывается 723 вида сосудистых растений. Древесная раститель-

ность, произрастающая на территории заказника, подразделяется на хвойную (сосна крымская) и лиственную (орех грецкий, алыча, смородина, яблоня, облепиха, лох, дуб, унаби, акация, боярышник, облепиха).

В результате проведенных исследований были выделены следующие типы растительных сообществ: разнотравно-злаковая, ковыльно-бородачевая. Большая часть обследованной территории занята естественной степной растительностью.

Обилие и видовой состав разнотравно-злакового типа растительности составляет 20 видов, относящихся к 15 семействам, таким как астровые, вьюнковые, злаковые, крестоцветные, норичниковые, льновые, лютиковые, подорожниковые, зонтичные, жимолостные, яснотковые, гвоздичные, бурачниковые, мальвовые (табл. 1).

Данные таблицы показывают, что такие представители флоры, как амброзия полыннолистная, вьюнок полевой, ежа сборная, зубровка душистая, кардария крупковидная, коровяк мучнистый, лен многолетний,

лютик ползучий, осока многолистная, подорожник ланцетолистный, полынь австрийская, резак обыкновенный, скабиоза бледно-желтая, смолевка белая, чернокорень лекарственный, чертополох крючочковый, цикорий обыкновенный, шалфей лекарственный, шток-роза – довольно обильны, средний балл обилия равен сор1.

Следовательно, можно сделать вывод, что на 100 м² произрастает от 10 до 100 особей каждого вида, среднее наименьшее расстояние между особями от 40 до 100 см, а их проектное покрытие составляет 16–25%. Единственный представитель, который имеет средний балл обилия сор2 – пырей ползучий. На одном квадратном метре произрастает не менее 10 особей данного вида, среднее наименьшее расстояние между растениями от 20 до 40 см, а проектное покрытие варьируется от 25 до 50%. Обилие данного вида можно обосновать тем, что пырей обладает высоким уровнем живучести и плодовитости, он размножается не только семенами, но и корневищами.

Таблица 1

Средний балл обилия разнотравно-злакового типа растительности

Виды растений	Латинское название видов	Средний балл обилия
Амброзия полыннолистная	<i>Ambrosia artemisifolia</i>	сор1
Вьюнок полевой	<i>Convolvulus arvensis</i>	сор1
Ежа сборная	<i>Dactylis glomerata</i>	сор1
Зубровка душистая	<i>Hierochloe odorata</i>	сор1
Кардария крупковидная	<i>Lepidium draba</i>	сор1
Коровяк мучнистый	<i>Verbascum lychnitis</i>	сор1
Лен многолетний	<i>Linum perenne</i>	сор1
Лютик ползучий	<i>Ranunculus repens</i>	сор1
Осока многолистная	<i>Carex polyphylla</i>	сор1
Подорожник ланцетолистный	<i>Plantago lanceolata</i>	сор1
Полынь австрийская	<i>Artemisia austriaca</i>	сор1
Пырей ползучий	<i>Elytrigia repens</i>	сор2
Резак обыкновенный	<i>Falcaria vulgaris</i>	сор1
Скабиоза бледно-желтая	<i>Scabiosa ochroleuca</i>	сор1
Смолевка белая	<i>Silene latifolia</i>	сор1
Чернокорень лекарственный	<i>Cynoglossum officinale</i>	сор1
Чертополох крючочковый	<i>Carduus hamulosus</i>	сор1
Цикорий обыкновенный	<i>Cichorium intybus</i>	сор1
Шалфей лекарственный	<i>Salvia officinalis</i>	сор1
Шток-роза	<i>Alcea rugosa</i>	сор1

*Примечание: сор1 – довольно обильные, среднее наименьшее расстояние от 40 до 100 см, сор2 – обильные, среднее наименьшее расстояние – от 20 до 40 см, сор3 – очень обильные, среднее наименьшее расстояние – не более 20 см.

Обилие и видовой состав ковыльно-бородачевого типа растительности представлены в табл. 2. Он состоит из 16 видов, относящихся к 8 семействам таким как: крестоцветные, бобовые, свинчаковые, злаковые, астровые, молочайные, зонтичные, яснотковые.

Из таблицы видно, что наибольшее количество представителей ковыльно-бородачевого типа растительности, а именно бурачок носатый, вика узколистная, гониолимон татарский, житняк ширококолосый, козлобородник опушенноносый, костер, люцерна румынская, молочай полевой, овсяница луговая, одуванчик лекарственный, тонконог стройный, шандра ранняя, имеют средний балл обилия.

Из этого следует сделать вывод, что на 100 м² произрастает от 10 до 100 особей каждого вида, среднее наименьшее расстояние между особями от 40 до 100 см, а их проектное покрытие составляет 16–25 %. Типичное растение ксерофитной степи – ковыль имеет средний балл обилия. На одном квадратном метре произрастает не менее 10 особей данного вида, среднее наименьшее расстояние между растениями от 20 до 40 см, а проектное покрытие варьируется от 25 % до 50 %. Овсяница валисская (типчак), доминиру-

ющий представитель, являющийся очень обильным. На квадратном метре можно встретить от 10 до 100 особей типчака, среднее наименьшее расстояние между особями 0–20 см, а его проектное покрытие колеблется от 51 до 75 %. Такое обилие типчака объясняет отсутствие сорной растительности, так как этот дерновой злак препятствует развитию корневой системы сорняков.

На исследуемой территории в ходе эмпирических изысканий обнаружено 7 видов сосудистых растений, нуждающихся в охране – включенные в Красную книгу Ставропольского края, относящихся 4 семействам, таким как бобовые, ирисовые, злаковые, лилейные (табл. 3).

Как видно из таблицы, на территории заказника произрастает достаточно большое разнообразие редких представителей флоры. Вся краснокнижная растительность по среднему баллу обилия варьируется от редких до единичных особей. Количество соответственно не более 10–100 особей на квадратном метре и от 10–100 особей на одном гектаре. Среднее наименьшее расстояние между растениями 100–150 см. Проектное покрытие для редких видов – от 6 % до 15 %, для единичных – от 1 % до 5 %.

Таблица 2

Средний балл обилия ковыльно-бородачевого типа растительности

Виды растений	Латинское название видов	Средний балл обилия
Бурачок носатый	<i>Alyssum rostratum</i>	cop1
Вика узколистная	<i>Vicia angustifolia</i>	cop1
Гониолимон татарский	<i>Goniolimon tataricum</i>	cop1
Житняк ширококолосый	<i>Agropyron pectinatum</i>	cop1
Козлобородник опушенноносый	<i>Tragopogon dasyrhynchus</i>	cop1
Костер	<i>Bromus</i>	cop1
Ковыль	<i>Stipa</i>	cop2
Люцерна румынская	<i>Medicago romanica</i>	cop1
Молочай полевой	<i>Euphorbia agraria</i>	cop1
Овсяница валисская (типчак)	<i>Festuca valesiaca</i>	cop1– cop3
Овсяница луговая	<i>Festuca pratensis</i>	cop1
Одуванчик лекарственный	<i>Taraxacum officinale</i>	cop1
Осот	<i>Sonchus</i>	cop1
Синеголовник полевой	<i>Eryngium campestre</i>	cop1
Тонконог стройный	<i>Koeleria cristata</i>	cop1
Шандра ранняя	<i>Marrubium praecox</i>	cop1

*Примечание: cop1 – довольно обильные, среднее наименьшее расстояние от 40 до 100 см, cop2 – обильные, среднее наименьшее расстояние – от 20 до 40 см, cop3 – очень обильные, среднее наименьшее расстояние – не более 20 см.

Таблица 3

Средний балл редкой и исчезающей растительности заказника «Иргаклинский»

Виды растений	Латинское название видов	Статус	Средний балл обилия
Астрагал коротколопастный	<i>Astragalus Brachylobus</i>	1 (Е)	sol – sp2
Касатик кожистый	<i>Iris Scariosa Willd. ex Link</i>	2 (V)	sol – sp1
Касатик крымский	<i>Iris taurica Loodd</i>	3 (R)	sol – sp1
Ковыль красивейший	<i>Stipa pulcherrima</i>	2 (V)	sp3 – cop3
Тюльпан Бибиштейна	<i>Tulipa Bieberateiniana</i>	2 (V)	sol – sp2
Тюльпан Геснера	<i>Tulipa Gesneriana L.</i>	2 (V)	sol – sp2
Шафран сетчатый	<i>Crocus Reticulatus</i>	3 (R)	sp3 – cop1

*Примечание: 1 (Е) – исчезающий вид, 2 (V) – уязвимый вид, 3 (R) – сокращающийся вид, sol – единично, sp – рассеянно, cop1 – довольно обильно, cop2 – обильно, cop3 – очень обильно.

В ходе наблюдений выявлено, что в фитоценозах всех пунктов преобладает разнотравная растительность (61 %), а именно: амброзия полыннолистная, вьюнок полевой, подорожник ланцетолистный, полынь австрийская, резак обыкновенный, скабиоза бледно-желтая, чертополох крючковый, цикорий обыкновенный, шток-роза, бурачок носатый, шандра ранняя и так далее. В спектре групп по продолжительности жизни доминируют многолетние растения, такие как амброзия полыннолистная, вьюнок полевой, ежа сборная, пырей ползучий, цикорий обыкновенный, костер [7].

Заключение

Анализ сложившейся ситуации на территории заказника «Иргаклинский» свидетельствует о необходимости разработки системы природоохранных мероприятий, которые будут способствовать поддержанию статуса особо охраняемой природной территории, развитию культурного ландшафта как основы ее формирования [8].

На наш взгляд, необходимо осуществление комплекса мероприятий по природоохранному обустройству территории заказника, который сводится к следующим процедурам: картирование миграционных путей животных для дальнейшей работы по созданию экологических коридоров; минимизация краевого эффекта; проведение регулярных наблюдений за растительными сообществами.

Для сохранения популяций редких видов растений на территории заказника необходимо, прежде всего, сохранять их естественные местообитания (все типы биотопов), не допуская их разрушения чрезмерной хозяйственной деятельностью [9].

Список литературы / References

1. Гладилин В.А., Юрина В.П., Грицай С.Е. Некоторые проблемы и приоритетные направления развития туризма и рекреации КМВ // Вестник Института дружбы народов Кавказа. Теория экономики и управления народным хозяйством. 2015. № 2 (34). С. 87–94.

Gladilin V.A., Yurina V.P., Gritsay S.E. Some problems and priority directions for the development of tourism and recreation of the CMW // Vestnik Instituta druzhby narodov Kavkaza. Teoriya ekonomiki i upravleniya narodnym khozyaystvom. 2015. № 2 (34). P. 87–94 (in Russian).

2. Друп В.Д. Сравнительный анализ биоразнообразия на территории ООПТ «Александровский» и прилегающих к нему охотничьих угодьях // Современные проблемы науки и образования. 2012. № 6. [Электронный ресурс]. URL: <http://science-education.ru/ru/article/view?id=7500> (дата обращения: 10.12.2019).

Drup V.D. A comparative analysis of biodiversity on the territory of the Aleksandrovsky protected areas and adjacent hunting grounds // Modern problems of science and education. 2012. № 6. [Electronic resource]. URL: <http://science-education.ru/ru/article/view?id=7500> (date of access: 10.12.2019) (in Russian).

3. Бродский А.К. Биоразнообразие. М.: Академия, 2012. 208 с.

Brodskiy A.K. Biodiversity. M.: Akademiya, 2012. 208 p. (in Russian).

4. Кургузкин М.Г., Кургузкин П.М. Методические аспекты использования фоновых показателей при оценке экологического состояния территорий // Теоретическая и прикладная экология. 2015. № 4. С. 6–11.

Kurguzkin M.G., Kurguzkin P.M. Methodological aspects of using background indicators in assessing the ecological state of territories // Teoreticheskaya i prikladnaya ekologiya. 2015. № 4. P. 6–11 (in Russian).

5. Водопьянова Т.П. Комплексный мониторинг экосистем на особо охраняемых природных территориях (на примере Национального парка «Беловежская пуща») // Труды БГТУ. Экономика и управление. 2011. № 7. С. 114–117.

Vodopyanova T.P. Integrated monitoring of ecosystems in specially protected natural territories (by the example of the National Park «Belovezhskaya Pushcha») // Trudy BGTU. Ekonomika i upravleniye. 2011. № 7. P. 114–117 (in Russian).

6. Иванов А.Л., Иванов А.А., Чимонина И.В. Эндемики и реликты флоры Ставропольской возвышенности и их значение для построения модели флорогенеза центральной части Северного Кавказа. Ставрополь, 2010. 148 с.

Ivanov A.L., Ivanov A.A., Chimonina I.V. Endemic and relics of the flora of the Stavropol Upland and their importance

for constructing a model of florogenesis in the central part of the North Caucasus. Stavropol, 2010. 148 p. (in Russian).

7. Зеленская Т.Г., Степаненко Е.Е., Мандра Ю.А., Капаева В.Ю. Изучение фитоценозов заказника «Солёное озеро» Петровского района как индикаторов состояния стабильности степных экосистем // НаукаПарк. 2016. № 8 (49). С. 52–55.

Zelenskaya T.G., Stepanenko E.E., Mandra Yu.A., Kapayeva V.Yu. A study of the phytocenoses of the Salt Lake reserve of the Petrovsky district as indicators of the state of stability of steppe ecosystems // NaukaPark. 2016. № 8 (49). P. 52–55 (in Russian).

8. Журавлева Л.Л., Хотько Н.И. К значению биологического мониторинга в системе комплексного определения антропогенного воздействия на биоценозы // Проблемы обеспечения химической безопасности в современных услови-

ях: сборник статей Международной научно-практической конференции. Пенза, 2015. С. 31–36.

Zhuravleva L.L., Khotko N.I. On the value of biological monitoring in the system of complex determination of anthropogenic impact on biocenoses // Problemy obespecheniya khimicheskoy bezopasnosti v sovremennykh usloviyakh: sbornik statey Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. Penza, 2015. P. 31–36 (in Russian).

9. Безгина Ю.А., Лобейко Ю.А., Колосова О.Ю., Гончаров В.Н., Авдеева В.Н. Стратегии региональной экономико-экологической безопасности // Вестник АПК Ставрополя. 2016. № 3 (23). С. 240–243.

Bezgina Y.A., Lobeyko Yu.A., Kolosova O.Yu., Goncharov V.N., Avdeeva V.N. Strategy of regional economic and environmental security // Vestnik APK Stavropol'ya. 2016. № 3 (23). P. 240–243 (in Russian).

УДК 556.551:528.88(282.256.341)

ВОССТАНОВЛЕНИЕ ПРОЗРАЧНОСТИ ВОДЫ В ПОВЕРХНОСТНОМ СЛОЕ ОЗЕРА БАЙКАЛ ПО ДАННЫМ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ

Сутырина Е.Н.

ФГБОУ ВО «Иркутский государственный университет», Иркутск, e-mail: ensut78@gmail.com

Прозрачность входит в число важнейших физических показателей качества воды, так как она зависит от содержания растворенных и взвешенных в воде частиц органического и неорганического генезиса. Во внутренних водоемах в качестве характеристики условной прозрачности воды может выступать глубина погружения диска Секки до полного исчезновения из вида. При изучении оз. Байкал с площадью акватории в 31 722 км² необходимым инструментом для оценки величины условной прозрачности воды в пределах всего водного объекта могут служить спутниковые наблюдения. Автором на основании совместного анализа массивов квазисинхронных спутниковых и судовых материалов получены региональные алгоритмы для оценки условной прозрачности в поверхностном слое воды оз. Байкал по материалам, принимаемым прибором AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer). Разработан линейный алгоритм с величиной средней квадратической ошибки в 1,9 м для периодов с начала июня до середины июля и с середины сентября по конец октября. Для периода с середины июля по середину сентября предложен нелинейный алгоритм, имеющий ошибку порядка 0,9 м. Составлена серия карт распределения прозрачности воды в поверхностном слое оз. Байкал в безледный период в разные годы на основе применения разработанных авторских алгоритмов. Проанализирована сезонная и межгодовая изменчивость условной прозрачности воды в ряде лимнических районов оз. Байкал. Изучена связь условной прозрачности воды в поверхностном слое водоема с температурой воды на поверхности оз. Байкал.

Ключевые слова: озеро Байкал, прозрачность воды, дистанционное зондирование, данные AVHRR, региональный алгоритм

RETRIEVAL OF WATER TRANSPARENCY IN THE SURFACE LAYER OF LAKE BAIKAL FROM REMOTE SENSING DATA

Sutyryna E.N.

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Irkutsk State University», Irkutsk, e-mail: ensut78@gmail.com

Water transparency is one of the most important physical indicators of the water clarity, since water transparency depends on the amount of suspended and dissolved substances of bio-logical and inorganic origins in water. The Secchi disk depth is a measure of water transparency. When studying Lake Baikal with the surface area of 31,722 sq. km, remote sensing is a necessary tool to assess water transparency within the entire lake. To develop regional algorithms for estimating the water transparency in Lake Baikal is based on the use of a set of coincident AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer) data and in situ water transparency measurements. Because of research, the linear retrieval algorithm for the periods from the beginning of June to middle of July and from mid-September to the end of October and the nonlinear algorithm for the period from mid-July to mid-September with the root-mean-square error of 1.9 and 0.9 meters respectively were developed. A series of maps of the distribution of water transparency in Lake Baikal for the ice-free period of different years was created using the AVHRR-based regional algorithms. The seasonal and interannual variability of water transparency in a number of lacustrine regions of Lake Baikal was evaluated. The relationship of transparency with the temperature of the water in the lake was studied.

Keywords: Lake Baikal, water transparency, remote sensing, AVHRR data, regional algorithm

Озеро Байкал расположено в Байкальской рифтовой зоне в южной части Восточной Сибири в России вблизи от российско-монгольской границы. Байкал был объявлен объектом Всемирного наследия ЮНЕСКО в 1996 г.. Озеро Байкал с объемом в 23 615 км³ и площадью поверхности в 31 722 км² является крупнейшим по объему и старейшим из существующих пресноводных озер в мире [1].

Озеро Байкал обладает существенными размерами, поэтому весьма затруднительно изучать данный внутренний водоем, как цельный объект, располагая только материа-

лами точечных станционных и судовых наблюдений. Эта проблема может быть решена с внедрением средств и методов дистанционного спутникового зондирования Земли, которое дает возможность получать ряды пространственно-временной информации о протекающих в озере процессах и явлениях и контролировать состояние всего озера.

В условиях меняющегося климата и усиления антропогенной нагрузки на оз. Байкал, в том числе за счет туристической деятельности, возникает необходимость в дистанционном контроле экологически значимых параметров данного водоема.

Актуальной задачей региональных лимнологических и экологических исследований является оценка гидрооптических характеристик внутренних водоемов [2]. Прозрачность воды, в качестве меры которой может выступать глубина погружения диска Секки до полного исчезновения из вида, или условная прозрачность, является одним из ключевых физических показателей качества воды и экологического состояния водоемов.

Это обусловлено тем, что прозрачность зависит от количества оптически активных взвешенных и растворенных в воде веществ неорганического и органического происхождения. «Цветение» воды часто оказывает доминирующее влияние на снижение прозрачности воды в озере [3]. Таким образом, прозрачность, с одной стороны, отражает трофическое состояние водоема и влияние изменения климата на озерную экосистему, с другой, изменение прозрачности может само оказывать влияние на количество солнечной радиации, поглощаемой поверхностными водами, и на термическую стратификацию озера, а также вести к изменениям в продуктивности и биоразнообразии озерных экосистем [3]. Отмеченные выше факторы делают прозрачность воды важным индикатором для обнаружения и мониторинга реакции водной экосистемы на естественные и антропогенные изменения окружающей среды.

В связи со сказанным выше, целью исследования является разработка региональных алгоритмов оценки условной прозрачности в поверхностном слое воды в оз. Байкал по материалам спутниковых наблюдений.

Материалы и методы исследования

Для оценки прозрачности использованы материалы, полученные приборами AVHRR в 1998–2018 гг. Приборы AVHRR функционируют на борту метеорологических спутников серий NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) и MetOp (Meteorological Operational satellite), работающих на околополярных солнечно-синхронных орбитах. Прибор AVHRR – это сканер, который обеспечивает зондирование в видимой, ближней инфракрасной, коротковолновой инфракрасной и тепловой инфракрасной полосах электромагнитного спектра с пространственным разрешением 1,1 км в надире.

На альбедо водной поверхности в видимой области спектра существенное влия-

ние оказывает состав, концентрация и размер оптически активных органических и неорганических веществ, растворенных и взвешенных в воде, которые также обуславливают и величину прозрачности воды. На рис. 1 приведены кривые спектрального альбедо чистой и мутной воды, положение которых значительно различается в видимом диапазоне спектра.

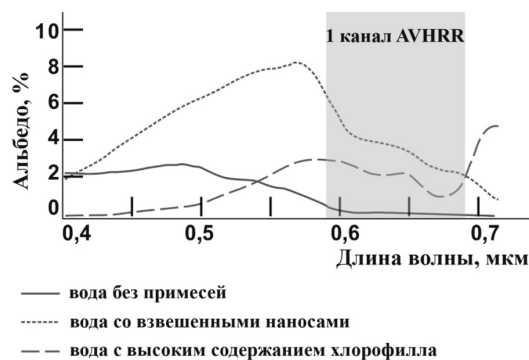


Рис. 1. Кривые спектрального альбедо чистой и мутной воды согласно [4]

В спектральной полосе 0,59–0,69 мкм 1 канала радиометра AVHRR альбедо чистой воды принимает низкие значения (рис. 1). При снижении прозрачности за счет повышения содержания в воде взвешенных наносов и/или хлорофилла происходит увеличение величины альбедо 1 канала AVHRR (рис. 1). В рамках исследования автором разработаны региональные алгоритмы для оценки величины условной прозрачности в поверхностном слое воды оз. Байкал по материалам, полученным прибором AVHRR. Для этого сопоставлены массивы спутниковых и судовых данных, включающие по 138 точек квазисинхронных наблюдений, имеющих разницу во времени соответствующих судовых и спутниковых измерений не более 200 мин.

Чтобы нивелировать существенное влияние высоты солнца над горизонтом на величину отражения, при сопоставлении с судовыми замерами условной прозрачности в работе применялись значения нормализованного альбедо 1 канала AVHRR. Снижение влияния облачности и волнения достигалось в работе посредством выбора спутниковых снимков с низким содержанием облачности, а также процедурами фильтрации облачности и посредством вычисления минимальных значений нормализованного альбедо 1 канала AVHRR по всем

спутниковым изображениям, попадающим в 200-минутный промежуток времени между судовыми и спутниковыми измерениями. Кроме этого, при волнении изменяется не только величина спектрального альbedo поверхности, но и значение условной прозрачности [5], что уменьшает влияние этого фактора на точность оценки прозрачности по значению альbedo.

В итоге совместного анализа спутниковой и судовой информации установлены связи между условной прозрачностью D_s , м, и нормализованным альbedo 1 канала AVHRR A_1 , % (рис. 2).

Разработан линейный алгоритм с величиной коэффициента детерминации 0,82 и средней квадратической ошибки (СКО) в 1,9 м для временного интервала с начала июня до середины июля и с середины сентября по конец октября:

$$D_s = -a_s A_1 + b_s. \quad (1)$$

Для временного интервала с середины июля по середину сентября предложен нелинейный алгоритм, имеющий коэффициентом детерминации 0,66 и СКО порядка 0,9 м:

$$D_s = c_s - d_s (f_s - A_1)^k, \quad (2)$$

где a_s, b_s, c_s, d_s, f_s и k – региональные регрессионные коэффициенты.

Результаты исследования и их обсуждение

В результате исследования на основе разработанных автором алгоритмов составлены карты распределения условной про-

зрачности в поверхностном слое оз. Байкал в безледный период 1998–2018 гг. Примеры карт для отдельных лет показаны на рис. 3.

По результатам спутниковых наблюдений прозрачность в поверхностном слое оз. Байкал имеет заметную изменчивость как во времени, так и в пространстве. В безледный период выраженный максимум прозрачности воды наблюдается в глубоководных районах озера с июня по начало июля. Существует мнение, что это может объясняться интенсивным вертикальным перемешиванием в период весенней гомотермии [6].

Наименьшие значения прозрачности по материалам спутниковых наблюдений регистрируются с конца июля по начало сентября и ассоциируется с «цветением» воды в это время. За период с июня по октябрь в 1998–2018 гг. зарегистрированные значения условной прозрачности в поверхностном слое воды оз. Байкал варьировали от 27,5 м – в глубоководных районах озера, до 0,1 м и менее – вблизи от дельты реки Селенги, в заливах Посольский сор и Провал.

По спутниковым наблюдениям наибольшая амплитуда колебаний условной прозрачности в безледный период зарегистрирована в глубоководных районах озера и составила более 19 м. На мелководных участках акватории, глубина которых не превосходит 20 м (например, в заливах Посольский сор, Провал и Чивыркуйском), зарегистрирована намного меньшая амплитуда колебаний величины прозрачности воды за безледный период, которая в отдельных местах имеет значение менее 3,5 м.

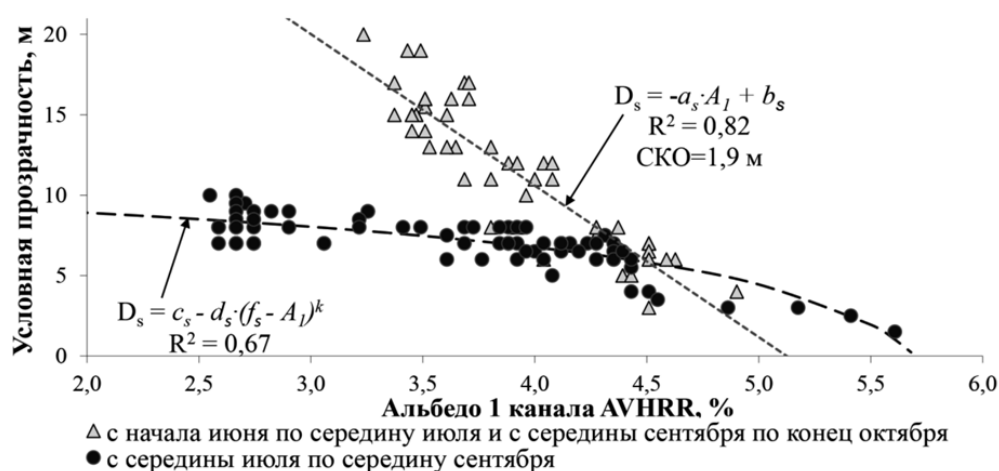


Рис. 2. Связи значений условной прозрачности и нормализованного альbedo 1 канала AVHRR

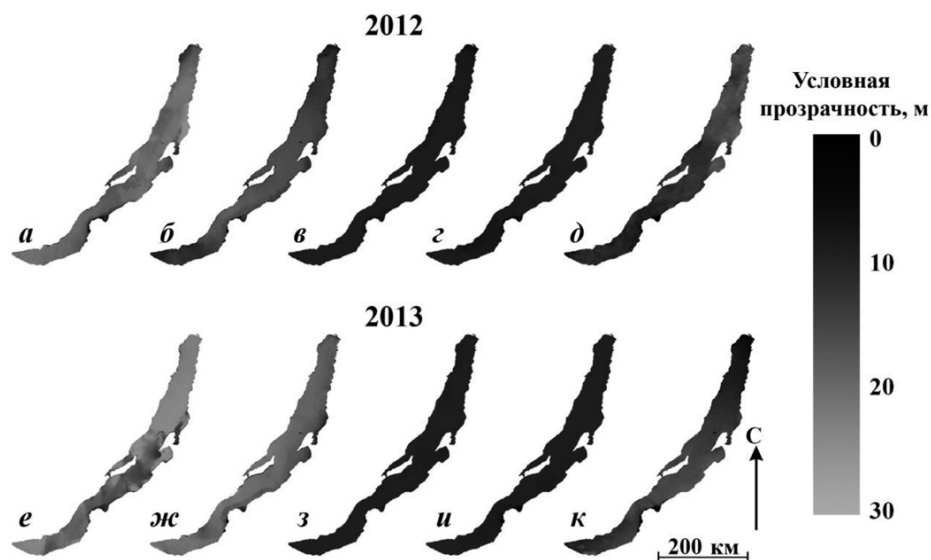


Рис. 3. Спутниковые карты условной прозрачности в поверхностном слое оз. Байкал по материалам AVHRR в 2012 г.: а – 13.06; б – 01.07; в – 28.07; г – 01.09; д – 06.10 и 2013 г.: е – 10.06; ж – 26.06; з – 26.07; и – 31.08; к – 14.10

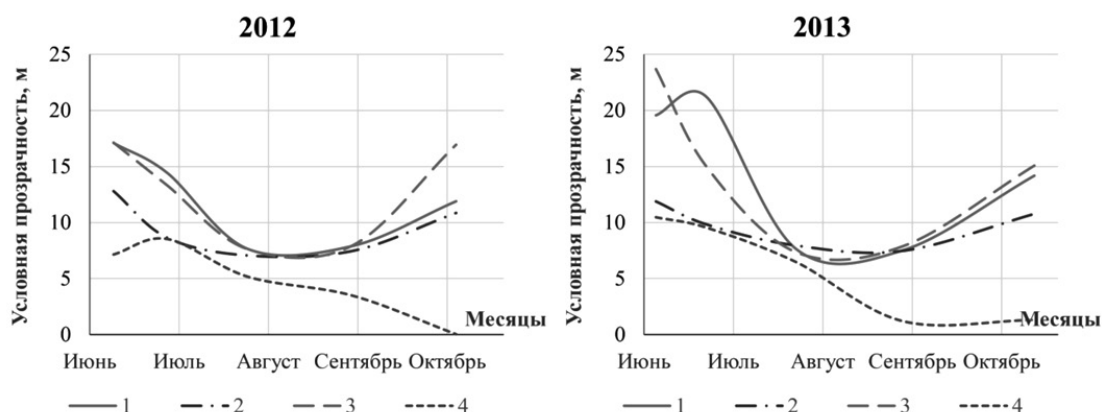


Рис. 4. Изменчивость значений условной прозрачности в поверхностном слое, осредненных по акватории пролива Малое Море (1), Чивыркуйского залива (2), Баргузинского залива (3), залива Провал (4)

Сезонная изменчивость прозрачности в разных лимнических районах существенно различается из-за особенностей их подводного рельефа, термодинамических условий, притока речных вод и т.д. В работе изучены сезонные колебания значений условной прозрачности, осредненных в пределах акваторий некоторых лимнических районов, в ряде лет в безледный период (рис. 4). В проливе Малое Море, в Чивыркуйском и в Баргузинском заливах регистрируется ярко выражен-

ная сезонная изменчивость прозрачности: с наибольшим значением в июне – начале июля и наименьшим – в конце июля – начале сентября, как у озера в целом. В некоторых мелководных заливах (например, в заливах Провал и Посольский сор) в сезонных колебаниях прозрачности воды отмечается сдвиг наименьшего значения на сентябрь-октябрь, что может быть ассоциировано с добавочным перемешиванием воды в результате действия штормовых ветров.

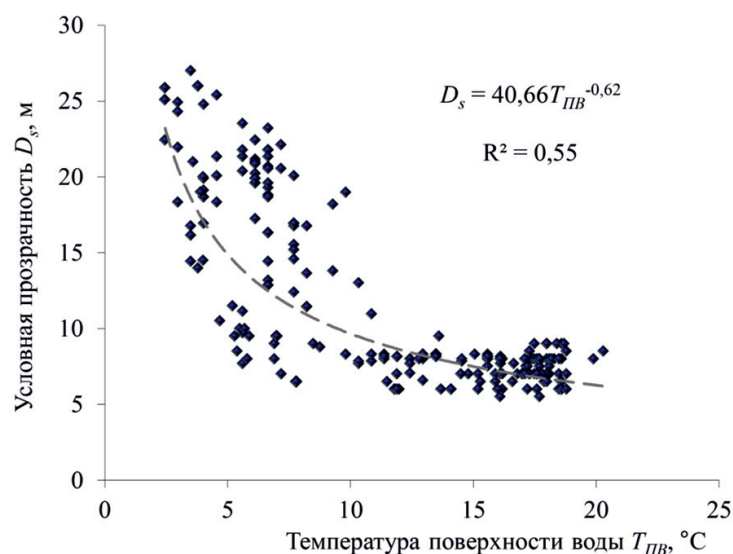


Рис. 5. Связь температуры поверхности воды и условной прозрачности в открытой части оз. Байкал в безледный период

Межгодовые колебания прозрачности воды наиболее заметны с конца июня по июль и связаны со сдвигом сроков прогрева озера в разные годы и, соответственно, сдвигом в межгодовом разрезе начала «цветения» воды.

Вода в поверхностном слое оз. Байкал с июня по октябрь в 1998–2018 гг. по соотношению условной прозрачности со степенью загрязнения [7] в целом является очень чистой. Вместе с этим в таких мелководных заливах, как Провал и Посольский сор, в сентябре и октябре в ряде лет по величине условной прозрачности вода относится к умеренно загрязненной, загрязненной, а иногда даже к грязной.

По спутниковым материалам о распределении температуры поверхности воды в озере [8] и распределении прозрачности для открытой части озера выявлено существование тесной степенной связи между прозрачностью и температурой воды в безледный период с коэффициентом детерминации 0,55 (рис. 5).

Выявление подобной степенной связи с отрицательным показателем степени объясняется закономерным уменьшением прозрачности в результате роста фитопланктона при увеличении температуры поверхности и имеет исключительно важное значение в условиях современных климатических изменений и понимания широкого диапазона их последствий.

Заключение

Автором на основании совместного анализа массивов квазисинхронных спутниковых и судовых материалов предложены региональные алгоритмы для восстановления условной прозрачности в поверхностном слое воды оз. Байкал по спутниковым снимкам прибора AVHRR. Разработанные алгоритмы имеют приемлемую для большинства лимнологических исследований точность. Данные о прозрачности воды в озере, полученные с применением региональных алгоритмов, не противоречат материалам контактных измерений указанной величины с применением диска Секки [6]. Кроме того, спутниковые данные дают возможность исследовать межгодовые и сезонные колебания прозрачности воды, а также уточнять и дополнять имеющуюся точечную судовую и станционную информацию об этой характеристике. Также спутниковая информация о прозрачности в озере является в своем роде уникальным и незаменимым источником для восстановления пространственной структуры распределения условной прозрачности в водоеме, так как пространственная интерполяция точечных судовых изменений прозрачности часто не дает удовлетворительного результата ввиду сложности паттерна данной характеристики в Байкале [9]. Поэтому внедрение

таких методов, как дистанционное зондирование, помогает улучшить детализацию при восстановлении полей прозрачности воды в оз. Байкал и выявлять негативные изменения в экологически значимых факторах окружающей среды, которые могут угрожать многочисленным эндемичным обитателям экосистем озера.

Работа выполнена при частичной поддержке грантов РФФИ № 17-29-05045, № 12-05-31100.

Список литературы / References

1. Troitskaya E., Blinov V., Ivanov V., Zhdanov A., Gnatovsky R., Sutyryna E., Shimaraev M. Cyclonic circulation and upwelling in Lake Baikal. *Aquatic Sciences*. 2015. vol. 77 (2). P. 171–182. DOI: 10.1007/s00027-014-0361-8.
2. Суторихин И.А., Букатый В.И., Акулова О.Б. Динамика гидрооптических характеристик разнотипных озер Алтайского края // *Известия Алтайского государственного университета*. 2013. № 1–1 (77). С. 178–183.
3. Sutorikhin I.A., Bukaty V.I., Akulova O.B. Dynamics of hydro-optical characteristics of various lakes of the Altai Territory // *Izvestija Altajskogo gosudarstvennogo universiteta*. 2013. № 1–1 (77). P. 178–183 (in Russian).
4. Kulshreshtha A., Shanmugam P. Estimation of Secchi Transparency in Turbid Coastal Waters. *Aquatic Procedia*. 2015. vol. 4. P. 1114–1118. DOI: 10.1016/j.aqpro.2015.02.141.
5. Dev P.J., Shanmugam P. New model for subsurface irradiance reflectance in clear and turbid waters. *Optics Express*. 2014. vol. 22 (8). P. 9548–9566. DOI: 10.1364/OE.22.009548.
6. Шамраев Ю.И., Шишкина Л.А. *Океанология*. Л.: Гидрометеоздат, 1980. 386 с.
7. Shamraev Ju.I., Shishkina L.A. *Oceanology*. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1980. 386 p. (in Russian).
8. Поповская Г.И. Удивительный мир водорослей Байкала // *Наука в Сибири*. 2012. № 30–31. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.nsc.ru/HBC/article.phtml?nid=644&id=18> (дата обращения: 18.11.2019).
9. Popovskaja G.I. The amazing world of Baikal algae // *Nauka v Sibiri*. 2012. № 30–31. [Electronic resource]. URL: <http://www.nsc.ru/HBC/article.phtml?nid=644&id=18> (date of access: 18.11.2019) (in Russian).
10. Шитиков В.К., Розенберг Г.С., Зинченко Т.Д. Количественная гидроэкология: методы системной идентификации. Тольятти: ИЭВБ РАН, 2003. 463 с.
11. Shitikov V.K., Rozenberg G.S., Zinchenko T.D. Quantitative hydroecology: systems identification methods. Tolyatti: IEVB RAN, 2003. 463 p. (in Russian).
12. Сутырина Е.Н. Использование данных дистанционного спутникового зондирования для картографического отображения и анализа распределения температуры поверхности воды озера Байкал // *Известия Иркутского государственного университета. Серия «Науки о Земле»*. 2012. Т. 5. № 2. С. 240–251.
13. Sutyryna E.N. Using satellite remote sensing data for mapping and analysis of the distribution of the surface temperature of the water of Lake Baikal // *Izvestija Irkutskogo gosudarstvennogo universiteta. Serija «Nauki o Zemle»*. 2012. V. 5. № 2. P. 240–251 (in Russian).
14. Izmesteva L.R., Pislegina E.V., Krashchuk L.S., Shimaraeva S.V., Zilov E.A., Moore M.V., Hampton S.E., Woo K.H., Ferwerda C.J., Gray D.K. Lake-Wide Physical and Biological Trends Associated with Warming in Lake Baikal. *Journal of Great Lakes Research*. 2016. vol. 42 (1). P. 6–17. DOI: 10.1016/j.jglr.2015.11.006.

УДК 553.3/9:911.6:912.43(571.6)

**РАЙОНИРОВАНИЕ ПРИБРЕЖНОЙ ТЕРРИТОРИИ ТИХООКЕАНСКОЙ
РОССИИ ПО СОЧЕТАНИЮ МИНЕРАЛЬНЫХ РЕСУРСОВ****Ткаченко Г.Г.***ФГБУН «Тихоокеанский институт географии» ДВО РАН, Владивосток,
e-mail: tkatchenko-gri@mail.ru*

Для прибрежной зоны Тихоокеанской России (ПЗТР) проведено природно-ресурсное районирование на основе рассмотрения сочетаний месторождений твердых минеральных ресурсов. Использовалась методика районирования территории с учетом определения основных однородных групп ресурсов. ПЗТР рассматривается в составе административных границ 55 муниципальных образований шести субъектов РФ. На первом этапе исследования дана характеристика месторождений минеральных ресурсов ПЗТР. Выявлены географические и структурные особенности распространения месторождений минерального сырья. Особое внимание уделено анализу территориальных сочетаний месторождений. Среди однородных ресурсных групп выделены основные, которые определяют специфику районообразования в ПЗТР. К ним относятся: благородные металлы, строительные материалы, топливно-энергетические и цветные металлы. На другие ресурсные группы, которые можно считать второстепенными, приходится 4,4% от численности месторождений ПЗТР. На этапе районирования было выделено четыре типа муниципальных районов по преобладанию на их территории месторождений основных ресурсных групп. В каждом из этих типов выделяется также разное количество подтипов (от 2 до 4). Территориально четыре типа ресурсных районов составляют четыре подзоны ПЗТР по сочетанию минеральных ресурсов. Сложная структура ресурсных подзон связана с достаточно большим числом рассматриваемых МО и необходимостью определения и учета всех основных особенностей сочетания минеральных ресурсов, их сходства и различия на муниципальном уровне. Дана краткая характеристика минерально-ресурсных сочетаний минерально-ресурсных подзон. Показан уникальный характер их состава и географического положения. Полученные данные представляют интерес для комплексного регионального пространственного природопользования в зоне контакта суша – океан Тихоокеанской России.

Ключевые слова: минеральные ресурсы, тихоокеанская прибрежная зона, месторождения, районирование территории, территориальные сочетания, природно-ресурсная зона

**ZONING OF THE COASTAL TERRITORY OF PACIFIC RUSSIA
BY COMBINATION OF MINERAL RESOURCES****Tkachenko G.G.***Pacific Institute of Geography Far Eastern Branch Russian Academy of Sciences, Vladivostok,
e-mail: tkatchenko-gri@mail.ru*

For the coastal zone of Pacific Russia (CZPR), natural resource zoning was carried out on the basis of consideration of combinations of deposits of solid mineral resources. The method of zoning the territory, taking into account the definition of the main homogeneous groups of resources was used. CZPR is considered taking into account the administrative boundaries of 55 municipalities of six subjects of the Russian Federation. At the first stage of the study, the characteristic of mineral resources deposits of CZPR is given. Geographical and structural features of mineral deposits distribution are revealed. Special attention is paid to the analysis of territorial combinations of deposits. Among the homogeneous resource groups, the main ones are identified, which determine the specifics of district formation in the CZPR. These include: precious metals, building materials, fuel and energy and non-ferrous metals. Other resource groups, which can be considered secondary, account for only 4.4% of the number of CZPR deposits. At the zoning stage, four types of municipal districts according to the predominance of deposits of the main resource groups in their territory were identified. Each of these types also has a different number of subtypes (from 2 to 4). Geographically, four types of resource areas make up the four subzones of the CZPR on the combination of mineral resources. The complex structure of resource subzones is associated with a sufficiently large number of considered areas and the need to identify and take into account all the main features of the combination of mineral resources, their similarities and differences at the municipal level. The brief characteristic of mineral-resource combinations of mineral-resource subzones is given. The unique nature of their composition and geographical location is shown. The obtained data are of interest for integrated regional spatial nature management in the land-ocean contact zone of Pacific Russia.

Keywords: mineral resources, Pacific coastal territory, deposits, zoning, territorial combinations, natural resource zone

В восточных районах России сконцентрирован разнообразный природно-ресурсный потенциал. Его изучение и комплексная оценка имеют как научное, так и большое практическое значение для устойчивого регионального развития. Прибрежная зона Тихоокеанской России (ПЗТР) представляет

особый интерес в плане комплексной оценки природных ресурсов, так как здесь имеет место сочетание ресурсов суши и океана. Среди огромного многообразия природных ресурсов минеральные ресурсы и их отдельные виды (золото, нефть и т.д.) в виде месторождений достаточно неравномер-

но распространены по территории ПЗТР. Прежде чем переходить к изучению сочетаний месторождений минерального сырья на уровне суша – океан, необходимо определить характер таких сочетаний на суше. Так как шельф – это продолжение континента, то в своей основе минеральные ресурсы в зоне контакта суша – океан со стороны морского шельфа в основном подобны ресурсам суши. Определив характер сочетаний ресурсов по характеристике их месторождений, выделив на основе их однородности ресурсные районы и подзоны ПЗТР, в дальнейшем можно будет включить в их состав и ресурсы океана, получив, таким образом, комплексное представление о характере сочетаний минеральных ресурсов в зоне суша – океан Тихоокеанской России.

Цель исследования: выделить природно-ресурсные подзоны прибрежной территории, дать характеристику их минерально-ресурсных сочетаний, показав уникальный характер их ресурсного состава и географического положения.

Материалы и методы исследования

В географических исследованиях сложились методы изучения пространственной дифференциации природных ресурсов в виде тех или иных их сочетаний в пределах больших территорий с помощью зонирования или районирования. При этом производится выделение или групп однородных природных ресурсов (черных или цветных металлов, угольных ресурсов, нефтегазовых, строительного сырья, и т.п.) или сочетаний ресурсов: топливных, различных металлов, неметаллов и других. Подобные оценки важны при анализе размещения и развития различных отраслей добывающей промышленности. Такие работы выполнялись для многих районов Дальнего Востока (ДВ) [1–3 и др.]. В качестве основного критерия при этом рассматривалось близкое географическое положение отдельных природных ресурсов друг к другу, их размещение в пределах определенной территории [4–6 и др.]. В данной работе ПЗТР рассматривается нами как особая территория, состоящая из муниципальных образований (МО), ДВ имеющих выход к тихоокеанскому побережью. В качестве статистической базы использовались данные по количеству, географической и видовой структуре месторождений минеральных ресурсов, расположенных в пределах данных муниципальных образований, а также ряд работ, посвященных оценке минерально-

ресурсного потенциала отдельных районов или группы районов БЗТР [3, 6–7]. Для корректного определения территориальных сочетаний минеральных ресурсов все виды минерального сырья предварительно структурно сгруппированы в 8 однородных минерально-ресурсных групп (далее – ресурсные группы).

Результаты исследования и их обсуждение

ПЗТР включает в себя побережье нескольких субъектов ДВ: Приморского, Хабаровского и Камчатского краев, Сахалинской и Магаданских областей, а также часть побережья Чукотского АО. От устья реки Туманная до мыса Дежнева протяженность береговой линии составляет 17740 км. Тихоокеанская Россия омывается водами трех морей: Японского, Охотского и Берингова. Территория ПЗТР состоит из 57 МО, ее площадь составляет 1820,2 тыс км², или чуть более 1/4 площади ДВ (рис. 1).

1. *Характеристика месторождений минерального сырья.* На БЗТР приходится около 2500 месторождений минерального сырья или 1/5 от численности месторождений ДВ. Наибольшее количество месторождений приходится на Хабаровский край. Плотность месторождений ПЗТР составляет 1,37 на км², что меньше, чем в среднем по ДВ. Самая большая плотность месторождений БЗТР в Приморском крае. В целом по ПЗТР для данного показателя характерно снижение с юга на север (табл. 1).

На территории БЗТР выявлено 97 видов минерального сырья, представленного в месторождениях в качестве главного вида (без учета попутных полезных ископаемых). В четырех субъектах ДВ из шести имеющих выход к ПЗТР представлено от 44 до 47 видов сырья. Им значительно уступают Чукотский АО и Магаданская область. Можно отметить, что прибрежная территория ни одного из тихоокеанских субъектов ДВ не обладает и половиной разнообразия полезных ископаемых, каким обладает ПЗТР в целом (табл. 1).

Среди видов минерального сырья наибольшая доля от численности месторождений своей группы характерна для золота – 92,9% (благородные металлы), железа – 73% (черные металлы), олова – 46,8% (цветные металлы), каменного угля – 43,9% (топливно-энергетические), серы – 41% (неметаллы), песка – 18,1 (строительные материалы), агата – 39,5% (поделочные и ювелирные камни).

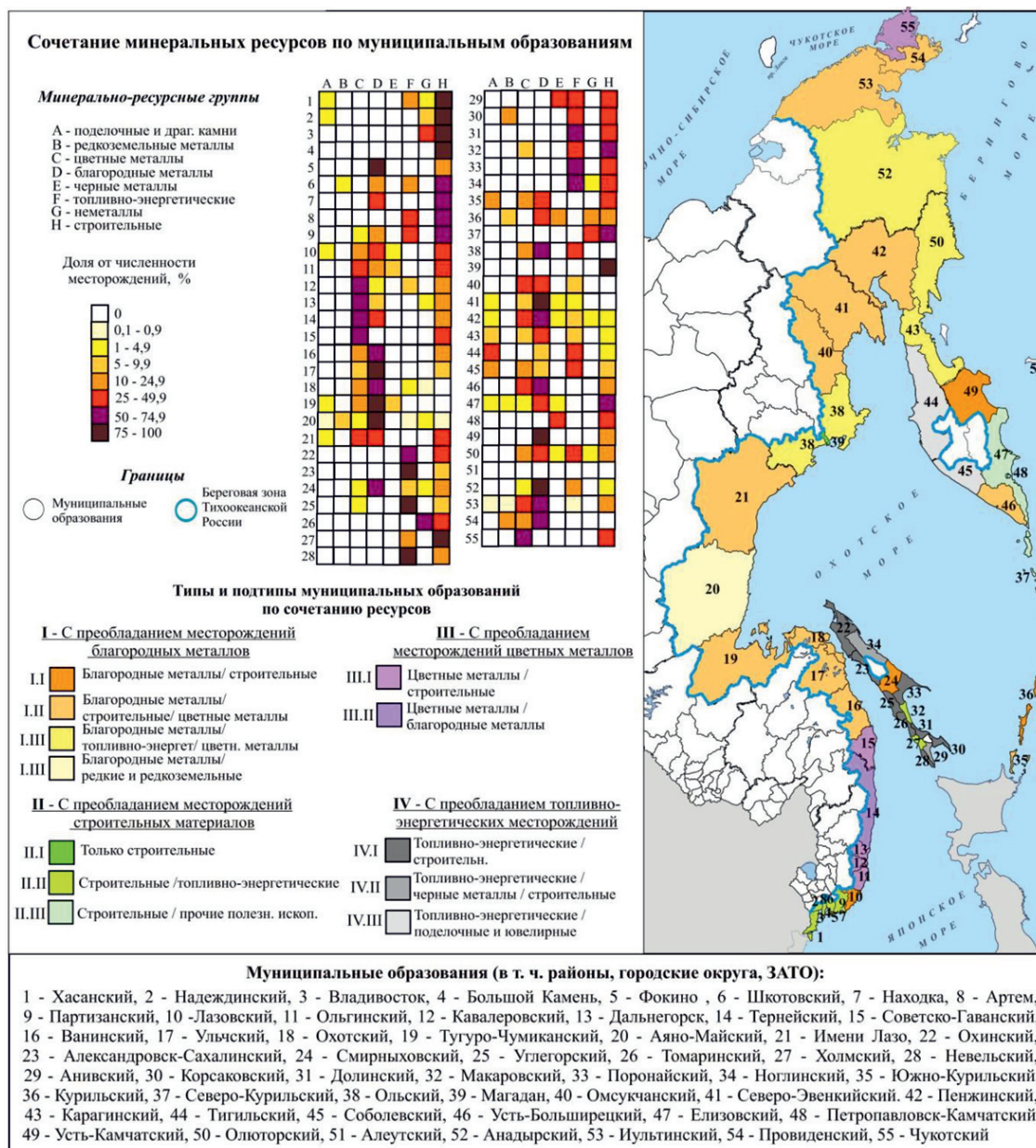


Рис. 1. Типология муниципальных образований прибрежной зоны Тихоокеанской России по сочетанию месторождений минерального сырья

Из 57 МО ПЗТР далее рассматриваются 55, так как в двух МО по используемым нами данным месторождения отсутствуют (ЗАТО Вилучинский рассматривается вместе с ГО Петропавловск-Камчатский, а ГО Палана – вместе с Тигильским районом Камчатского края). Среди МО ПЗТР с численностью месторождений более 100 можно выделить районы Хабаровского края: Аяно-Майский – 279, Тугуро-Чу-

миканский – 131, Ульчский – 127, Охотский – 120; Чукотки: Иультинский – 195, Анадырский – 157. Камчатки: Пенжинский – 137. Все это относительно северные районы с невысокой освоенностью довольно большой по площади территории. Максимальная плотность месторождений – 69,1 на 1000 км² характерна для территории расположенной на юге ПЗТР – Артемовского ГО в Приморье.

Таблица 1

Географические характеристики ПЗТР по субъектам РФ (доля от субъекта, %)

№	Субъекты РФ	Территория тыс. км ²	Кол-во МО	Месторождения			Кол-во видов ресурсов
				Кол-во, ед.	Доля от БЗТР, %	Плотн. на 1000 км ² (*)	
1	Приморский кр.	62 (38)	14	413 (48)	16,5	6,7 (5,4)	Н-45,7; С-25
2	Хабаровский кр.	540 (69)	7	749 (56)	30	1,39 (1,7)	Д-78,3; С-11
3	Сахалинская обл.	80 (92)	16	447 (97)	17,9	5,6 (5,3)	Ф-55,2; Н-27
4	Магаданская обл.	239 (52)	4	188 (10)	7,5	0,79 (4,1)	Д-64,4; С-26
5	Камчатский кр.	418 (90)	12	330 (85)	13,2	0,8 (0,86)	Д-47; С-14,8
6	Чукотский АО	481 (67)	4	369 (43)	14,9	0,77 (1,2)	Д-62,1; С-21
ВСЕГО по БЗДВ (***)	1820 (68)	57		2496 (43)	100	1,37	Д-48; Н-17,2; Ф-15; С-14,9

Примечание: * плотность месторождений по субъекту РФ; ** обозначение основных сырьевых групп дано на рис. 1; *** доля от суммы субъектов, %.

Таблица 2

Ресурсы группы месторождений прибрежной зоны Тихоокеанской России и их характеристика

Ресурсная группа	Численность месторождений*	Доля от численности месторождений, %	Число районов распространения/К**	Кол-во видов ресурсов в группе	Основные ресурсы – численность месторождений / число районов распространения / доля от численности месторождений группы, %	Муниципальные образования – лидеры по количеству месторождений
1. Подолочные и ювелирные камни	38	1,5	14 / 0,25	14	Агат – 15 / 4 / 39,5	Тигильский – 11
2. Редкие и редкоземельные металлы	25	1	8 / 0,15	7	Ниобий – 6 / 2 / 24 Уран – 6 / 3 / 24	Аяно-Майский – 5
3. Цветные металлы	373	14,8	30 / 0,54	13	Олово – 174 / 16 / 46,8 Свинец и цинк – 51 / 8 / 13,7 Медь – 40 / 14 / 10,6	Игульгинский – 57, Омсукчанский – 36 Дальнеторск – 30 Тернейский – 13
4. Благородные металлы	1206	48,5	32 / 0,58	3	Золото – 1120 / 31 / 92,9 Серебро – 62 / 13 / 5,1	Аяно-Майский – 232, Ульятский – 111 Омсукчанский – 25, Анадырский – 15
5. Черные металлы	26	1	10 / 0,18	3	Железо – 19 / 8 / 73	Тугуро-Чумиканский – 7
6. Топливо-энергетические ресурсы	379	15,1	32 / 0,58	4	Каменный уголь – 166 / 21 / 43,9 Бурий уголь – 118 / 25 / 31,2	А. Сахалинский – 44, Углеторский – 39 Невельский – 15, Артем, Поронайск – 12
7. Неметаллы	22	0,9	13 / 0,24	6	Сера – 9 / 5 / 41 Фосфориты – 6 / 3 / 27	Курильский и Пенжинский – 3 Аяно-Майский – 4
8. Строительные материалы	432	17,2	48 / 0,87	47	Песок – 78 / 26 / 18,1 Глина – 59 / 20 / 13,6 Известняк – 24 / 9 / 5,6	Охинский – 16 Артем – 13 Партизанский – 8
ВСЕГО по ПЗТР	2503	100	55 / 1	97	Золото, олово, каменный уголь, бурий уголь, серебро	Аяно-Майский – 279, Игульгинский – 195, Анадырский – 157, Пенжинский – 137

Примечание: * Месторождения учтены Государственным балансом запасов, К** – коэф. распространенности по районам = число районов распространения / число районов ПЗТР [Сост. по 7].

2. *Характеристика сочетаний месторождений минеральных ресурсов.* Ресурсные группы ПЗТР отличаются между собой как по количеству представленных в них видов сырья, так и по численности относящихся к ним месторождений (табл. 2). Минерально-сырьевая база ПЗТР имеет ярко выраженный характер «окраинных территорий», когда преобладают месторождения высоколиквидных ресурсов, в данном случае – благородных металлов, на которые приходится почти половина всех месторождений. Численность месторождений по другим ресурсным группам значительно ниже. Среди важнейших ресурсных групп можно выделить: строительные материалы, топливно-энергетические и цветные металлы. Специфику районообразования в ПЗТР определяют минеральные ресурсы перечисленных четырех ресурсных групп. На другие ресурсные группы, которые можно считать второстепенными, приходится только 4,4% от численности месторождений ПЗТР.

После золота самыми многочисленными по количеству месторождений видами ресурсов ПЗТР являются олово, каменный и бурый уголь, песок, серебро, глина, полиметаллы (свинец цинк), медь, известняк. По распространенности среди МО можно выделить такие виды ресурсов, как золото – выявлено в 31 МО, песок – в 26, бурый уголь – в 25, известняк – в 24, каменный уголь – в 21, глина – в 20, олово – в 16, медь – в 14, серебро – в 13 (табл. 2). Распространенность по МО других видов минерального сырья можно считать невысокой.

Наибольшее количество видов ресурсов представлено в группе строительных материалов – 47, в группе поделочные и ювелирные камни – 14, цветных металлов – 13. В других ресурсных группах количество представленных видов сырья менее 10. По количеству распространенности месторождений одного определенного ресурса в МО лидерами являются Аяно-Майский – 232 и Ульчский – 111 (оба золото), Иультинский – 57 (олово), Александровск-Сахалинский – 44 и Углегорский – 39 (оба каменный уголь).

Важной особенностью для МО, относящихся к Магаданской области, является еще более высокая доля месторождений группы цветных металлов – 26,6% и группы благородных металлов – 64,4% в сравнении с аналогичным показателем в целом по ПЗТР. Для Хабаровского края это характерно для

благородных металлов – 78,3%. Для Сахалинской области – для топливно-энергетических ресурсов – 55,2% и строительных материалов – 26,6%. Для Приморского края – для строительных материалов – 46% и цветных металлов – 25%. Для Чукотского АО – для благородных металлов – 62,1% и цветных металлов – 21,1%. Для Камчатского края можно отметить самую высокую долю месторождений группы поделочные и ювелирные камни – 7,9% при 1,6% в среднем по ПЗТР (табл. 1).

3. *Районирование.* Исходя из рассмотренной нами выше специфики географической и видовой структуры месторождений по административным территориям ПЗТР, проведена типология МО по преобладанию на их территории месторождений ресурсных групп. Выделено четыре типа таких районов, три из которых имеют разное количество подтипов (рис. 1). Территориально четыре типа ресурсных районов составляют четыре подзоны ПЗТР по сочетанию минеральных ресурсов. Довольно сложная структура ресурсных районов, когда кроме основных типов выделяются и их подтипы, связана с достаточно большим числом рассматриваемых МО и необходимостью определения и учета по возможности всех основных особенностей сочетания минеральных ресурсов, их сходства и различия на муниципальном уровне. В названии типов МО указаны преобладающие ресурсные группы месторождений, которые представлены на данной территории. Подтипы отображают структурированное многообразие сочетаний внутри каждого типа МО. Исходя из такого рода типологии МО всю территорию каждого из типов МО по преобладанию на их территории месторождений основных ресурсных групп можно считать отдельной подзоной ПЗТР (рис. 2). Основные показатели, характеризующие такие подзоны, показаны в табл. 3. Далее дадим их краткую характеристику:

I. Подзона с преобладанием месторождений благородных металлов в структуре месторождений МО, имеющих выход к тихоокеанскому побережью, занимает особое место. Здесь сосредоточена наивысшая численность месторождений (65,4%) за счет месторождений золота, как было отмечено выше, самого многочисленного по численности месторождений минерального вида ресурсов ПЗТР. Она значительно опережает другие подзоны по количеству МО в своем составе среди других под-

зон – 23. Также она занимает подавляющую площадь – 84 % от площади ПЗТР (рис. 2). Из недостатков можно выделить слабую геологическую разведанность территории. Так плотность месторождений здесь составляет 1,07 на 1000 км², что является самым низким показателем среди рассматриваемых подзон. В то же время здесь проживает только 17 % от населения ПЗТР, при плотности всего лишь 0,22 чел на км². Что касается характеристики сочетаний месторождений минерального сырья, то, помимо определяющей ресурсной группы, можно выделить месторождения группы цветных металлов и строительных материалов, на которые приходится соответственно 15,4 и 6,5 % численности месторождений.

II. Подзона с преобладанием месторождений строительных материалов состоит из 13 МО (второе место среди численности) проживает 2/3 населения ПЗТР, при этом ее площадь наименьшая среди подзон, а плотность месторождений здесь наивысшая за счет малой площади территории и достаточно большой численности месторождений (2 место среди подзон). Географически она занимает юг Приморского края, небольшую территорию на Сахалине и юго-восточное побережье Камчатки с Северной частью Курильских островов.

III. Подзона с преобладанием месторождений цветных металлов располагает наименьшим количеством месторождений

среди подзон ПЗТР, а также наименьшей численностью населения. Площадь ее территории менее 5 % от площади ПЗТР и она включает только 6 МО: 5 в Приморском крае и 1 – на Чукотке.

IV. Подзона с преобладанием месторождений топливно-энергетических ресурсов географически ограничивается островом Сахалин и западным побережьем Камчатки и включает 12 МО. Она имеет средний уровень плотности населения. Численность месторождений достаточно высока.

Заключение

Выполнено районирование территории ПЗТР в рамках Дальневосточного макрорегиона. Территориальные минерально-ресурсные сочетания в его пределах являются наиболее полным объектом комплексных оценок минерально-ресурсного потенциала. На их основе выделены минерально-ресурсные районы, которые объединены в 4 подзоны. Это позволило получить более полные оценки природно-ресурсного потенциала минерально-ресурсных районов и на их основе выявить специфику соответствующих подзон. В перспективе, с учетом полученных данных, дополненных характеристиками сочетаний ресурсов океана, по нашему мнению, возможно более содержательно оценивать варианты природопользования и комплексного регионального пространственного развития в зоне контакта суша – океан на примере Дальневосточного макрорегиона.

Таблица 3

Характеристика подзон по результатам районирования территории ПЗТР по сочетанию ресурсов твердого минерального сырья. Составлено по: [7]

№ под-зоны	Название	Минерально-ресурсный тип районов	Площадь, тыс км ² / доля от ПЗТР, %	Кол-во месторождений / доля от ПЗТР, %	Основные ресурсные группы* и их доля в структуре месторождений, %	Кол-во МО	Население, тыс. чел/ **
I	Благородных металлов	I-I, I-II, I-III, I-IV, II-I	1526,6 / 84	1639 / 65,4	D – 69,5; C – 15,4; H – 6,5	23	346 / 0,22
II	Строительных ресурсов	II-I, II-II, II-III	63,3 / 3,5	331 / 13,2	H – 62,9; F – 17,2; D – 15,1	13	1355 / 21,4
III	Цветных металлов	III-I, III-II	89,4 / 4,9	180 / 7,2	C – 61,6; H – 24,4; D – 10	6	126 / 1,4
IV	Топливо-энерг. ресурсов	IV-I, IV-II, IV-III	139 / 7,6	356 / 14,2	F – 71,9; H – 20,8; A – 4,2	12	198,3 / 1,4

Примечание: * обозначение дано на рис. 1 и 2; ** плотность населения на 1 км².

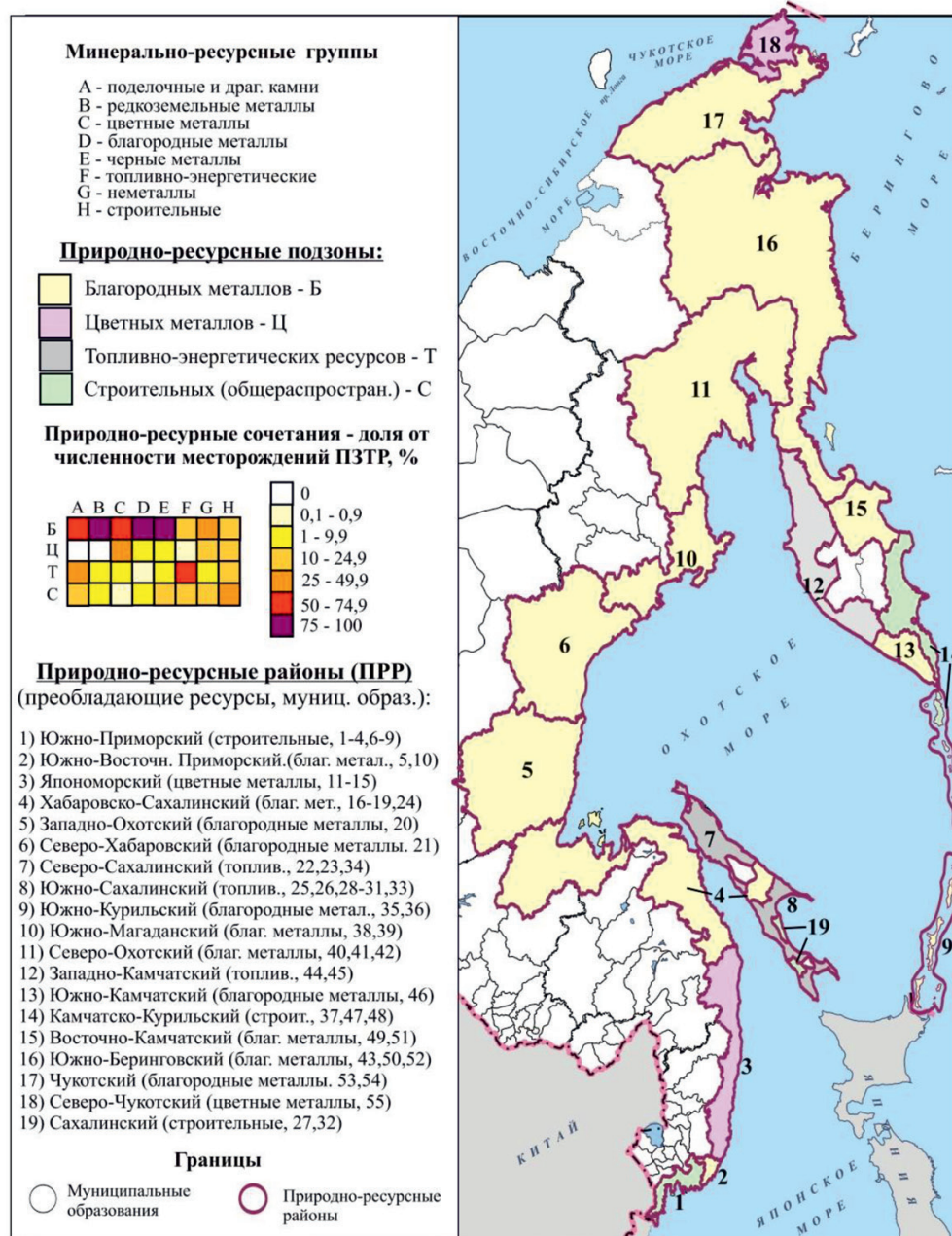


Рис. 2. Минерально-ресурсные подзоны прибрежной зоны Тихоокеанской России (названия МО даны на рис. 1)

Результаты исследований получены в рамках государственного задания Минобрнауки РФ (тема «Географические и геополитические факторы в инерционности, динамике и развитии разноранговых территориальных структур хозяйства и расселения населения Тихоокеанской России», № АААА-А16-116110810013-5. Раздел 1).

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-05-80006.

Список литературы / References

1. Геосистемы Дальнего Востока России на рубеже XX–XXI веков. Том II. Природные ресурсы и региональное природопользование / Под общ. ред. П.Я. Бакланова. Владивосток: Дальнаука, 2010. 560 с.

Geosystems of Far East of Russia on boundary of XX–XXI centuries. Vol. II. Natural resources and regional management / Pod obshch. red. P.Ya. Baklanova. Vladivostok: Dal'nauka, 2010. 560 p. (in Russian).

2. Приваловская Г.А., Волкова И.Н. Сочетание природных и социально-экономических ресурсов в развитии регионов России // Известия РАН. Серия географическая. 2009. № 5. С. 7–21.

Privalovskaya G.A., Volkova I.N. Natural and Socio-Economic Resources for Development of Regions in Russia // Izvestiya RAN. Seriya geograficheskaya. 2009. № 5. P. 7–21 (in Russian).

3. Ткаченко Г.Г. Территориальные сочетания месторождений строительных ресурсов российской части прибрежной зоны Японского моря // Успехи современного естествознания. 2019. № 11. С. 154–160. DOI: 10.17513/use.37255.

Tkachenko G.G. Territorial combinations of deposits of construction resources of the Russian part of the coastal zone of the Sea of Japan // Advances in current natural sciences. 2019. № 11. P. 154–160 (in Russian).

4. Михайлов Ю.П. Территориальная организация природы и общества. Новосибирск: Наука, 2012. 351 с.

Mihajlov Yu.P. Territorial organization of nature and society. Novosibirsk: Nauka, 2012. 351 p. (in Russian).

5. Национальный доклад «Стратегические ресурсы России» / Под ред. Глазовского Н.Ф. М.: Фонд национальных изобретений, 1996. 122 с.

National report «Strategic resources of Russia» / Pod red. N.F. Glazovskogo. M.: Fond nacional'nyh izobretenij, 1996. 122 p. (in Russian).

6. Ткаченко Г.Г. Районирование российской части прибрежного региона Японского моря по сочетанию минеральных ресурсов // Геосистемы восточных районов России: особенности их структур и пространственного развития. Владивосток: ФГБУН Тихоокеанский институт географии ДВО РАН, 2019. С. 66–73. DOI: 10.35735/tig.2019.62.32.008.

Tkachenko G.G. Zoning of the Russian part of the coastal region of the Sea of Japan by the combination of mineral resources // Geosistemy Severo-Vostochnoj Azii: osobennosti ih prostranstvenno-vremennyh struktur, rajonirovanie territorii i akvatorii. Vladivostok: Tihookeanskij institut geografii DVO RAN, 2019. P. 63–73 (in Russian).

7. Объекты учета государственного кадастра месторождений. Федеральное агентство по недропользованию Роснедра. РОСГЕОЛФОНД. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.rfgf.ru/gkm/> (дата обращения: 10.11.2019).

Objects of accounting of the state cadaster of deposits. Federal'noe agentstvo po nedropol'zovaniyu Rosnedra. ROSGEOLFOND. [Electronic resource]. URL: <http://www.rfgf.ru/gkm/> (date of access: 10.11.2019) (in Russian).

УДК 551.4:57.049(571.1)

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАДОНООПАСНОСТИ ТЕРРИТОРИЙ НЕКОТОРЫХ ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКИХ СТРУКТУР ЗАПАДНО-СИБИРСКОЙ НИЗМЕННОСТИ

Токарева А.Ю., Алимова Г.С.

*ФГБУН «Тобольская комплексная научная станция» Уральского отделения
Российской академии наук, Тобольск, e-mail: aytokareva@list.ru*

Радон – это радиоактивный газ, образующийся при радиоактивном распаде ^{238}U , ^{235}U и ^{232}Th в литосфере и влияющий на процессы образования раковых клеток в легких человека. Поэтому изучение радоноопасности почв актуально при планировании жилищных застроек. Целью работы является сравнение степени радоноопасности территорий трех геоморфологических структур Западно-Сибирской низменности: Кондинской низменности, Тобольского материка, Среднеиртышская низменность. Для достижения поставленной цели применен показатель – плотность потока радона. В рамках исследования с помощью измерительного комплекса «Камера-01» проведено определение плотности потока радона с поверхности почвы и на глубине 0,2; 0,4; 0,6; 0,8; 1 м в 24 точках, расположенных в пойме магистральных рек – Иртыш и Тобол. В результате получены современные данные по радоноопасности почв вблизи населенных пунктов в границах Тобольского, Вагайского и Ярковского районов Тюменской области. Выявлено, что на всех исследованных территориях плотность потока радона уменьшается от глубины к поверхности почвы. Высокие показатели (максимальное значение – 729 мБк/м²·с) на глубине до 1 м свидетельствуют о наличии «материнских» минералов в грунтах. На всех исследованных территориях плотность потока радона не превышает 80 мБк/м²·с на поверхности почвы, что соответствует первому классу – низкому уровню радоноопасности. Впервые на исследуемых территориях установлено, что наибольшими значениями плотности потока радона на глубине до 1 м отличаются почвы Тобольского материка, представляющие собой по гранулометрическому составу: супесь (154 мБк/м²·с), легкие суглинки (110 мБк/м²·с), средние суглинки (188 мБк/м²·с) и тяжелые суглинки (172 мБк/м²·с).

Ключевые слова: радон, плотность потока радона, гранулометрический состав, Кондинская низменность, Тобольский материк, Среднеиртышская низменность, Тобольск, почва

COMPARATIVE CHARACTERISTICS OF RADON HAZARD OF TERRITORIES OF SOME GEOMORPHOLOGICAL STRUCTURES OF THE WEST SIBERIAN LOWLAND

Tokareva A.Yu., Alimova G.S.

*Tobolsk Complex Scientific Station of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences,
Tobolsk, e-mail: aytokareva@list.ru*

Radon is a radioactive gas produced by the radioactive decay of ^{238}U , ^{235}U and ^{232}Th in the lithosphere. It affects the formation of cancer cells in the human lungs. Therefore, the study of soil radon hazard is relevant when planning housing developments. The aim of the work is to compare the degree of radon hazard of the territories of three geomorphological structures of the West Siberian lowland: the Kondinskaya lowland, the Tobolsk mainland, the middle Irtysh lowland. To achieve this goal, the indicator – radon flux density – was applied. As part of the study, using the measuring complex «Camera-01», radon flux density was determined from the soil surface and at a depth of 0.2; 0.4; 0.6; 0.8; 1 m at 24 points located in the floodplain of the main rivers – Irtysh and Tobol. As a result, modern data on radon hazard of soils near settlements within the boundaries of Tobolsk, Vagay and Yarkovsky districts of the Tyumen region were obtained. It was revealed that in all the studied territories the radon flux density decreases from the depth to the soil surface. High indicators (maximum value – 729 mBq/m²·s) at a depth of 1 m, indicate the presence of «parent» minerals in the soil. In all the studied areas, the radon flux density does not exceed 80 mBq/m²·s on the soil surface, which corresponds to the first class – a low level of radon hazard. For the first time in the studied territories it was found that the greatest values of radon flux density are different soils of the Tobolsk continent, which are granulometric composition: sandy loam (154 mBq/m²·s), light loam (110 mBq/m²·s), medium loam (188 mBq/m²·s) and heavy loam (172 mBq/m²·s) at a depth of up to 1 m.

Keywords: radon, radon flux density, granulometric composition, Kondinskaya lowland, Tobolsk mainland, middle Irtysh lowland, Tobolsk, soil

Земная кора с самого начала своего образования содержит естественные радиоактивные элементы, создающие естественный радиационный фон. Вклад радона в формирование дозы облучения человека в процессе его жизни от естественных источников оценивается в 54 % [1]. Радон – бесцветный инертный газ; радиоактивен. Наиболее стабильный изотоп (^{222}Rn) имеет период полу-

распада 3,8 суток. Входит в состав радиоактивных рядов ^{238}U , ^{235}U и ^{232}Th . Ядра радона постоянно возникают в природе при радиоактивном распаде материнских ядер. Ввиду химической инертности радон относительно легко покидает кристаллическую решётку «родительского» минерала и попадает в подземные воды, природные газы и воздух. Негативный эффект от облуче-

ния радоном связан с индуцированием рака легкого и преждевременной смертью от этого заболевания [2]. В приземном слое атмосферы влияние радона и его продуктов распада на здоровье населения значительно, поскольку основным источником их выделения является почва. Величиной, характеризующей радоновую опасность грунта, является плотность потока радона (ППР), она указывает на интенсивность выхода газа на земную поверхность [3, 4]. Многочисленные исследования почвенного радона указывают на то, что величина его параметров, прежде всего, зависит от геологической обстановки, так, граниты, в которых много урана, являются активными источниками радона. На концентрацию газа оказывают влияние и иные характеристики почв, такие как гранулометрический состав, пористость, плотность, влажность и т.д. [1].

Город Тобольск находится на стыке трех геоморфологических структур Западно-Сибирской низменности: Тобольского материка, Кондинской и Среднеиртышской низменностей. Исследованные территории принадлежат центральной части Западно-Сибирской равнины, которая характеризуется почти плоским рельефом. Незначительная амплитуда тектонических подвижек послужила причиной низменного гипсометрического статуса равнины. Тобольский материк – это приподнятая по отношению к окружающей её территории равнина, имеющая общий региональный уклон на север, в сторону р. Иртыш повсеместно заканчивается обрывом высотой 40–60 м, над уровнем реки, рассечена правыми притоками Иртыша, наиболее крупные – Демьянка и Туртас. На большей части равнина плоская, что замедляет сброс воды, междуречья плохо дренированы и сильно заболочены [5]. Левый берег р. Иртыш подзоны южной тайги занимают смыкающиеся между собой низменности – Среднеиртышская и Кондинская. Они схожи между собой по строению и представлены современной поймой, низкими надпойменными террасами и пониженными равнинами. Более низкое положение занимает Кондинская. Обе равнины плоские, имеют небольшой региональный уклон в сторону р. Иртыш, отсюда сброс воды реками очень затруднен. Эрозийная сеть здесь практически отсутствует. Степень заболоченности равнин значительно выше, чем на Тобольском материке, особенно в Кондинской низменности [5].

При сравнении степени радоноопасности территорий, помимо геологической

обстановки наиболее значимыми являются физические свойства почвы, которые определяют способность радона высвободиться на поверхность. Ввиду своей инертности атомы радона не вступают в химическое взаимодействие с элементами почвы, но способны адсорбироваться на глинистых частицах, хорошо растворяются в воде. Эскаляция (выделение) радона из почвы осуществляется двумя путями: за счет отдачи и за счет диффузии. Поступление радона в поры почвы за счет эффекта отдачи определяется энергией распада материнского нуклида, величиной площади внутренней поверхности пор, развитостью рельефа пор и влагонасыщенностью пор почвы. Эскаляция за счет диффузии осуществляется путем миграции радона по веществу почвы и диффузией по порам [6].

Цель исследования: сравнение степени радоноопасности территорий трех геоморфологических структур Западно-Сибирской низменности: Кондинская низменность, Тобольский материк, Среднеиртышская низменность.

Материалы и методы исследования

В рамках исследования проведено определение плотности потока радона с поверхности почвы и на глубине 0,2; 0,4; 0,6; 0,8; 1 м в 24 точках, расположенных в пойме магистральных рек – Иртыш и Тобол в границах Тобольского, Вагайского и Ярковского районов Тюменской области. Исследованная территория принадлежит трем геоморфологическим структурам Западно-Сибирской низменности: Кондинская низменность (точки 1–2), Тобольский материк (точки 3–12), Среднеиртышская низменность (точки 13–24) (рис. 1).

Измерения плотности потока радона в почвах выполнены комплексом для мониторинга радона «КАМЕРА-01» в соответствии с руководством пользователя и МУ 2.6.1.038-2015 «Оценка потенциальной радоноопасности земельных участков под строительство жилых, общественных и производственных зданий».

Исследования проводились в период с 25 июня по 12 июля 2018 г. при отсутствии атмосферных осадков, температура воздуха 23–30 °С, атмосферное давление 746–761 мм рт. ст., время экспозиции не менее 3 ч. Методологические основы изучения плотности потока радона заключаются в прямом измерении посредством поверенных средств измерений – комплексов измерительных по мониторингу радо-

на, как в России, так и за рубежом [1, 3]. Самыми информативными для решения задач радонового контроля являются глубины до 1 м [7]. Общее количество измерений Q в почвах – 447. Географические координаты исследуемых точек определены навигатором GPSMAP 62s. Гранулометрический состав исследуемых почв определен по методу Рутковского, их классификация – по Н.А. Качинскому. Статистический анализ проведен в программе EXCEL.

Результаты исследования и их обсуждения

На всей исследованной территории значения ППР уменьшаются от глубины 100–60 см к поверхности почвы (рис. 2). Максимальные значения отмечены на Тобольском материке в легких суглинках на глубине 1 м – 609 мБк/м²·с, на Среднеиртышской низменности на глубине 1 м – 729 мБк/м²·с в тяжелых суглинках. Это обусловлено тем, что суглинистые почвы обладают большей плотностью и высокими сорбционными свойствами, что препятствует выходу газа на поверхность почвы. На меньших глубинах радон рассеивается в атмосферном воздухе [1]. На поверхности почвы во всех точках измерений

ППР не превышает 80 мБк/м²·с, что соответствует первому классу радоноопасности в соответствии с ОСПОРБ 99/2010.

Почвообразующими породами исследуемых геоморфологических структур являются поверхностные отложения четвертичных пород единого генезиса и условий залегания. В целом это преимущественно озерно-аллювиальные отложения. После их формирования поверхностная часть претерпела изменения под воздействием геологических и климатических факторов [5]. Свойства этих пород имеют довольно строгую зависимость от высотного уровня [5], что подтверждают результаты исследования. Почвы Кондинской низменности в большинстве представляют супеси и легкие и средние суглинки (таблица). Тобольский материк и Среднеиртышская низменность характеризуются суглинистыми почвами (легкими, средними и тяжелыми суглинками). В супесчаных почвах, а также легких, средних и тяжелых суглинках ППР распределена следующим образом: Тобольский материк > Среднеиртышская низменность > Кондинская низменность (рис. 3). Кондинская низменность занимает наиболее низкое положение на высотном уровне и наиболее других заболочена.



Рис. 1. Районы исследования плотности потока радона в почве на глубине 0–1 м:

—— Границы геоморфологических районов (по Л.Н. Каретину) [5]

■ Точки определения плотности потока радона

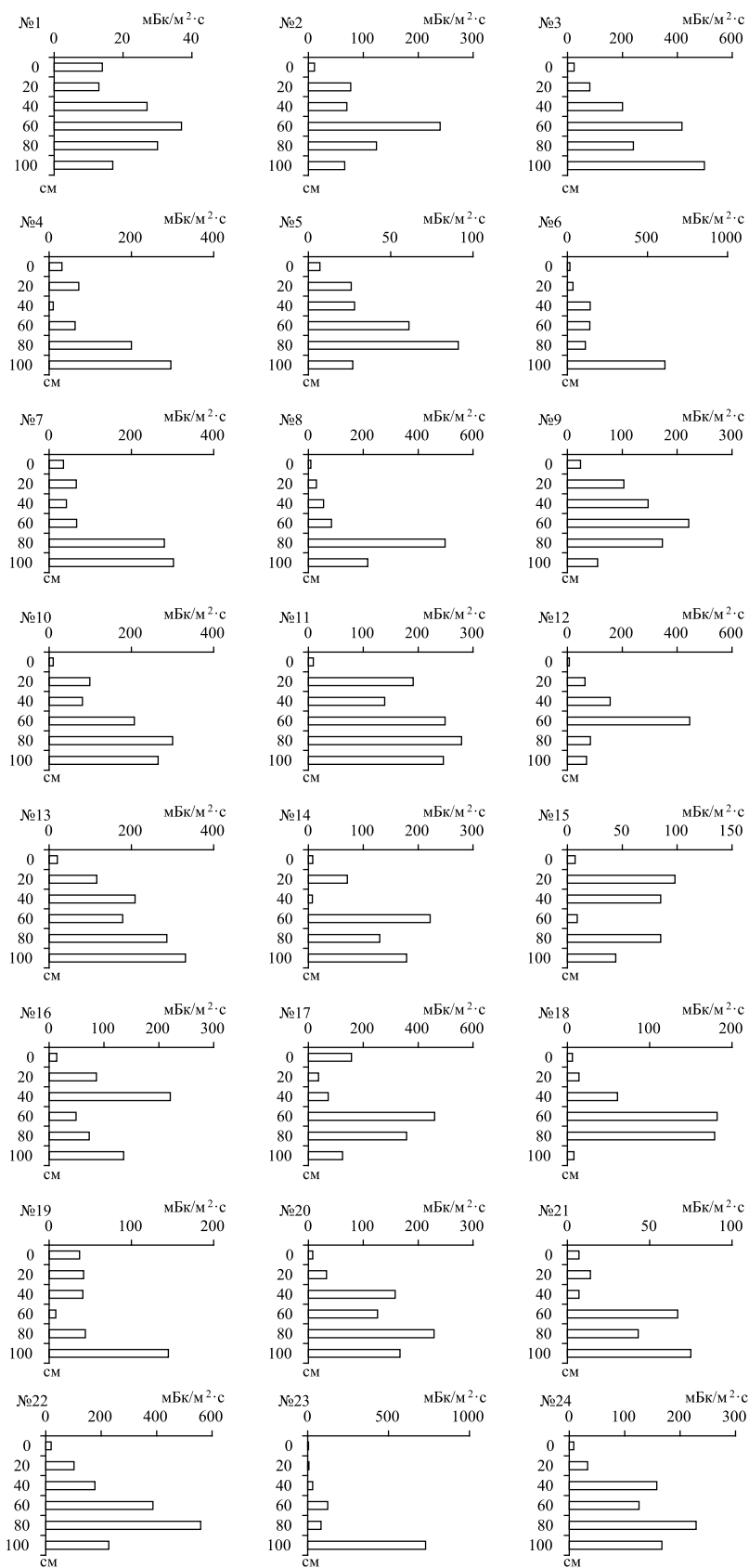


Рис. 2. Плотность потока радона в почвах на глубине до 1 м в пределах трех геоморфологических структур Западно-Сибирской низменности: Кондинская низменность (точки № 1–2), Тобольский материк (точки № 3–12), Среднеуртышская низменность (точки № 13–24)

Процентное соотношение проб почв по гранулометрическому составу отобранных по профилю в пределах трех геоморфологических структур Западно-Сибирской низменности: Кондинской низменности, Тобольского материка, Среднеиртышской низменности (%)

Гранулометрический состав почвы, %	Геоморфологические структуры Западно-Сибирской низменности		
	Кондинская низменность	Тобольский материк	Среднеиртышская низменность
Песок	0	11	14
Супесь	40	12	10
Легкий суглинок	27	28	21
Средний суглинок	33	23	25
Тяжелый суглинок	0	26	30

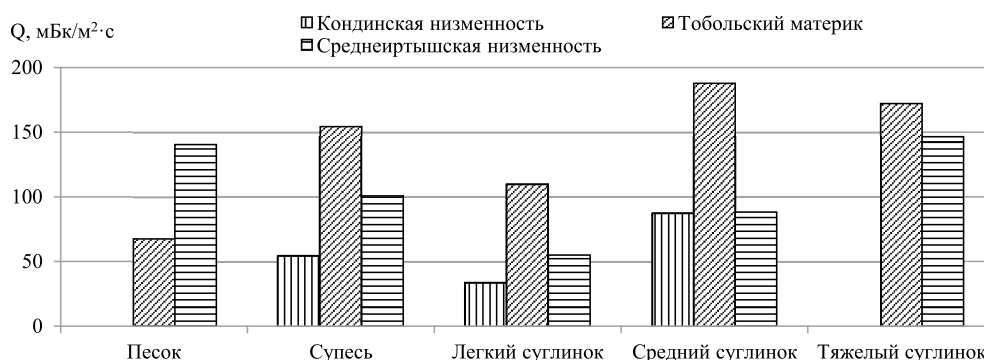


Рис. 3. Среднее значение плотности потока радона, мБк/(м²·с) в почвах различного гранулометрического состава в пределах трех геоморфологических структур Западно-Сибирской низменности: Кондинская низменность, Тобольский материк, Среднеиртышская низменность

Полученные в ходе исследования данные лежат в одном числовом диапазоне и не имеют ярко выраженных различий, что обусловлено схожестью рельефа и геологического строения исследуемых геоморфологических структур, а также незначительной амплитудой тектонических подвижек. Высокие показатели ППР на глубине до 100 см свидетельствуют о наличии «материнских» минералов в грунтах [1]. Уменьшение концентрации радона к поверхности почв можно объяснить его адсорбцией глинистыми частицами, растворением в грунтовых водах и частичным рассеиванием в атмосферном воздухе [1].

Заключение

Сравнивая ППР в почвах различного гранулометрического состава в пределах трех геоморфологических структур Западно-Сибирской низменности, можно сделать вывод, что наибольшим средним значением ППР отличаются почвы Тоболь-

ского материка (супесь, легкие, средние и тяжелые суглинки). В песчаных пробах среднее значение ППР выше на Среднеиртышской низменности. На всех исследованных территориях величина ППР уменьшается от глубины к поверхности почвы и на поверхности не превышает 80 мБк/м²·с, что соответствует первому классу радоноопасности.

Список литературы / References

1. Уткин В.И. Радоновая проблема в экологии // Соросовский образовательный журнал. 2000. Т. 6. № 3. С. 73–80.
2. Outkin V.I. Radon's problem in ecology // Sorosovskiy obrazovatel'nyy zhurnal. 2000. V. 6. № 3. P. 73–80 (in Russian).
3. Ярмошенко И.В., Васильев А.В., Малиновский Г.П., Селезнев А.А. Влияние геогенных и антропогенных факторов на процессы поступления и накопления радона в зданиях (на примере населенных пунктов, расположенных на реке Теча) // Анри. 2017. № 3 (90). С. 62–70.
4. Yarmoshenko I.V., Vasiliev A.V., Malinovsky G.P., Seleznev A.A. Influence of geogenic and anthropogenic factors on the processes of radon intake and accumulation in buildings (on the example of settlements located on the Techa river) // Anri. 2017. № 3 (90). P. 62–70 (in Russian).

3. Chitra N., Danalakshmi B., Supriya D., Vijayalakshmi I., BalaSundar S., Sivasubramanian K., Baskaran R., Jose M.T. Study of Radon and Thoron exhalation from soil samples of different grain sizes. *Applied radiation and isotopes*. 2017. vol. 133. P. 75–80. DOI: 10.1016/j.apradiso.2017.12.017.
4. Дорожко А.Л. Природный радон: проблемы и решения // *Разведка и охрана недр*. 2010. № 8. С. 50–56.
- Dorozhko A.L. Natural radon: problems and solutions // *Razvedka i okhrana nedr*. 2010. № 8. P. 50–56 (in Russian).
5. Каретин Л.Н. Почвы Тюменской области. Новосибирск: Наука. Сибирское отделение, 1990. 286 с.
- Karetin L.N. Soils of the Tyumen region. Novosibirsk: Nauka. Sibirskoye otdeleniye, 1990, 286 p. (in Russian).
6. Апкин Р.Н., Забелин А.А. Радон в почвенном воздухе в окрестностях г. Казань // *Безопасность в техносфере*. 2012. № 3. С. 19–21.
- Apkin P.N., Zabelin A.A. Radon in soil air in the vicinity of Kazan // *Bezopasnost' v tekhnosfere*. 2012. № 3. P. 19–21 (in Russian).
7. Яковлева В.С. Методы и приборы контроля полей α -, β -, γ -излучений и радона в системе «грунт-атмосфера»: автореф. дис. ... докт. техн. наук. Томск, 2013. 35 с.
- Yakovleva V.S. Methods and instruments for monitoring the fields of α -, β -, γ -radiation and radon in the system «soil-atmosphere»: avtoref. dis. ... dokt. tekhn. nauk. Tomsk, 2013. 35 p. (in Russian).

ОБЗОРЫ

УДК 550.72:574.3:579.266.2(269)

**РОЛЬ РАЗНООБРАЗИЯ ПРИРОДНЫХ МИКРОБНЫХ СООБЩЕСТВ
В ЦИКЛЕ УГЛЕРОДА В ВОДАХ ЮЖНОГО ОКЕАНА****¹Пономарева А.Л., ^{1,2}Бакунина М.С., ^{1,2}Еськова А.И., ^{1,2}Дубовчук С.С.,
¹Шакиров Р.Б., ¹Обжиров А.И.**¹*Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева ДВО РАН,
Владивосток, e-mail: giston@list.ru;*²*Дальневосточный федеральный университет, Владивосток*

На Южный океан приходится ~ 30 % мирового поглощения CO₂ океаном, несмотря на то, что он занимает около 10 % от общей площади поверхности Мирового океана. Углеродный цикл в Южном океане оказывает огромное влияние на изменения климата. Южный океан представляет собой гетерогенную систему, характеризующуюся сильной сезонностью, обусловленной продолжительной темной зимой. Особенностью Южного океана и Антарктики является то, что микроорганизмы доминируют в генетическом пуле и биомассе в экологических нишах и играют ключевую роль в поддержании надлежащего функционирования экосистемы и регулировании цикла углерода. Изучение биоразнообразия микробных сообществ может являться ключом к пониманию функционирования биогеохимических системы Южного океана. В верхних слоях водной толщи Южного океана наибольшую геоэкологическую роль играют *Alphaproteobacteria*, *Gammaproteobacteria*, *Flavobacteria* и *I Crenarchaeota*, а на больших глубинах только *Flavobacteria* и *I Crenarchaeota*. Выводы из начальных исследований геномики как на культивируемых бактериях, так и на уровне геномов, к которым получают доступ с помощью клонирования и метагеномных методов, говорят о том, что есть много уникальных особенностей этих организмов, которые способствуют выживанию в условиях колебаний освещенности и пониженных температур. Первоначальные исследования разнообразия бактериопланктона предполагают, что оно, кажется, соперничает с другими океаническими системами, имеют ярко выраженный биогеографический характер. Эта информация важна, если мы хотим понять специфические приспособления организмов к жизни в экстремальных условиях, описать эволюционную историю и, что важно, предсказать последствия изменения климата, такие как уменьшение морского льда и влияние микробиоты на круговорот углерода в полярных океанах.

Ключевые слова: цикл углерода, Южный океан, разнообразие микробиоты, геномика морских микроорганизмов, бактериопланктон

**THE ROLE OF DIVERSITY OF NATURAL MICROBIAL COMMUNITIES
IN THE CARBON CYCLE IN THE SOUTHERN OCEAN****¹Ponomareva A.L., ^{1,2}Bakunina M.S., ^{1,2}Eskova A.I., ^{1,2}Dubovchuk S.S.,
¹Shakirov R.B., ¹Obzhirov A.I.**¹*V.I. Ilichev Pacific Oceanological Institute FEB RAS, Vladivostok, e-mail: giston@list.ru;*²*Far Eastern Federal University, Vladivostok*

The Southern Ocean accounts for ~ 30 % of the world's total CO₂ absorption, it occupies about 10 % of the total surface area of the global ocean. The carbon cycle in the Southern Ocean has a huge impact on climate change. The Southern ocean is a heterogeneous system, characterized by strong seasonality, due to the long dark winter. A feature of the Southern Ocean and Antarctic is that microorganisms dominate the genetic pool and biomass in ecological niches and play a key role in maintaining the proper functioning of the ecosystem and regulating the carbon cycle. Studying the biodiversity of microbial communities may be the key to understanding the functioning of the biogeochemical systems of the Southern Ocean. In the upper layers of the water column of the Southern Ocean, the largest geoecological role is played by *Alphaproteobacteria*, *Gammaproteobacteria*, *Flavobacteria*, and *I Crenarchaeota*, and at great depths only *Flavobacteria* and *I Crenarchaeota*. Findings from the initial studies of genomics both on cultivated bacteria and at the genome level, which are accessed using cloning and metagenomic methods, suggest that there are many unique features of these organisms that contribute to survival under fluctuating light conditions and low temperatures. Initial studies of the diversity of bacterioplankton suggest that it seems to compete with other oceanic systems and have a pronounced biogeographic character. This information is important if we want to understand the specific adaptations of organisms to life in extreme conditions, describe evolutionary history, and, importantly, predict the effects of climate change, such as a decrease in sea ice and the influence of microbiota on the carbon cycle in the polar oceans.

Keywords: carbon cycle, Southern Ocean, microbiota diversity, genomics of marine microorganisms, bacterioplankton

Полярная морская среда уникальна, она предоставляет холодную соленую воду для питания термохалинной циркуляции и переноса неорганического и органического углерода в глубокий океан. Температура вод Южного океана никогда не превыша-

ет 4 °C [1]. Однако, в отличие от глубокого океана, полярная морская среда подвергается экстремальным сезонным колебаниям, которые связаны с морским ледяным покровом, освещенностью и продолжительностью дня (рис. 1).

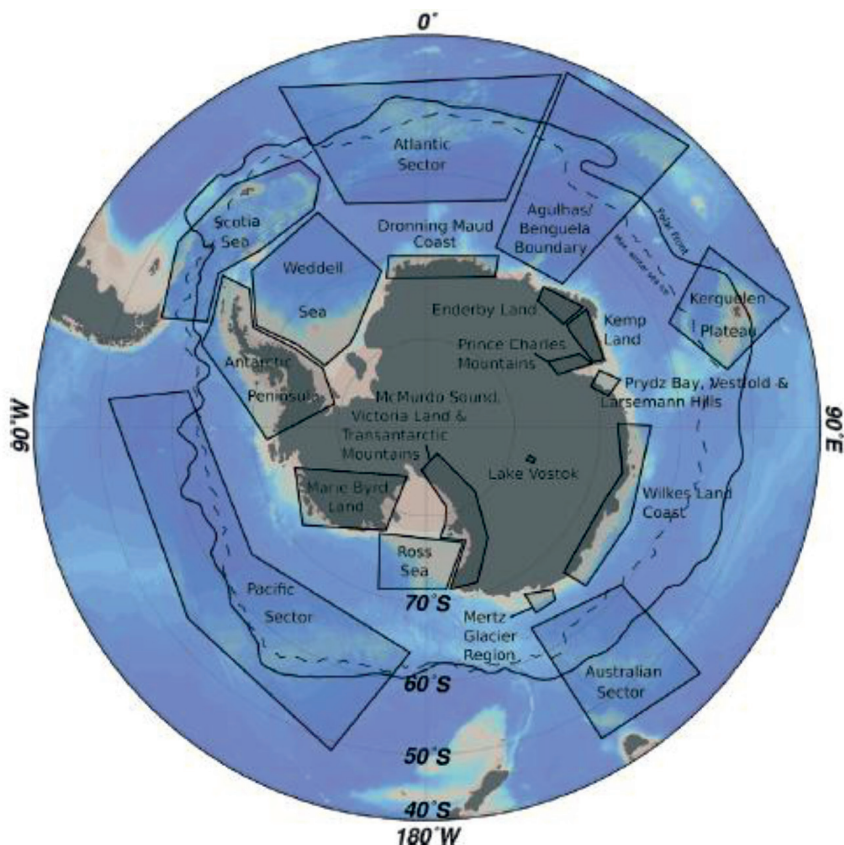


Рис. 1. Антарктида и Южный океан. Полярный фронт (циркумполярный – сплошная линия); максимальная протяженность морского льда (циркумполярная – пунктирная линия). Регионы Антарктиды показаны с озерами [2]

Южный океан играет решающую роль в глобальном круговороте углерода, осуществляя контроль концентрации CO_2 в атмосфере, отсюда возникает необходимость понимания роли биоты в регуляции углеродного цикла. Оценка вертикального распределения растворенного метана в водах Южного океана, показала, что поверхностный слой гораздо насыщенней, чем расположенный ниже слой, богатый хлорофиллом, что позволяет предположить, что существует связь между концентрацией CH_4 и динамикой роста и развития планктона [3]. Считается, что как алифатические, так и ароматические углеводороды, присутствующие в Южном океане, прежде всего, имеют биогенную природу и могут рассматриваться как часть естественного фона. Южный океан – большая и гетерогенная биогеохимическая система [4]. В прибрежных районах в весенний и летний периоды происходит интенсивное цветение фитопланктона, который является начальным звеном пищевой цепи. Напротив, открытый

океан – это наибольший район с высоким содержанием питательных веществ и низким содержанием хлорофилла, характеризующаяся минимальной первичной продукцией, в основном ограниченной низким содержанием железа в водах Южного океана [2]. Пространственное распределение бактериопланктона и деградация органических веществ в основном связаны с гидрологическими и трофическими условиями. Благодаря скорости метаболизма микроорганизмы проявляли себя в качестве регуляторов переноса органического углерода в Южном океане и оказывали влияние на биогеохимические циклы Антарктики [5].

С точки зрения биомассы в открытом океане доминируют бактерии и археи. Они играют важную роль в регулировании, накоплении, экспорте, реминерализации и преобразовании крупнейшего в мире пула органического углерода [3]. Бактерии составляют до 90% клеточной ДНК, 40% углерода в планктоне, до 80% первичной продукции и способны окислять питатель-

ные вещества примерно в 100 раз быстрее, чем эукариотический фитопланктон.

Микробные пищевые цепи развиваются даже в тех районах Южного океана, где много крупных *Euphausiacea*. Эти трофические пути с множественными уровнями включают мелких многоклеточных, которые преобладают в северных открытых водах [6] (*Copepoda*, *Chaetognatha*, *Amphipoda*, *Myctophidae*, рыбы и птицы) в отличие от классической короткой цепочки: диатомеи – криль – позвоночные. Биоразнообразие морских прокариот зависит от времени, места и метода отбора проб. Экологические геномные исследования в Южном океане, направленные на выявление организмов и метаболических возможностей микробного сообщества, находятся в начальной стадии своего развития. Гризимски с соавторами (2012) обнаружили, что наиболее заметным изменением бактериопланктонного сообщества в прибрежных поверхностных водах Антарктического полуострова было присутствие хемолитоавтотрофных организмов зимой и их фактическое отсутствие летом, когда падающее солнечное излучение достигает максимума и показатели первичной продукции высоки. Если хемолитоавтотрофия широко распространена зимой в Южном океане, то этот процесс может быть ранее неизвестным стоком углерода [3, 7].

Исходя из этого, целью научного обзора литературы было описание молекулярно-генетического и функционального биоразнообразия бактерий и их роли в углеродном цикле в водах Южного океана.

Бактериопланктон играет жизненно важную роль в экологии и экосистемах Южного океана. Тем не менее филогенетическое разнообразие, геномный анализ функциональной структуры и метагеномные исследования антарктических вод является достаточно обрывочными. Структура и численность сообщества бактериопланктона существенно сдвигается в течение годового цикла по мере таяния морского льда и цветения фитопланктона. Филогенетические группы антарктического бактериопланктона, такие как морская группа *I Crenarchaeota*, *Alphaproteobacteria* (относящиеся к *Roseobacter* и кластеры SAR-11), *Gammaproteobacteria* (как культивируемые, так и некультивируемые) и *Bacteroidetes*-подобные бактерии в Южной океане являются общими с другими океаническими системами (рис. 2). Однако, кроме этого, встречается большое разнообразие видов уникальных для этого региона [8].

Alphaproteobacteria: SAR11

Pelagibacterales (SAR11) являются отделом *Alphaproteobacteria*. SAR11 неоппортунистическим олиготрофными микроорганизмами и с наибольшей интенсивностью разлагают растворенное органическое вещество в низких концентрациях. При увеличении содержания органики, например, при цветении фитопланктона, рост и развития этого типа бактерий угнетается. SAR11 доминирующая группа прокариот, широко распространенная не только в эпипелагической зоне, но и на глубине [9].

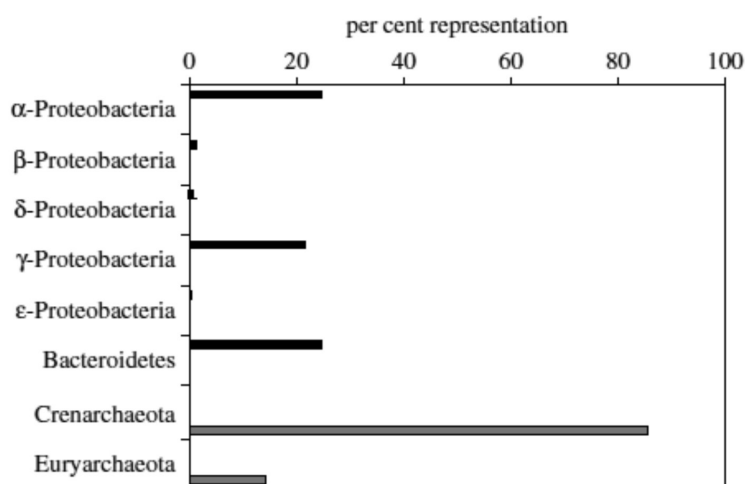


Рис. 2. Распределение бактериальных и архейных филогенетических групп на основе последовательностей рДНК SSU, полученной из морской воды в середине октября 2001 г.: бактерии (черные столбцы) и археи (серые столбцы) [7]

Интересной физиологической особенностью SAR11 является экспрессия ретинальсвязывающего пигмента протейородопсина, который функционирует в качестве протонного насоса при воздействии света и участвует в фотогетеротрофии, поэтому, несмотря на очень низкий уровень освещенности в водах Антарктики во время австралийской зимы, в метапротеоме протейородопсин фиксируется на протяжении всего годового цикла [10].

Alphaproteobacteria: Roseobacter

Roseobacter представлен в большинстве морских поверхностных вод и обладает широкой экологической пластичностью. *Roseobacter* способен к аэробной анаэробной фототрофии, деградации диметилсульфониолпропионата по меньшей мере двумя путями, окислению монооксида углерода, использованию широкого спектра простых органических субстратов. Данные микроорганизмы могут быть как свободноживущими, так и симбионтами многоклеточных. Эти характеристики отражаются в широком разнообразии геномных черт, которые демонстрируются родственными членами группы *Roseobacter* [10].

Некоторые исследователи на основе генов 16S рРНК выделяют подгруппу *Roseobacter Clade Affiliated* (RCA), которая широко распространена как в поверхностных водах Южного океана, так и на глубине до 2200 м. RCA разделена на две основных группы: субантарктическую и антарктическую. Филотипы строго разделены полярным фронтом и сосуществуют только в полярной фронтальной зоне, где они могут превосходить по численности даже SAR11. Есть некоторые доказательства того, что филотип RCA происходит из антарктической зоны Северной Атлантики. В Южном океане вертикальные профили изобилия RCA имеют прочные экологические связи с фитопланктоном [11].

Численность RCA имеет сезонную динамику. Метагеномное исследование вод Южного океана около Западной Антарктиды позволило выявить, что гены 16S рРНК *Roseobacter* были более распространены летом, чем зимой [12].

Alphaproteobacteria: SAR116

Alphaproteobacteria SAR116 широко распространены по всему Мировому океану. В молекулярных исследованиях Южного океана, данный тип в наибольшей степени наблюдался в субантарктической зоне,

чем в антарктической [7]. Они участвуют в цикле углерода и способны фиксировать метан. Бактерии SAR116 в одинаковой степени были обнаружены как в летний, так и зимний период.

Betaproteobacteria

Betaproteobacteria – выполняют значительную экологическую функции, в частности участвуют в цикле азота и метана. Впервые они были обнаружены в поверхностных водах моря Росса [10]. Метагеномный и метапротеомный анализ поверхностных прибрежных вод Антарктического полуострова позволил выявить ведущую роль *Betaproteobacteria* в цикле Кальвина и окисление аммиака в зимний период [13, 14].

Betaproteobacteria: SAR86

SAR86 является наиболее часто встречающимся некультивируемым типом микроорганизмов в Южном океане [14]. Клетки SAR86 составляли от 8% до 18% от общей численности бактериопланктона поверхностных вод. Данный тип специализируется на утилизации липидов и углеводов. Эти функциональные различия предполагают минимальную конкуренцию между SAR86 и SAR11, поэтому оба типа характеризуются высокой численностью в водах субантарктической зоны [15].

Gammaproteobacteria: GSO-EOSA-1

GSO-EOSA-1 – это группа сульфатредуцирующих микроорганизмов, которая включает в себя некультивируемые линии ARCTIC96BD-19 и SUP05 и культивируемых хемоавтотрофных симбионтов моллюсков, которые были обнаружены в мезопелагических водах и зоне минимума кислорода. GSO-EOSA-1, по-видимому, филогенетически связан с *Thiotrichales* [16]. SUP05 способны участвовать в фиксации углерода с использованием цикла Кальвина и в окислении серы даже в хорошо насыщенных кислородом водах.

Различные другие группы прокариот, относящиеся к *Gammaproteobacteria* (например, *Oceanospirillales*, *Alteromonadales*) были обнаружены в водах Южного океана, в том числе *Neptuniibacter caesariensis*, *Marinomonas* spp., *Marinobacter aquaeolei*, *Colwellia psychrerythraea* и *Pseudoalteromonas haloplanktis* [16, 17]. Это подвижные хемоорганотрофы, которые способны использовать в качестве источника углерода простые сахара, аминокислоты, органические кислоты или (в случае *M. aquaeolei*) углеводороды [18, 19].

Deltaproteobacteria: SAR324

Deltaproteobacteria в основном распространены на глубинах около 3000 м. SAR324 участвует в фиксации углерода через цикл Кальвина и окисления серы, а также способен к разложению метилированных соединений [20].

CFB (Cytophaga-Flavibacterium-Bacteroides)

Группа CFB является космополитической и широко распространенной в мировом океане. *Flavobacteria* часто образуют основную фракцию планктона в Южном океане [21]. Они играют важную роль в реминерализации первичной продукции. *Flavobacteria* в Южном океане имеют ярко выраженное биогеографическое распределение. Разнообразие *Flavobacteria*, к югу от полярного фронта, значительно выше, чем в субантарктике [22]. Крупномасштабный метагеномный анализ, который определил полярный фронт как основную биогеографическую границу, обнаружил, что CFB обладала большей численностью к югу от него. Эта разница в численности может быть в значительной степени обусловлена доступностью железа [23].

Другие филогенетические группы бактерий, обнаруженные в Южном океане

Verrucomicrobia – недавно описанный бактериальный тип, повсеместно распространенный в морской среде и, по-видимому, состоит из нескольких физиологически различных групп. Небольшое количество представителей данного типа *Verrucomicrobia* были обнаружены в Южном океане. Наибольшее количество OTU для *Verrucomicrobium Coraliomargarita akajimensis* было обнаружено в антарктической зоне, по сравнению с водами субантарктики [24].

Существуют единичные случаи наблюдения бактерий типа *Planctomycetes* и *Actinobacteria* в глубинных и прибрежных водах Южного океана [25]. *Planctomycetes* участвуют в анаэробном окислении аммиака [26].

Archaea

Большинство бактерий, относящихся к археям и обитающих в антарктических водах, были связаны с морской группой *I Crenarchaeota* (MGI; также называется *Thaumarchaeota*), в то время как остальная часть представляла группу *II Euryarchaeota* [27, 28]. Последующие анализы рРНК подтвердили, что MGI являются наиболее распространенной группой

архей, встречающихся в поверхностных водах Южного океана и прибрежных водах Антарктиды, за ней по численности следует группа *II Euryarchaeota*. Дальнейшие исследования продемонстрировали широкое распространение морских архей в продольном и северном и южном направлениях полярного фронта [7]. *Archaea* включая MGI, также были обнаружены в донных отложениях и на побережье Антарктики. В Южном океане численность архей снижается в течение весны и лета и отрицательно коррелирует с концентрацией хлорофилла. Аммиако-кисляющие MGI были особенно чувствительными к фотоингибированию. Морская группа *II Euryarchaeota* была обнаружена в большей степени в поверхностных водах, чем на глубине [29].

Заключение

В бактериопланктоне в поверхностных водах Южного океана, который окружает Антарктиду, доминирует *Alphaproteobacteria*, *Gammaproteobacteria*, *Flavobacteria*, и MGI. *Alphaproteobacteria* состоят в основном из SAR11 и *Roseobacter*. SAR11 являются олиготрофами и разлагают простые органические субстраты. В то время как *Flavobacteria* специализируется на сложных субстратах. *Gammaproteobacteria* обладают разнообразными метаболическими возможностями. В их состав входит группа GSO-EOSA-1, которая играет важную роль в темновой фиксации углерода. Распространение и роль аммиакокисляющей группы архей MGI связывают с длительными периодами минимальной освещенности в течение долгой полярной зимы, также они вносят основной вклад в углеродную фиксацию в этот сезон. Многие таксоны, присутствующие в Южном океане, встречается в умеренных или тропических водах, при этом накопление данных метагенома позволяет выделить различия внутри филума SAR11. Метагеномика также позволяет выявить биогеографические различия между зонами Южного океана, например таких как полярный фронт. Объединенный метагеном / метапротеом анализ показывает, как абиотические и биотические факторы (например, фитопланктон цветение и сезонные изменения) влияют на состав и функции сообществ. В связи с применением функциональных омических подходов (метагеномика, метапротеомика, метатранскриптомика), в следующие 10 лет будут достигнуты новые успехи в изучении микробных сообществ Южного океана.

Работа выполнена в рамках государственной темы «Комплексные исследования окружающей среды Южного океана», рег. номер FWMM-2019-0007.

Список литературы / References

1. Van Opzeeland I.C., Miksis-Olds J.L. Acoustic ecology of pinnipeds in polar habitats. In: Aquatic Animals: Biology, Habitats and Threats. 2012. P. 10–62.
2. Wilkins D., Yau S., Williams T.J., Allen M.A., Brown M.V., DeMaere M.Z., Lauro F.M., Cavicchioli R. Key microbial drivers in Antarctic aquatic environments. FEMS Microbiol. Rev. 2013. vol. 37. no. 3. P. 303–335. DOI: 10.1111/1574-6976.12007.
3. Adler V., di Rosamarina A., Hucke-Gaete M., Mozzetti R., Quartino R., Raya Rey M., Schejter A., Vecchione L., Marschoff E. Southern Ocean. In book: First Global Marine Assessment. Chapter: 36H. Publisher: Oceans and Law of the Sea. United Nations. 2016. P. 101–142.
4. Smith W.O., Peloquin J.A., Karl D.M. Antarctic Continental Margins. In: Liu K.-K., Atkinson L., Quiñones R., Talue-McManus L. (eds.). Carbon and Nutrient Fluxes in Continental Margins. Springer-Verlag. The IGBP Series. 2010. P. 318–330.
5. Azzaro M., Packard T. T., Monticelli L. S., Maimone G., Rappazzo A. C., Azzaro F., Grilli F., Crisafi E., La Ferla R. Microbial metabolic rates in the Ross Sea: the abioclear project. Nature Conservation. 2019. vol. 34. P. 441–475. DOI: 10.3897/natureconservation.34.30631.
6. Atkinson A., Ward P., Hunt B.P.V., Pakhomov E.A., Hsieh, G.W. An Overview of Southern Ocean Zooplankton Data: Abundance, Biomass, Feeding and Functional Relationships. 2012. CCAMLR Science. 2012. vol. 19. P. 171–218.
7. Grzymalski J.J., Riesenfeld C.S., Williams T.J., Dusaq A.M., Ducklow H., Erickson M., Cavicchioli R., Murray A.E. A metagenomic assessment of winter and summer bacterioplankton from Antarctica Peninsula coastal surface waters. J. ISME. 2012. vol. 6. P. 1901–1915. DOI: 10.1038/ismej.2012.31.
8. Buitenhuis E.T., Li W.K.W., Lomas M.W., Karl D.M., Landry M.R., Jacquet S. Picoheterotroph (Bacteria and Archaea) biomass distribution in the global ocean. Earth Syst. Sci. Data. 2012. vol. 4. P. 101–106. DOI: 10.5194/essd-4-101-2012.
9. Giebel H.-A., Brinkhoff T., Zwisler W., Selje N., Simon M. Distribution of *Roseobacter* RCA and SAR11 lineages and distinct bacterial communities from the subtropics to the Southern Ocean. Environ. Microbiol. 2009. vol. 11. P. 2164–2178. DOI: 10.1111/j.1462-2920.2009.01942.x.
10. Wilkins D., Lauro F.M., Williams T.J., Demare M.Z., Brown M.V., Hoffman J. M., Andrews-Pfannkoch C., McQuaid J.B., Riddle M.J., Rintoul S.R., Cavicchioli R. Biogeographic partitioning of Southern Ocean microorganisms revealed by metagenomics. Environ. Microbiol. 2013. vol. 15. no. 5. P. 1318–1333.
11. Lauro F.M., McDougald D., Thomas T., Williams T.J., Egan S., Rice S., DeMaere M.Z., Ting L., Ertan H., Johnson J., Ferreira S., Lapidus A., Anderson I., Kyrpides N., Munk A.C., Detter C., Han C.S., Brown M.V., Robb F.T., Kjelleberg S., Cavicchioli R. The genomic basis of trophic strategy in marine bacteria. P Natl. Acad. Sci. USA. 2009. vol. 106. P.15527–15533. DOI: 10.1073/pnas.0903507106.
12. Obernosterer I., Catala P., Lebaron P., West N. J. Distinct bacterial groups contribute to carbon cycling during a naturally iron fertilized phytoplankton bloom in the Southern Ocean. Limnol. Oceanogr. 2011. vol. 56. P. 2391–2401. DOI: 10.4319/lo.2011.56.6.2391.
13. Zou H., Huang J., Fang F., Guo J. Polygenic analysis of ammonia-oxidizing bacteria for completely autotrophic nitrogen removal. African Journal of Microbiology Research. 2013. vol. 7. no. 18. P.1794–1801. DOI: 10.5897/AJMR12.1437.
14. Williams T.J., Long E., Evans F., Demare M.Z., Lauro F.M., Raftery M.J., Ducklow H., Grzymalski J.J., Murray A.E., Cavicchioli R. A metaproteomic assessment of winter and summer bacterioplankton from Antarctic Peninsula coastal surface waters. J. ISME. 2012. vol. 6. P. 1883–1900. DOI: 10.1038/ismej.2012.28.
15. Dupont C.L., Rusch D.B., Yooshep S., Lombardo M.J., Richter R.A., Valas R., Novotny M., Yee-Greenbaum J., Sengut J.D., Haft D.H., Halpern A.L., Lasken R.S., Nealson K., Friedman R., Venter J.C. Genomic insights to SAR86, an abundant and uncultivated marine bacterial lineage. J. ISME. 2012. vol. 6. P. 1186–1199. DOI: 10.1038/ismej.2011.189.
16. Williams K.P., Gillespie J.J., Sobral B.W., Nordberg E.K., Snyder E.E., Shallom J.M., Dickerman A.W. Phylogeny of Gammaproteobacteria. J. Bacteriol. 2010. vol. 192. P. 2305–2314. DOI: 10.1128/JB.01480-09.
17. Cowie R.O.M., Maas E.W., Ryan K.G. Archaeal diversity revealed in Antarctic sea ice. Antarctic Science. 2011. vol. 23. no. 6. P. 531–536. DOI: 10.1017/S0954102011000368.
18. Signori C.N., François T., Enrich-Prast F.A., Pollery R.C.G., Sievert S.M. Microbial diversity and community structure across environmental gradients in Bransfield Strait, Western Antarctic Peninsula. Frontiers in Microbiology. 2014. vol. 5. P. 645–655. DOI: 10.3389/fmicb.2014.00647.
19. Singer E., Webb E.A., Nelson W.C., Heidelberg J.F., Ivanova N., Pati A., Edwards K.J. Genomic potential of *Marinobacter aquaeolei*, a biogeochemical «opportunistic». Appl Environ Microbiol. 2011. vol. 77. P. 2763–2771. DOI: 10.1128/AEM.01866-10.
20. Swan B.K., Martinez-Garcia M., Preston C.M. Potential for chemolithoautotrophy among ubiquitous bacteria lineages in the dark ocean. 2011. Science. vol. 333. P. 1296–1300. DOI: 10.1126/science.1203690.
21. Green D.H., Shenoy D.M., Hart M.C., Hatton A.D. Coupling of dimethylsulfide oxidation to biomass production by a marine *Flavobacterium*. Applied and Environmental Microbiology. 2011. vol. 77. no. 9. P. 3137–3140. DOI: 10.1128/AEM.02675-10.
22. Tada Y., Makabe R., Kasamatsu-Takazawa N., Taniguchi A., Hamasaki K. Growth and distribution patterns of *Roseobacter/Rhodobacter*, SAR11, and *Bacteroidetes* lineages in the Southern Ocean. Polar Biol. 2013. vol. 36. Is. 5. P. 691–704. DOI: 10.1007/s00300-013-1294-8.
23. Ducklow H.W., Schofield O., Vernet M., Stammerjohn S., Erickson M. Multiscale control of bacterial production by phytoplankton dynamics and sea ice along the western Antarctic Peninsula: a regional and decadal investigation. J. Mar. Syst. 2012. vol. 98–99. P. 26–39. DOI: 10.1016/j.jmarsys.2012.03.003.
24. Freitas S., Hatosy S., Fuhrman J.A., Huse S.M., Mark Welch D.B., Sogin M.L., Martiny A.C. Global distribution and diversity of marine *Verrucomicrobia*. J. ISME. 2012. vol. 6. P. 1499–1505. DOI: 10.1038/ismej.2012.3.
25. Jamieson R.E., Rogers A.D., Billett D.S.M., Smale D.A., Pearce D.A. Patterns of marine bacterioplankton biodiversity in the surface waters of the Scotia Arc, Southern Ocean. FEMS Microbiol. Ecol. 2012. vol. 80. P. 452–468. DOI:10.1111/j.1574-6941.2012.01313.x.
26. Fuerst J.A., Sagulenko E. Beyond the bacterium: planctomycetes challenge our concepts of microbial structure and function. Nature Reviews Microbiology. 2011. vol. 9. P. 403–413. DOI: 10.1038/nrmicro2578.
27. Merbt S.N., Stahl D.A., Casamayor E.O., Martí E., Nicol G.W., Prosser J.I. Differential photoinhibition of bacterial and archaeal ammonia oxidation. FEMS Microbiol. Lett. 2012. vol. 327. P. 41–46. DOI: 10.1111/j.1574-6968.2011.02457.x.
28. Guillén-Navarro K., Herrera-López D., López-Chávez M.Y., Cancino-Gómez M., Reyes-Reyes A.L. Assessment of methods to recover DNA from bacteria, fungi and archaea in complex environmental samples. Folia Microbiologica. 2015. vol. 60. no. 6. P. 551–558. DOI: 10.1007/s12223-015-0403-1.
29. Ducklow H.W., Fraser W.R., Meredith M.P., Stammerjohn S.E., Doney S.C., Martinson D.G., Sallie S.F., Schofield O.M., Steinberg D.K., Venables H.J., Amsler C.D. West Antarctic Peninsula: An ice-dependent coastal marine ecosystem in transition. Oceanography. 2013. vol. 26. P. 190–203. DOI: 10.5670/oceanog.2013.62.