

Двухлетний импакт-фактор РИНЦ – 0,653

Пятилетний импакт-фактор РИНЦ – 0,322

Журнал издается с 2001 г.

Электронная версия: <http://www.natural-sciences.ru>

Правила для авторов: <http://www.natural-sciences.ru/ru/rules/index>

Подписной индекс по каталогу «Роспечать» – 70878

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР

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

ЗАМ. ГЛАВНОГО РЕДАКТОРА

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

Чернева Ирина Николаевна, к.с.-х.н.

Ответственный секретарь редакции

Бизенкова Мария Николаевна, к.м.н.

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

д.с.-х.н., доцент Абдулвалеев Р.Р. (Уфа); д.г.-м.н., проф., Абилахасимов Х.Б. (Астатна); д.т.н., проф. Айдосов А. (Алматы); д.с.-х.н., проф. Алабушев А.В. (Зерноград); д.г.-м.н., проф., Алексеев С.В. (Иркутск); д.х.н., проф., Алоев В.З. (Нальчик); д.г.н., проф. Андреев С.С. (Ростов-на-Дону); д.г.н., доцент, Андреева Е.С. (Ростов-на-Дону); д.с.-х.н., доцент Анищенко Л.Н. (Брянск); д.с.-х.н., проф. Байрамбеков Ш.Б. (Камызяк); д.т.н., проф. Бейсембаев К.М. (Караганда); д.т.н., проф. Белозеров В.В. (Ростов-на-Дону); д.б.н., доцент Белоус О.Г. (Сочи); д.с.-х.н., проф. Берсон Г.З. (Великий Новгород); д.г.-м.н., проф. Бондарев В.И. (Екатеринбург); д.г.-м.н., проф. Гавришин А.И. (Новочеркасск); д.с.-х.н., Горбачева А.Г. (Пятигорск); д.с.-х.н., Горянин О.И. (Самара); д.г.-м.н., проф. Гусев А.И. (Бийск); д.с.-х.н., проф. Данилин И.М. (Красноярск); д.б.н., доцент Долгов А.В. (Мурманск); д.э.н., проф. Долятовский В.А. (Ростов-на-Дону); д.х.н., проф. Дресвянников А.Ф. (Казань); д.г.н., проф. Егорина А.В. (Усть-Каменогорск); д.т.н., проф. Ерофеев В.И. (Томск); д.с.-х.н., проф. Залесов С.В. (Екатеринбург); д.с.-х.н., доцент Захарченко А.В. (Томск); д.с.-х.н., проф. Зволинский В.П. (Волгоград); д.х.н., проф. Ивашкевич А.Н. (Москва); д.б.н., доцент Кавцевич Н.Н. (Мурманск); д.т.н., проф. Калякин С.А. (Донецк); д.с.-х.н., проф. Караев М.К. (Махачкала); д.г.-м.н., проф. Кашаев А.А. (Иркутск); д.ф.-м.н., проф. Кобрунов А.И. (Ухта); д.г.-м.н., доцент Копылов И.С. (Пермь); д.г.-м.н., проф. Костицын В.И. (Пермь); д.с.-х.н., проф. Костылев П.И. (Зерноград); д.э.н., проф. Косякова И.В. (Самара); д.с.-х.н., Коцарева Н.В. (Белгород); д.т.н., доцент 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 бесплатен.

Двухлетний импакт-фактор РИНЦ – 0,653

Пятилетний импакт-фактор РИНЦ – 0,322.

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

Журнал включен в Реферативный журнал и Базы данных ВИНИТИ.

Учредитель, издательство и редакция:
ИД «Академия Естествознания»

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

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 – 20.08.2019

Дата выхода номера – 20.09.2019

Формат 60x90 1/8

Типография

ООО «Научно-издательский центр

Академия Естествознания»,

г. Саратов, ул. Мамонтовой, 5

Техническая редакция и верстка

Байгузова Л.М.

Корректор

Галенкина Е.С.

Способ печати – оперативный.

Распространение по свободной цене.

Усл. п.л. 11,13

Тираж – 1000 экз. Заказ. УСЕ/8-2019

Подписной индекс 70878

© ИД «Академия Естествознания»

СОДЕРЖАНИЕ

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

ГЕНОТИПИРОВАНИЕ ОБРАЗЦОВ МЯГКОЙ ПШЕНИЦЫ (<i>T. aestivum</i> L.) АЗЕРБАЙДЖАНА НА ОСНОВЕ KASP ТЕХНОЛОГИИ	
Аббасов М.А.	7
ЗНАЧИМОСТЬ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ВЛАГИ ПРИ ПОЛОСНОМ РАЗМЕЩЕНИИ СЕЛЬХОЗУГОДИЙ НА ЗЕМЕЛЬНОЙ ТЕРРИТОРИИ	
Азизов З.М.	13
ВЛИЯНИЕ РУБОК УХОДА НА ТАКСАЦИОННЫЕ ПАРАМЕТРЫ КРОН ДЕРЕВЬЕВ В ИСКУССТВЕННЫХ БЕРЕЗОВЫХ ДРЕВОСТОЯХ АРИДНЫХ УСЛОВИЙ ПРОИЗРАСТАНИЯ	
Данчева А.В., Залесов С.В.	22
ЕСТЕСТВЕННОЕ ВОЗОБНОВЛЕНИЕ ПОСЛЕ ПРОВЕДЕНИЯ ВЫБОРОЧНЫХ САНИТАРНЫХ РУБОК В ЛЕСАХ ЛЕСОПАРКОВОЙ ЗОНЫ ГОРОДА БРЯНСКА	
Дзубан В.И.	28
АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ 4AS.4AL-7S#2S ТРАНСЛОКАЦИИ НА ПРОДУКТИВНОСТЬ И КАЧЕСТВО ЗЕРНА ЯРОВОЙ МЯГКОЙ ПШЕНИЦЫ	
Сибикеев С.Н., Дружин А.Е., Гуляева Е.И., Андреева Л.В.	34

Науки о Земле (25.00.00)**СТАТЬИ**

ДИНАМИКА ОСАДКОВ В АГРОЛАНДШАФТАХ СУХОСТЕПНОЙ ЗОНЫ ЦЕНТРАЛЬНОГО ПРЕДКАВКАЗЬЯ ПО ПЕРИОДАМ ВСЕМИРНОЙ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЙ ОРГАНИЗАЦИИ (ВМО) НА МЕТЕОСТАНЦИИ «МОЗДОК»	
Айларов А.Е., Тебиева Д.И., Доброносков В.В.	39
ГЕОЛОГИЯ, ГЕОДИНАМИКА И БЛАГОРОДНОМЕТАЛЛЬНОЕ ОРУДЕНЕНИЕ ЮЖНОГО ФЛАНГА КУРИЛЬСКОЙ ОСТРОВОДУЖНОЙ СИСТЕМЫ	
Борискина Н.Г., Касаткин С.А., Хомич В.Г.	44
ЗАКОНОМЕРНОСТИ ФИТОИНДИКАЦИИ ЗАГРЯЗНЕНИЙ ГОРОДСКОЙ СРЕДЫ МАКСИМАЛЬНОЙ ШИРИНОЙ ЛИСТЬЕВ БЕРЕЗЫ ПОВИСЛОЙ	
Мазуркин П.М., Кудряшова А.И.	50
ГИДРОЛОГИЯ И ИОННЫЙ СТОК РЕКИ СЕВЕРО-ВОСТОКА ЯКУТИИ	
Макаров В.Н., Ноговицын Д.Д., Шеина З.М.	56
УЧЕТ ВЛИЯНИЯ РЕЛЬЕФА МЕСТНОСТИ В МЕТОДИКЕ РАСЧЕТА ЗОН ВОЗМОЖНОГО ХИМИЧЕСКОГО ЗАРАЖЕНИЯ	
Муравьева Е.В., Афанасьев В.М., Сайфутдинова И.Х., Хисматова А.Т.	62
ПОЛУЧЕНИЕ СИЛИКАТНОГО СТЕНОВОГО МАТЕРИАЛА НА ОСНОВЕ ВСКРЫШНОЙ ГОРЕЛОЙ ПОРОДЫ УГЛЕДОБЫЧИ НА ПРИМЕРЕ МЕСТОРОЖДЕНИЙ РЕСПУБЛИКИ ТЫВА	
Сапелкина Т.В., Кара-сал Б.К., Стрельников А.Н.	67

ПОДВИЖНОСТЬ НАСЕЛЕНИЯ КАК ТРАНСПОРТНО-ГЕОГРАФИЧЕСКАЯ ПРОБЛЕМА

Семина И.А.73

АНАЛИЗ ГЕОДЕМОГРАФИЧЕСКОЙ И ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ СИТУАЦИИ
ГОРОДСКИХ ТЕРРИТОРИЙ КЛЮЧЕВЫХ РЕГИОНОВ СТЕПНОЙ ЗОНЫ РОССИИ

Соколов А.А., Руднева О.С.79

РАЗРАБОТКА СОСТАВА И ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ БУРОВОГО РАСТВОРА
ДЛЯ БУРЕНИЯ СКВАЖИН В НЕУСТОЙЧИВЫХ ГЛИНИСТЫХ ПОРОДАХ

Чудинова И.В., Николаев Н.И.85

CONTENTS

Agricultural sciences (06.01.00, 06.03.00)

ARTICLES

GENOTYPIZATION OF MILLING WHEAT SAMPLES (<i>T. aestivum</i> L.) OF AZERBAIJAN AT THE FOUNDATION OF CASP-TECHNOLOGY	
<i>Abbasov M.A.</i>	7
THE SIGNIFICANCE OF MOISTURE DISTRIBUTION AT STRIPE PLACING OF AGRICULTURAL LANDS ON THE LANDED TERRITORY	
<i>Azizov Z.M.</i>	13
EFFECT OF IMPROVEMENT CUTTING UPON TAXATIONAL SPECIFICATIONS OF TREE CROWNS IN ARTIFICIAL BIRCH FOREST STANDS, GROWING IN ARID CONDITIONS	
<i>Dancheva A.V., Zalesov S.V.</i>	22
NATURAL REPLENISHMENT AFTER SELECTIVE SANITARY CUTTINGS IN FORESTS OF THE FOREST-PARK AREA OF THE CITY OF BRYANSK	
<i>Dzuban V.I.</i>	28
ANALYSING EFFECTS OF 4AS.4AL-7S#2S TRANSLOCATION UPON YIELDS AND GRAIN QUALITY OF SPRING MILLING WHEAT	
<i>Sibikeev S.N., Druzhin A.E., Gulyaeva E.I., Andreeva L.V.</i>	34

Earth sciences (25.00.00)

ARTICLES

PRECIPITATION DYNAMICS IN AGRICULTURAL LANDSCAPES OF DRY STEPPE ZONE IN CENTRAL CISCAUCASIA REGION DURING WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION PERIODS AT THE «MOZDOK» METEOROLOGICAL STATION	
<i>Aylarov A.E., Tebieva D.I., Dobronosov V.V.</i>	39
GEOLOGY, GEODYNAMICS AND NOBLE METALS MINERALIZATION IN THE SOUTHERN FLANK OF THE KURIL ISLAND-ARC SYSTEM	
<i>Boriskina N.G., Kasatkin S.A., Khomich V.G.</i>	44
PATTERNS OF PHYTOINDICATION POLLUTION OF THE URBAN ENVIRONMENT THE MAXIMUM WIDTH OF THE LEAVES OF THE SILVER BIRCH	
<i>Mazurkin P.M., Kudryashova A.I.</i>	50
HYDROLOGY AND ION SINK OF THE NORTHEAST OF YAKUTIA RIVER	
<i>Makarov V.N., Nogovitsyn D.D., Sheina Z.M.</i>	56
CONSIDERATION OF THE INFLUENCE OF THE TERRAIN IN THE METHODOLOGY FOR CALCULATING AREAS OF POSSIBLE CHEMICAL CONTAMINATION	
<i>Muraveva E.V., Afanasev V.M., Sayfutdinova I.Kh., Khismatova A.T.</i>	62
PRODUCTION OF SILICATE WALL MATERIAL BASED ON OF OVERBURDEN BREEDS ROCKS OF COAL MINING ON THE EXAMPLE OF REPUBLIC TUVA DEPOSIT	
<i>Sapelkina T.V., Kara-sal B.K., Strelnikov A.N.</i>	67

THE MOBILITY OF THE POPULATION AS TRANSPORT AND GEOGRAPHICAL PROBLEM

Semina I.A.73

ANALYSIS OF DEMOGRAPHIC AND ECOLOGICAL SITUATION OF URBAN AREAS
IN KEY REGIONS OF THE STEPPE ZONE OF RUSSIAN

Sokolov A.A., Rudneva O.S.79

RESEARCH OF DRILLING FLUID PROPERTY FOR DRILLING WELLS
IN UNSTABLE SHALE ROCKS

Chudinova I.V., Nikolaev N.I.85

СТАТЬИ

УДК 631.527:575.167:633.111.1(479.24)

**ГЕНОТИПИРОВАНИЕ ОБРАЗЦОВ МЯГКОЙ ПШЕНИЦЫ (*T. AESTIVUM* L.)
АЗЕРБАЙДЖАНА НА ОСНОВЕ KASP ТЕХНОЛОГИИ**

Аббасов М.А.

*Институт генетических ресурсов национальной академии наук Азербайджана, Баку,
e-mail: mehraj_genetic@yahoo.com*

За последние десятилетия при использовании современных биотехнологических подходов, основанных на использовании молекулярных маркеров, были достигнуты большие результаты в области изучения генетического разнообразия, построения молекулярно-генетических карт, картирования генов и локусов количественных признаков, выявления маркеров, тесно сцепленных с генами, контролирующими хозяйственно ценные признаки зерновых культур. Одним из наиболее эффективных и быстрых технологий являются KASP-маркеры (Competitive Allele Specific PCR). В настоящем исследовании при использовании технологии KASP (Конкурентная аллель-специфичная ПЦР /Competitive Allele Specific PCR) с целью молекулярного тестирования и изучения коллекции был проведен скрининг 11 генов по таким важным показателям, как продуктивность, устойчивость к биотическому стрессу и качеству зерна, а также оценка частоты встречаемости и гетерозиготность аллелей 166 селекционных сортов и ботанических разновидностей мягкой пшеницы. В результате скрининга генов, контролирующих хозяйственно важные признаки, у 166 коллекционных сортов и разновидностей мягкой пшеницы были выявлены новые ценные источники. Были идентифицированы геноотипы, несущие положительные аллели для генов RhtB1, RhtD1, Ppd-D1, Glu-D1, Gpc-B1, Lr34, FHB 5A, FHB 3BS. Отобранные геноотипы мягкой пшеницы, характеризующиеся высокой урожайностью и устойчивостью к биотическому стрессу, с целью расширения генетической вариации и в качестве нового генетического источника могут быть рекомендованы для различных селекционных программ.

Ключевые слова: мягкая пшеница, однонуклеотидный полиморфизм, KASP-маркеры, скрининг, генетическая вариация, гомозиготность, гетерозиготность

**GENOTYPIZATION OF MILLING WHEAT SAMPLES (*T. AESTIVUM* L.)
OF AZERBAIJAN AT THE FOUNDATION OF CASP-TECHNOLOGY**

Abbasov M.A.

*Genetic Resources Institute of Azerbaijan National Academy of Sciences, Baku,
e-mail: mehraj_genetic@yahoo.com*

Over the past decades, great results have been achieved by using modern biotechnological approaches based on molecular markers for studying genetic diversity, creating molecular genetic maps, QTL mapping, identifying markers closely linked to genes coding the economically valuable traits of cereals. One of the most effective and fast technologies are CASP-markers (Competitive Allele Specific PCR). In this study, by using CASP (Competitive Allele-Specific PCR) technology, with the aim of molecular testing and the study of the collection, screening of 11 genes controlling such important traits as productivity, resistance to biotic stress and grain quality and assessment of the frequency of occurrence and heterozygosity of alleles was done for 166 breeding varieties and botanical varieties of milling wheat. As a result of screening the genes controlling the economically important traits among 166 varieties and botanical varieties of milling wheat, new valuable sources were revealed. Genotypes carrying positive alleles for RhtB1, RhtD1, Ppd-D1, Glu-D1, Gpc-B1, Lr34, FHB 5A, FHB 3BS were identified. Selected milling wheat genotypes, characterized by high yield and resistance to biotic stress can be recommended for various breeding programs for expanding genetic variation and as new genetic sources.

Keywords: milling wheat, single nucleotide polymorphism, CASP markers, screening, genetic variation, homozygosity, heterozygosity

Зерновые культуры, в число которых входят пшеница, ячмень, кукуруза, рис, по продуктивным и кормовым качествам относятся к наиболее ценным сельскохозяйственным культурам и являются основным продуктом питания во многих регионах мира. Возрастающие потребности в зерне можно удовлетворить за счет повышения урожайности, интенсивности земледелия и внедрения новых технологий. Применение в селекционных программах современных биотехнологических подходов, основанных на использовании молекулярных

маркеров, может способствовать решению этих проблем.

В настоящее время увеличивается число различных типов молекулярных маркеров вместе с достижениями современных технологий и знаниями об отдельных генах и геномах растений в целом [1–3]. Однонуклеотидный полиморфизм (ОНП), замена одного нуклеотида в любой части генома в результате естественной мутации, является одним из самых мощных инструментов в молекулярной биологии [4–6]. ОНП как точечные мутации могут быть эволю-

ционно нейтральными и избегать влияния естественного отбора, если они происходят в некодирующих областях или не влияют на аминокислотную последовательность кодируемых полипептидов. Впоследствии ОНП стали широко распространяться в геномах всех живых организмов [7]. Для идентификации ОНП применяют различные типы молекулярных маркеров, каждый из которых имеет сопутствующие преимущества и недостатки. Одним из наиболее эффективных и быстрых способов использования маркеров ОНП является технология KASP (Competitive Allele Specific PCR) [8]. KASP – конкурентная аллель-специфичная ПЦР по конечной точке с флуоресцентной детекцией, в которой полиморфизм выявляют с помощью ОНП-маркеров за счет одностороннего замещения, вставок и делеций. Этот универсальный метод диагностики характеризуется высокой точностью и производительностью и является удобным инструментом для маркер-опосредованной селекции (Marker-Assisted Selection, MAS). С использованием KASP-маркеров был картирован целый ряд генов и локусов количественных признаков (QTL). В анализе KASP используется новая гомогенная флуоресцентная система генотипирования, которая, по сравнению с мультиплексными методами (например, чиповая технология), очень быстрая и позволяет получать точные результаты (99,8 %) в течение нескольких часов. Таким образом, KASP-маркеры представляют собой эффективный инструмент как в молекулярно-генетических исследованиях, так и в селекции растений. Высокопроизводительная SNP маркерная технология очень эффективна для мягкой пшеницы (*Triticum aestivum* L.). Среди злаков геном пшеницы оценивается как один из наименее полиморфных. С помощью этих маркеров можно точно и быстро анализировать сотни образцов одновременно по маркерам ОНП.

Основная цель исследования направлена на скрининг 11 различных локусов, связанных с продуктивностью, показателями качества и устойчивостью к болезням коллекций мягкой пшеницы из Национального генетического банка Института генетических ресурсов Национальной академии Наук Азербайджана, с использованием технологии KASP.

Материалы и методы исследования

В качестве исследовательского материала были использованы 166 образцов мягкой

пшеницы из коллекции Национального генетического банка Института генетических ресурсов Национальной академии наук Азербайджана. Изученный материал представлен 35 сортами, созданными в разные годы, и образцами, собранными из разных регионов республики, изученными в полевых условиях и отобранными по биоморфологическим признакам в течение трех лет. Выделение геномной ДНК проводили согласно СТАВ протоколу. Для генотипирования использованы 11 KASP-маркеров (RhtB1_cim-KASP; RhtD1-KASP; Ppd-D1-D002-KASP; Glu-D1-DX-KASP; Gpc-B1-DUP-KASP; Lr21-GQ504819-1346-KASP; Lr34JagExon22-KASP; csSr2; Tsn1-KASP; FHB 5A; FHB 3BS/Fhb1), которые разработаны и изготовлены компанией LGC Genomics на основе соответствующего протокола, предоставленного компанией.

Результаты исследования и их обсуждение

Молекулярное тестирование и изучение генетических коллекций позволяет проводить скрининг на наличие новых генов и ценных аллелей, оценивать частоту встречаемости и гетерозиготность аллелей в популяции. В настоящем исследовании был проведен скрининг по таким важным показателям, как продуктивность, устойчивость к биотическому стрессу и качество зерна.

Основным требованием любой селекционной программы является создание сортов с высоким генетическим потенциалом продуктивности. Как известно, одним из важных фенотипических признаков, связанных с продуктивностью, являются высота растения и нечувствительность к фотопериоду. Генетическая природа признака – высота растения у пшеницы достаточно хорошо изучена. Для пшениц давно известно, что снижение высоты растений и формирование низкорослого, утолщенного стебля связано с мутациями в генах Rht (reduced height). Растения пшениц, содержащие в геноме мутированные гены Rht (гены карликовости), обнаруженные в 1935 г., отличались повышенной урожайностью и после «Зеленой революции» широко использовались в селекции пшеницы. Гены карликовости различного происхождения сыграли огромную роль в создании современных интенсивных сортов пшеницы, устойчивых к полеганию с высоким уборочным индексом (НИ). На хромосомах идентифицировано и локали-

зовано множество локусов Rht, контролирующих этот признак [9, 10]. Хотя пшеница обладает большим числом генов Rht, только три из них Rht-B1 (Rht1), Rht-D1 (Rht2) и Rht8 широко используются в селекции [11, 12, 13]. Из 166 исследованных образцов 43 являются носителями мутантных аллелей Rht-B1b гена Rht-B1, 5 – аллелей Rht-D1b гена Rht-D1. Кроме того, было установлено, что 6 генотипов являются гетерозиготами по гену Rht-B1, 4 – по Rht-D1. Наряду с разновидностями *var. militurum*, *var. erythrospermum*, *var. lutescens*, *var. alborubrum*, *var. barbarossa*, *var. albidum*, *var. hostianum*, *var. velutinum*, *var. leucospermum*, *var. delfi* аллель Rht-B1b была также выявлена у сортов Арзу, Карабах, Зардаби, Экинчи 84, Рузи 84, Азамот 95, Гобустан, Егяна и другие. Согласно литературным данным, сорта, несущие аллель Rht-D1b, в основном среднего размера и устойчивы к полеганию, у них высота растения колеблется в пределах от 81 до 100 см. Аллель Rht-D1b была выявлена лишь для сорта Гюнешли, обладающего самым низким показателем по признаку длины роста (81–92 см). Другие сортообразцы мягкой пшеницы характеризовались аллелями высокорослости Rht-B1a и Rht-D1a. Высота сортов Угур, Шеки 1, Азери, Шафак 2 варьировала в пределах значений от 110 до 117 см. Известно, что в благоприятных условиях мутантные гиббереллин-нечувствительные карликовые аллели Rht-B1b и Rht-D1b способствуют повышению индекса продуктивности и устойчивости к полеганию [14]. Однако присутствие мутантных аллелей в неблагоприятных условиях (таких как засуха) может привести к уменьшению длины coleoptilia, что в свою очередь приводит к слабому росту проростков и потере урожая [15]. Напротив, генотипы, которые не имеют ни одного из упомянутых мутантных аллелей, являются более подходящими для культивирования в богарных условиях, так как не уменьшают длину coleoptilia [16]. Таким образом, генотипы, у которых не обнаружены аллели Rht-B1b и Rht-D1b, можно считать более целесообразными для культивирования в богарных условиях. Согласно некоторым литературным данным, существование одновременно двух мутантных аллелей вызывает резкое снижение продуктивности [17]. В изученной коллекции мягкой пшеницы генотипы с обеими мутантными аллелями не наблюдались.

Современные сорта пшеницы по своей фотопериодической чувствительности (ФПЧ) варьируют от сильночувствительных до абсолютно нечувствительных, способных к колошению даже в условиях короткого 8-часового дня [18]. Как правило, фотопериодическая нечувствительность считается важным свойством современных высокоадаптивных сортов со стабильно высокой продуктивностью. Возможность воздействовать на такой важный фактор, как сроки перехода к колошению в современных условиях изменяющегося климата и нестабильных погодных условий, может дать явное преимущество при селекции новых высокоадаптивных сортов пшеницы. Этим объясняется неизменно высокий интерес к донорам новых аллелей генов Ppd у мягкой пшеницы. Гены Ppd, отвечающие за чувствительность растения к длине дня (фотопериоду), играют важную роль при адаптации сортов пшеницы к разным агроклиматическим условиям. Доминантный аллель Ppd-D1a гена Ppd-D1, локализованный в хромосоме 2DS, отвечает за нечувствительность к фотопериоду и раннее цветение, в то время как другой рецессивный аллель – Ppd-D1b ответственен за фотопериодическую чувствительность (ФПЧ). В наших исследованиях среди изученных разновидностей более половины образцов мягкой пшеницы (53%) несут нечувствительные к фотопериоду аллели гена Ppd-D1, 41,5% – чувствительные. У девяти образцов была выявлена гетерозиготность по указанному выше локусу. Из 35 изученных сортов у 24 выявлены нечувствительные к фотопериоду аллели Ppd-D1a, тогда как сорта Йерли, Бол бугда, Перзиван1, Перзиван 2 и др. являлись носителями рецессивного аллеля Ppd-D1b гена Ppd-D1. Полученные результаты не согласуются с опубликованными ранее данными. Так, Guedira и другие в 2010 г. в своих исследованиях среди 174 изученной линии пшеницы выявили аллель Ppd-D1a только у 32% генотипов [19]. Плейотропный эффект аллелей нечувствительности к фотопериоду и карликовости оказывает положительное влияние на формирование высокой биомассы. Из 88 образцов, несущих доминантный аллель Ppd-D1a гена Ppd-D1, три генотипа были идентифицированы с аллелем Rht-D1b, а 31 – с аллелем Rht-B1b. Эти генотипы, включая 10 сортов, созданных в разные годы, могут быть успешно использованы для создания новых разновидностей с комплексом положительных признаков.

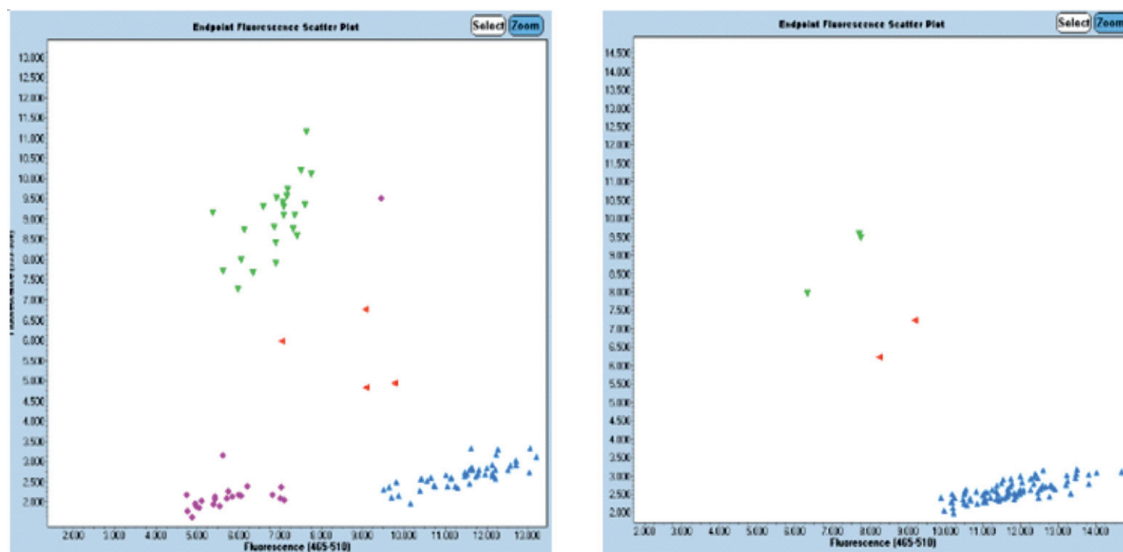


Рис. 1. Скрининг 96 генотипов мягкой пшеницы по генам *Rht-B1* (слева) и *Rht-D1* (справа). Синий – нормальный, зеленый – мутантный, красный – гетерозиготный, розовый – неизвестный

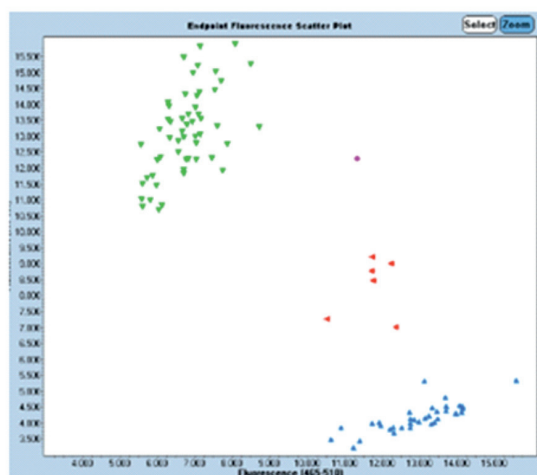


Рис. 2. Скрининг 96 образцов мягкой пшеницы по гену *PPdD1*. Зеленый – нечувствительные к фотопериоду, синий – чувствительные к фотопериоду, красный – гетерозиготный

Аллель *Glu-D1a* локуса *Glu-D1*, расположенной на длинном плече 1-й хромосомы и кодирующей глютеиновые субъединицы [20, 21], широко распространен у мягкой пшеницы и положительно влияет на хлебопекарное качество [22]. Для поиска ценных генов запасных белков была проведена оценка аллельного состава локуса *Glu-D1* коллекции сортов мягкой пшеницы и выделены генотипы, несущие аллели *Glu-D1a*. При анализе частоты встречаемости

аллелей локуса *Glu-D1* показано, что 34 генотипа содержали аллель *Glu-D1a*, среди которых 31 образец оказался гомозиготой, 3 – гетерозиготами. Носителями аллеля *Glu-D1a* также оказались 7 селекционных сортов (Сяба, Тале 38, Сианотрикс 334/12, Арзу, Гарабах, Зердаби и Гюнешли). Jin с коллегами (2011) в результате скрининга 718 сортов из 20 стран, с помощью маркеров, сцепленного генами *Glu-A1* и *Glu-D1*, обнаружили, что 50% исследованных сортов являются носителями аллелей *Glu-A1b* или *Glu-D1d* [23]. Другой показатель – содержание протеина – оказывает большое влияние на хлебопекарные свойства пшеницы, так как воздействует на абсорбцию воды и формирование теста. Среди исследованных образцов выявлен только один образец разновидности var. *milturum* из Агдамского региона, несущий аллель, связанный с высоким содержанием белка. Указанный генотип с высоким содержанием белка можно использовать в селекционной работе в качестве доноров для выведения перспективных образцов.

Несмотря на большое разнообразие исследований, связанных с применением KASP-маркеров, основная часть этих работ нацелена на селекцию по признакам устойчивости к вирусам и болезням, а также к гербицидам. Устойчивость к различным болезням является чрезвычайно важным признаком у разных культур, но гены, контролирующие данные признаки, как и их ну-

клеотидные последовательности, остаются пока неизвестными. К настоящему времени во всем мире у пшеницы идентифицирован 71 ген устойчивости к листовой (Lr) и 57 стеблевой (Sr) ржавчине, которые использовались в селекционных программах. Гены Lr 21 и Lr 34 обеспечивают устойчивость у взрослых растений. В наших исследованиях, в результате скрининга, не выявлен ген Lr 21 и изученные генотипы можно охарактеризовать как восприимчивые к листовой ржавчине. Однако у 17 генотипов была установлена устойчивость по гену Lr 34, а 33 образца оказались носителями гена устойчивости в гетерозиготном состоянии. Среди сортов была выявлена устойчивость только у Сяба и Гюнешли. Приведенные выше сорта могут быть использованы в качестве ценного источника в селекционной работе, направленной на повышение устойчивости к листовой ржавчине.

Единственный ген устойчивости к стеблевой ржавчине, не являющийся расоспецифическим (Sr2), был выявлен у вида *Triticum turgidum* ssp. *dicoccum* (Schrank ex Schubler) Thell (*Triticum dicoccum* Schrank ex Schubler) [24]. В настоящем исследовании в результате скрининга по гену Sr2 все образцы оказались восприимчивыми к стеблевой ржавчине.

Наряду с биотрофными анализами мягкой пшеницы был также проведен гемибиотрофный анализ устойчивости к желтой пятнистости (Tsn) и фузариозу колоса, в результате чего получен ряд различных результатов. Несмотря на то, что было выявлено несколько QTL для устойчивости к фузариозу колоса, большинство исследователей в этом направлении подчеркивают, что наиболее важными являются гены Fhb1, расположенные в хромосоме 3BS, Fhb2 – в хромосоме 6BS и Fhb5 – в хромосоме 5AS.

В наших исследованиях результаты скрининга локуса Fhb 5A выявили устойчивость 47 генотипов к фузариозу колоса, остальные образцы оказались чувствительными. Отмечена гетерозиготность четырех генотипов по этому локусу.

Скрининг генов устойчивости к желтой пятнистости выявил чувствительность всех образцов изученной коллекции.

Заключение

Таким образом, в результате скрининга 11 локусов, контролирующих хозяйственно ценные признаки, у 166 сортов и разновидностей в коллекции мягкой пшеницы были выявлены новые ценные генные источники.

Для всех генов, за исключением трех локусов (*Lr 21*, *Tsn* и *Sr 2*), были идентифицированы генотипы, обладающие селекционно значимыми аллелями.

Из 166 исследованных генотипов положительные результаты были достигнуты только у 20, а каждый из оставшихся 146 образцов (в гомо- или гетерозиготном состоянии) оказались носителями желаемых аллелей. С целью расширения генетического разнообразия эти образцы могут быть использованы как доноры продуктивности и устойчивости к болезням в различных селекционных программах. У разновидности мягкой пшеницы var. *meridionale* был выявлен 1, у сорта Гюнешли и разновидности var. *alborubrum* – 4 положительные аллеля. Эти сортообразцы, как генотипы с комплексом положительных признаков, рекомендованы для получения продуктов высокого качества в различных хозяйствах и как родительские формы для гибридизации.

Список литературы / References

1. Mohan M., Nair S., Bhagwat A., Krishna T.G., Yano M., Bhatia C.R., Sasaki T. Genome mapping, molecular markers and marker-assisted selection in crop plants. *Molecular breeding*. 1997. Vol. 3. № 2. P. 87–103. DOI: 10.1023/A:1009651919792.
2. Хлесткина Е.К., Салина Е.А. SNP-маркеры: методы анализа, способы разработки и сравнительная характеристика на примере мягкой пшеницы // *Генетика*. 2006. Т. 42. № 6. С. 725–736.
3. Khlestkina E.K., Salina E.A. SNP-markers: Methods of analysis, ways of development, and comparison on an example of common wheat // *Russian Journal of Genetics*. 2006. Vol. 42. № 6. P. 585–594. DOI: 10.1134/S1022795406060019.
4. Semagn K., Bjornstad A., Ndjiondjop M.N. An overview of molecular marker methods for plants. *African Journal of Biotechnology*. 2006. Vol. 5. № 25. P. 2540–2568.
5. Pocza P., Varga I., Laos M., Cseh A., Bell N., Valkonen J.P.T., Hyvönen J. Advances in plant gene-targeted and functional markers: a review. *Plant Methods*. 2013. Vol. 9. № 1. P. 6. DOI: 10.1186/1746-4811-9-6.
6. Salgotra R.K., Gupta B.B., Stewart J.C.N. From genomics to functional markers in the era of next-generation sequencing. *Biotechnology Letters*. 2014. Vol. 36. Issue 3. P. 417–426. DOI: 10.1007/s10529-013-1377-1.
7. Liao P.Y., Lee K.H. From SNPs to functional polymorphism: The insight into biotechnology applications. *Biochemical Engineering Journal*. 2010. Vol. 49. № 2. P. 149–158. DOI: 10.1016/j.bej.2009.12.021.
8. Perkel J. SNP genotyping: six technologies that keyed a revolution. *Nature Methods*. 2008. Vol. 5. № 5. P. 447–453. DOI: 10.1038/nmeth0508-447.
9. Semagn K., Babu R., Hearne S., Olsen M. Single nucleotide polymorphism genotyping using Kompetitive Allele Specific PCR (KASP): overview of the technology and its application in crop improvement. *Molecular breeding*. 2014. Vol. 33. Issue 1. P. 1–4. DOI: 10.1007/s11032-013-9917-x.
10. Buerstmayr H., Ban T., Anderson J.A. QTL mapping and marker-assisted selection for Fusarium head blight resistance in wheat: A review. *Plant Breeding*. 2009. Vol. 128. Issue 1. P. 1–26. DOI: 10.1111/j.1439-0523.2008.01550.x.
11. Lin F., Xue S.L., Zhang Z.Z., Zhang C.Q., Kong Z.X., Yao G.Q., Tian D.G., Zhu H.L., Li C.J., Cao Y., Wei J.B.

- Mapping QTL associated with resistance to Fusarium head blight in the Nanda2419× Wangshuibai population. II: Type I resistance. *Theoretical and Applied Genetics*. 2006. Vol. 112. Issue 3. P. 528–535. DOI: 10.1007/s00122-005-0156-3.
11. Ellis M.H., Spielmeier W., Gale K.R., Rebetzke G.J., Richards R.A. Perfect Markers for the Rht-B1b and Rht-D1b Dwarfing Genes in Wheat. *Theoretical and Applied Genetics*. 2002. Vol. 105. Issue 6-7. P. 1038–1042. DOI: 10.1007/s00122-002-1048-4.
12. Worland A.J. The Influence of Flowering Time Genes on Environmental Adaptability in European Wheat. *Euphytica*. 1996. Vol. 89. Issue 1. P. 49–57. DOI: 10.1007/BF00015718.
13. Worland A.J., Krozun V., Roder M.S., Ganai M.W., Law C.N. Genetic Analysis of the Dwarfing Gene Rht8 in Wheat. Part II. The Distribution and Adaptive Significance of Allelic Variation at the Rht8 Locus of Wheat as Revealed by Microsatellite Screening. *Theoretical and Applied Genetics*. 1998. Vol. 96. Issue 8. P. 1110–1120. DOI: 10.1007/s001220050846.
14. Gao Z., Shi Z., Zhang A., Guo J. Distribution of genes associated with yield potential and water-saving in Chinese Zone II wheat detected by developed functional markers. *Journal of Genetics*. 2015. Vol. 94. Issue 1. P. 35–42. DOI: 10.1007/s12041-015-0472-6.
15. Rebetzke G.J., Appels R., Morrison A.D., Richards R.A., McDonald G., Ellis M.H., Spielmeier W., Bonnett D.G. Quantitative trait loci on chromosome 4B for coleoptile length and early vigour in wheat (*Triticum aestivum* L.). *Australian Journal of Agricultural Research*. 2001. Vol. 52. № 12. P. 1221–1234. DOI: 10.1071/AR01042.
16. Flinham J.E., Borner A., Worland A.J., Gale M.D. Optimizing Wheat Grain Yield: Effects of Rht (Gibberellin-Insensitive) Dwarfing Genes. *Journal of Agricultural Science*. 1997. Vol. 128. Issue 1. P. 11–25. DOI: 10.1017/S0021859696003942.
17. Ellis M.H., Rebetzke G.J., Azanza F., Richards R.A., Spielmeier W. Molecular mapping of gibberellin-responsive dwarfing genes in bread wheat. *Theoretical and Applied Genetics*. 2005. Vol. 111. Issue 3. P. 423–430. DOI: 10.1007/s00122-005-2008-6.
18. Worland A., Appendino M., Sayers E. The distribution, in European winter wheats, of genes that influence eco climatic adaptability whilst determining photoperiodic insensitivity and plant height. *Euphytica*. 1994. Vol. 80. no. 3. P. 219–228. DOI: 10.1007/BF00039653.
19. Guedira M., Brown-Guedira G.G., Sanford V.D., Sneller C., Souza E., Marshall D. Distribution of genes in modern and historic winter wheat cultivars from the Eastern and Central USA. *Crop Science*. 2010. Vol. 50. P. 1811–1822. DOI: 10.2135/cropsci2009.10.0626.
20. Gupta R.B., Shepherd K.W. Two-step one-dimensional SDS-PAGE analysis of LMW subunits of glutenin. I. Variation and genetic control of the subunits in hexaploid wheats. *Theoretical and Applied Genetics*. 1990. Vol. 80. Issue 1. P. 65–74. DOI: 10.1007/BF00224017.
21. Payne P.I., Seekings J.A., Worland A.J., Jarvis M.G., Holt L.M. Allelic variation of glutenin subunits and gliadins and its effect on bread making quality in wheat: analysis of F5 progeny from Chinese Spring x Chinese Spring (Hope 1A). *Journal of Cereal Science*. 1987. Vol. 6. P. 103–118.
22. Liu S., Rudd J.C., Bai G., Haley S.D., Ibrahim A.M., Xue Q., Hays D.B., Robert A., Graybosch R.A., Ravindra N., Devkota R.N., St Amand P. Molecular Markers Linked to Genes Important for Hard Winter. *Crop Science*. 2014. Vol. 54. № 4. P. 1304–1321. DOI: 10.2135/cropsci2013.08.0564.
23. Jin H., Yan J., Pena R.J., Xia X.C., Morgounov A., Han L.M., Zhang Y., He Z.H. Molecular detection of high- and low-molecular-weight glutenin subunit genes in common wheat cultivars from 20 countries using allele-specific markers. *Crop and Pasture Science*. 2011. Vol. 62. № 9. P. 746–754. DOI: 10.1071/CP11134.
24. Mago R., Brown-Guedira G., Dreisigacker S., Breen J., Jin Y., Singh R., Appels R., Lagudah E., Ellis J., Spielmeier W. An accurate DNA marker assay for stem rust resistance gene Sr2 in wheat. *Theoretical Applied Genetics*. 2011. Vol. 122. Issue 4. P. 735–744. DOI: 10.1007/s00122-010-1482-7.

УДК 631.432:631.51:631.582

**ЗНАЧИМОСТЬ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ВЛАГИ ПРИ ПОЛОСНОМ
РАЗМЕЩЕНИИ СЕЛЬХОЗУГОДИЙ НА ЗЕМЕЛЬНОЙ ТЕРРИТОРИИ****Азизов З.М.***ФГБНУ «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Юго-Востока», Саратов,
e-mail: azizowzakiulla@yandex.ru*

В полевом стационарном длительном опыте и сопряжённых участках и полях проанализированы изменения содержания гумуса в черноземе южном и его сохранения под различными сельскохозяйственными угодьями в зависимости от их размещения по земельной территории, применения севооборотов и приёмов основной обработки в засушливой степи Поволжья. Доказано, что почва после сельскохозяйственных культур, оставляющих больше неиспользованной влаги после себя, меньше её усваивает из осадков холодного осенне-зимне-весеннего периода. На паровых полях и с посевом озимых культур почва уплотнена и в эрозийном отношении опасна. Зимне-весенние оттепели с ледяной коркой и замороженным верхним слоем почвы при благоприятном его увлажнении в летне-осенний период резко снижают водопроницаемость пахотного слоя, в результате чего наблюдается, независимо от других погодных факторов, сток, недопустимый смыв и размыв пашни. Так, на участке с озимой пшеницей, высеченной после чёрного пара, за холодный период на варианте, обработанном отвальным плугом, в 0–150 см слое почвы накоплено продуктивной влаги 18,8 мм или 14,6% от выпавших осадков, плоскорезом – глубококорытлителем – 17,9 мм или 14,8%; с яровой пшеницей – соответственно обработкам 106,7 мм или 60,7% и 119,6 мм или 68,9%. Значительное сокращение стока талых вод и выпавших атмосферных осадков, а значит, повышение влагозарядки и уменьшение смыва почвы возможно через освоение ландшафтных принципов организации территории, дающих перспективу в системе земледелия, так как предполагает учитывать своеобразие рабочих участков полей, возделываемых на них культур, использования севооборотов и обработки почвы. Установлено, что на основе полосного размещения культур и парового поля появляется возможность постоянной их дислокации в данной местности со сложившимся рельефом, крутизной и экспозицией склона, отягощённых деструктивными природными и антропогенными деградационными процессами, но компенсируемыми данным землеустройством с сохранением эффективного и потенциального плодородия почвы в течение длительного периода времени.

Ключевые слова: накопление продуктивной влаги, сохранение гумуса, вспашка, плоскорезная обработка, участок поля, размещение культур

**THE SIGNIFICANCE OF MOISTURE DISTRIBUTION AT STRIPE PLACING
OF AGRICULTURAL LANDS ON THE LANDED TERRITORY****Azizov Z.M.***Federal State Budgetary Scientific Institution «Scientific Research Institute of Agriculture
of South – East», Saratov, e-mail: azizowzakiulla@yandex.ru*

Within a long-term stationary field experiment at fields and adjoining areas changes in content of humus in Southern black earth and its preservation under various agricultural lands depending on their location along land territories, crop rotation, and means of basic procession in drying steppe of by-Volga region were studied. It was proved that after agricultural crops that more of unusued moisture after them, soil can absorb less of it from fall-outs of cold autumn-sinter period. At fallows and during sawing of winter crops the soil is solidified and dangerous in erosion sense. Winter-spring thaws with ice crust and frozen upper level of soil can decrease drainage capacity of ploughing layer in case of its favourable irrigation during summer-autumn period. As a result, unacceptable flow-out and washout of tillage can happen regardless of other weather factors. Thus, at the area with winter wheat, sawed after black steam, during the cold period at the variant, treated with blade grader in 0-150 sm layer of soil amount of accumulated productive moisture equals 18,8mm or 14,6% of the fallout, for the variant subsurface plowing it equals 17,9 mm or 14,8%; for spring wheat it equals 106,7 mm or 60,7% and 119,6 mm or 68,9% respectively to methods of treatment. A significant decrease in drainage of melting water and atmospheric fallout and, therefore, increase in water deposition and decrease in soil washout is achievable through adaptation of landscape principles of territory organization that gives a perspective within agricultural system as it implies consideration of special features of field territories, produced crops, crop rotations, and soil treatment. It was established that at the foundation of stripe location of crops and fallows an opportunity arises to dislocate them constantly in a given location with the formed relief, steepness and exposition of slope, complicated by destructive natural and anthropogenic degrading processes, but, compensated by this type of land management with preservation of effective and potential soil productivity during a long period of time.

Keywords: accumulation of productive moisture, humus preservation, ploughing, blade grader treatment, field area, crop allocation

Рациональное экологически устойчивое земледелие невозможно без научного предвидения последствий деятельности человека. Мировым опытом доказано, что без надёжной оперативной информации об

использовании земель в новых условиях землепользования их деградацию остановить невозможно. Для современного этапа развития сельского хозяйства характерно неурегулированное пользование основным

средством производства, что ведёт к её деградации, нанося огромный ущерб продуктивному потенциалу земельного фонда и создавая социально-экономическую проблему, а в итоге угрозу национальной безопасности страны.

Одной из основных причин деградации является водная эрозия почв. В засушливые годы бывают случаи гибели сельскохозяйственных растений и снижение их урожаев на средне- и сильноэродированных землях вследствие нехватки влаги, значительного смыва и размыва почвы. Среди первоочередных мероприятий по охране земельных ресурсов, прежде всего, должна быть оптимизация соотношения и повышения эрозионно-гидрологической устойчивости элементов агроландшафта путём соблюдения экологического разнообразия, системной взаимосвязи и гармонии во всех звеньях агроценоза. Поволжье отличается разнообразием рельефа местности, почвенного покрова и влагообеспеченности. В агроландшафтах из-за крутизны склона и почвенного покрова от стока талых весенних вод и летних ливневых осадков на зяби и паровых полях возникают эрозионные процессы.

Это определяет необходимость дифференцированного применения сельскохозяйственных культур, паровых полей, ресурсосберегающих и почвозащитных технологий, которые влияют на продуктивность культур, экологическую и экономическую эффективность. Выявление закономерностей формирования стока, смыва и размыва почв, позволяет усилить противоэрозионную устойчивость агроценозов [1–3].

Одним из эффективных приёмов борьбы с эрозией является размещение сельскохозяйственных культур с необходимыми противоэрозионными свойствами, например кормовых трав (многолетних и однолетних), технических, зерновых сплошного посева и других, на каждом поле полосами с менее устойчивыми (паровое поле, пропашные и т.д.). Полосы с культурами и паровым полем размещают поперёк эрозионно опасных ветров, а при выраженном рельефе – поперёк склонов или по горизонталям [4, 5]. В условиях формирования и развития рыночных отношений становится необходимым научное обоснование рационального использования земельных ресурсов. Рыночная экономика способствует развитию узкой специализации сельскохозяйственного производства, в частности в растениеводстве, где создаются условия

возделывания наиболее рентабельных полевых растений, более узкой их специализации и даже монокультуре, следствием чего является укрупнение полей, отказ от севооборотов, рациональных приёмов основной обработки почвы, имеющих негативную сторону в противоэрозионном отношении [6]. Особенно это просматривается в структуре посевных площадей нашего региона, где основную долю процентов площади занимают паровые поля, озимые и технические культуры, в частности озимая пшеница и подсолнечник. Ранние паровые поля и озимые создают условия, способствующие увеличению стока талой воды. Так, например, по данным А.И. Шабаева [5], сток талых вод в 2–4 раза выше с уплотнённой пашни по отношению к участкам с осенней обработкой. Исходя из этого, проблеме почвозащитного севооборота, размещения в нём сельскохозяйственных культур, в частности озимых и технических, парового поля, применения приёмов основной обработки почвы, необходимо уделять должное внимание, что позволит более эффективно использовать осадки, выпадающие неравномерно в течение года в засушливых условиях, ослабить сток, а значит, водную эрозию и смыв почвы, что является на сегодня актуальной проблемой агропромышленного комплекса.

Цель исследования: сохранение почвы и её гумусного состояния путём полосного размещения на земельном участке различных зерновых, пропашных культур, в том числе озимой пшеницы и подсолнечника, поля под паром, применения приёмов основной обработки, которые частично или полностью прекращают сток весенних талых и летних ливневых вод, а вследствие этого эрозию и деградацию чернозёма южного тяжелосуглинистого в засушливой степи Поволжья.

Задачи исследования: уточнить на основании многолетних данных систему агротехнических мероприятий, проводимых на земельном участке с различными зерновыми, пропашными культурами, паровым полем и применением приёмов основной обработки, благодаря которым возможно поддерживать плодородие изучаемого нами чернозёма на уровне, близком к естественному на залежи.

Материалы и методы исследования

Опытные участки земель, на которых проводили наблюдения и исследования, расположены на водоразделе (плакорно-

равнинный полевой тип агроландшафта) с продолжением по склону северной экспозиции (склоново-ложбинный почвозащитный тип агроландшафта) [5]. Поле лаборатории севооборотов и агротехнологий, на одном из участков которого профессор А.Г. Дояренко в 1938 г. заложил стационарный длительный опыт по изучению различных одиннадцатипольных севооборотов и других приёмов технологий возделывания сельскохозяйственных культур, расположено на водоразделе и занимает в настоящее время площадь размером 37,4 га. К востоку от стационарного опыта поле занято производственными посевами. С севера и с юга стационарный опыт и производственное поле окаймлено полевзащитными лесными полосами, расстояние между которыми составляет 300 м. Поле лаборатории севооборотов и агротехнологий расчленено на две одинаковые половины дорогой, которая проходит с запада на восток. Южная половина опытного участка от полевой дороги находится на водоразделе, северная – на склоне северной экспозиции. Сопряжённый участок поля с нумерацией № 5, занятый производственными посевами и с освоенным севооборотом, продолжается в восточном направлении и окаймлён с севера и с юга, а также с востока полевзащитной лесной полосой, представляя с экспериментальным единое целое.

На производственном поле с нумерацией № 2 за полевзащитной лесной полосой, окаймляющей с севера экспериментальный участок лаборатории севооборотов и агротехнологий с продолжением склона северной экспозиции, в 1966 г. был размещён стационарный участок, где велись наблюдения и исследования лаборатории селекции и семеноводства масличных культур (подсолнечника) и лаборатории селекции и семеноводства кукурузы площадью 5 га каждый. Здесь также расположен экспериментальный участок поля, который окаймлён с северной и южной сторон полевзащитной лесной полосой, расстояние между которыми составляет 300 м. Данный участок поля разделён на две одинаковые половины полевой дорогой в направлении с запада на восток. Сельскохозяйственные культуры, изучаемые селекционными лабораториями, чередовались с чистым паром, площадью в 5 га: паровое поле – кукуруза – паровое поле – подсолнечник, а с 2006 г.: паровое поле – подсолнечник на половине участка, ограниченного с севера полевой дорогой, а с юга полевзащитной лесной полосой. После ухода с данного участка

поля лаборатории селекции и семеноводства кукурузы за полевой дорогой до полевзащитной лесной полосы с северной стороны были размещены производственные посеы экспериментального хозяйства ФГБНУ «НИИСХ Юго-Востока».

Лабораторией севооборотов и агротехнологий в 1970 г. в нижней половине за полевой дорогой к северу до самой полевзащитной лесной полосы был заложен опыт по изучению приёмов основной обработки почвы в севообороте в стационарных условиях. В верхней половине к югу от полевой дороги до самой полевзащитной лесной полосы были продолжены исследования по изучению различных видов севооборотов. Приёмы основной обработки почвы, начиная с 1970 г. и заканчивая 1977 г., изучали в 6-польном зернопаропропашном севообороте с чередованием сельскохозяйственных культур и чистого парового поля: пар чистый – озимая пшеница – яровая пшеница – кукуруза – яровая пшеница – яровая пшеница; а с 1978 по 1999 г. вследствие замены пропашной культуры кукурузы на рядовую – просо в зернопаровом: пар чистый – озимая пшеница – яровая пшеница – просо – яровая пшеница – ячмень; с 2000 по 2017 г. в связи с исключением из севооборота двух полей в 4-польном зернопаровом: пар чистый – озимая пшеница – просо – яровая пшеница. В 6-польных зернопаропропашном и зернопаровом севооборотах с целью изучения основной обработки почвы в засушливых условиях Поволжья проводились следующие их приёмы ежегодно под все сельскохозяйственные культуры: 1 – вспашка плугом марки ПН-4-35 на глубину 27–30 см; 2 – плоскорезная обработка плоскорезом-глубококорылителем марки КПП-250 на глубину 27–30 см. В 4-польном зернопаровом севообороте первый вариант обработки остался без изменений, а у второго уменьшили глубину, которая составила 14–16 см.

Объект исследований. Почва, находящаяся на пологом склоне северной экспозиции на семи водосборах, где размещены два полевых опытных участка: на одном (поле № 2: лаборатория селекции и семеноводства масличных культур и лаборатория селекции и семеноводства кукурузы) с двухполосным (ширина полос 150 м) размещением паропропашного севооборота, на другом (лаборатория севооборотов и агротехнологий) с шестью полосами (ширина полос 50 м) с размещением на трёх полосах плакорно-равнинного полевого агроландшафта севооборотов, а на трёх полосах склоново-лож-

бинного агроландшафта систем основной обработки, участков поля с бессменным чистым чёрным паром (с 1964 г.) и многолетней залежью (с 1940 г.).

Почва – чернозём южный малогумусный среднесиловый тяжелосуглинистый, сформированной на материнской породе, представленный тёмно-жёлтой делювиальной глиной. В слое почвы 0–30 см содержание гумуса составило 4,5%. Наблюдения и исследования проводились в естественных условиях агроландшафта, сформированного в первой и второй половинах XX в. на площади 22,4 га (747 м*300 м) на двух одинаковых участках, размер каждого из которых составляет по 11,2 га (747 м*150 м), разделённых друг от друга полевой дорогой, идущей с запада на восток, и окаймлённых с севера и юга защитной лесной полосой. При изучении водного режима почвы на водосборах рассматриваемых участков определяли запасы продуктивной влаги в 1,5-метровом её слое в посевах полевых культур и парового поля термостатно-весовым методом с отбором послойно проб через каждые 10 см буром АМ-16. Для определения химического содержания почвенных образцов использовали общепринятые методы их исследования [7].

Результаты исследования и их обсуждение

Для условий засушливой степи Юго-Востока характерен непромытый тип водного режима, который характеризуется отсутствием сплошного весеннего промачивания почвенного профиля, ограничиваясь 0–150 см слоем и содержанием преимущественно подвешенной капиллярной влаги, не достигающая полной полевой влагоёмкости [8, 9]. Результаты многолетних исследований, проведённых в стационарных условиях полевого опыта, показали, что весной после схода снега и наступления физической спелости поверхности почвы (годовой максимум) большую часть лет (более 75%) в посевах озимой культуры накопленные запасы продуктивной влаги в 1,5-метровом почвенном слое не достигали уровня величины полной полевой влагоёмкости. Здесь необходимо сказать то, что запасы продуктивной почвенной влаги также зависят от возделываемой на данном поле сельскохозяйственной культуры.

Выявлено, например, что люцерна, подсолнечник, имея стержневую корневую систему, используют влагу из глубинных слоёв

(0–300 см), иссушая тем самым рассматриваемый профиль почвы. В связи с чем в аридных условиях особое внимание было уделено одному из важных для данных условий агротехническому приёму – это оставление поля под чистым паром, благодаря которому возможно накопление и сохранение влаги, очищение полей от сорной растительности, накопление элементов питания, доступных для сельскохозяйственных культур. Наши наблюдения в длительных стационарных полевых опытах показали, что наибольшее количество продуктивной влаги остаётся после поздно убираемых культур (кукурузы, проса), наименьшее – после рано убираемых, таких, например, как горох, яровая мягкая пшеница (табл. 1). Такие культуры, как люцерна и подсолнечник, в изучаемом слое почвы практически не оставляют никаких запасов продуктивной влаги. Так, после уборки люцерны продуктивной влаги в слое почвы 0...150 см содержалось – 8,7 мм, подсолнечника – 11,6 мм.

Бобовая кормовая культура люцерна благодаря развитой и глубоко уходящей в глубину корневой системе формирует и большую надземную вегетативную массу, вследствие чего более интенсивно иссушается почва, и к началу посева яровых культур в её посевах наблюдается меньшее накопление запасов продуктивной влаги по сравнению с другими возделываемыми культурами. При подъёме пласта люцерны запасы продуктивной влаги в почве увеличиваются, что связано, по мнению А.Г. Дояренко, с хорошей водопроницаемостью поднятого пласта многолетней бобовой культуры и более полным использованием выпавших за осенне-зимне-весенний период атмосферных осадков [8]. Данная закономерность отмечена и другими исследователями, в частности А.В. Панфиловым [9]. Здесь следует отметить следующее. Хотя поглотительная способность почвы по отношению к влаге после обработки пласта многолетней бобовой культуры увеличивается, однако, запасы продуктивной влаги в 1,5-метровом почвенном слое к посеву ранней яровой культуры пшеницы, высеянной как по пласту, так и обороту пласта, меньше, чем после таких предшественников, как озимая и яровая пшеницы. Это, по-видимому, связано с использованием продуктивной влаги многолетней бобовой культурой (люцерной) с более глубоких почвенных горизонтов и оттоком её от выпавших атмосферных осадков в глубинные слои после обработки пласта и последующего его оборота.

Таблица 1

Накопление продуктивной влаги в слое 0–150 см к посеву яровой пшеницы, мм

Предшественники	Содержание влаги в почве после:		Накопле- ние влаги к посеву	Осадки, мм	% исполь- зования осадков
	уборки пред- шественников	посева яровой пшеницы			
	В среднем за 2007–2013 гг.				
Озимая пшеница по чистому пару	35,9	146,7	110,8	321,9	34,4
Озимая пшеница по занятому пару	53,5	150,6	97,1		30,2
Озимая рожь по занятому пару	48,2	150,4	102,2		31,7
Пласт многолетних трав	8,7	138,0	129,3		40,2
	В среднем за 2009–2013 гг.				
Кукуруза	73,7	150,0	76,3	272,4	28,0
Просо	67,7	137,4	69,7		25,6
Яровая пшеница	48,9	152,8	103,9	315,0	33,0
Оборот пласта многолетних трав	42,2	140,8	98,6		31,3

Таблица 2

Аккумуляция продуктивной влаги в 1,5-метровом почвенном слое в посевах озимой пшеницы (среднее за 27 лет)

Обработка почвы	Продуктивной влаги в почве, мм			Осадки за месяцы, мм		Накопление влаги за			
	в посев	уход в зиму	ВВВ	IX–X	XI–III	осень		зиму	
						мм	%	мм	%
Вспашка	187,6	194,4	206,4	83,2	188,3	6,8	8,2	12,0	6,4
Плоскорез	183,3	191,2	201,2	83,2	188,3	7,9	9,5	10,0	5,3

Примечание. ВВВ – весеннее возобновление вегетации.

Подсолнечник в настоящее время наиболее востребованная на рынке культура. Достаточно высокая цена реализации маслосемян является экономическим стимулом для увеличения его удельного веса в структуре посевных площадей хозяйств региона. Во многих хозяйствах подсолнечник занимает 25 % пашни и более, то есть возвращается на поле через 2–3 года.

Почва после предшественников, оставляющих большее количество неиспользованной влаги, меньше её усваивает из осадков осенне-зимнего периода (табл. 1).

Многолетние наблюдения показали, что в посевах озимой пшеницы, которая высевалась по чистому чёрному пару, за осенне-зимне-весеннее время 1,5-метровый почвенный слой на варианте с глубокой вспашкой продуктивную влагу аккумулировал в количестве 18,8 мм, с плоскорезной обработкой – 17,9 мм, что составило соответственно обработкам 14,6 и 14,8 % от атмосферных осадков, выпавших в изучаемый период (табл. 2).

Здесь необходимо отметить следующее: в 1973–1994 гг. в годы с засушливым

весенне-летним периодом потери влаги на испарение паровым полем на участках с глубокой вспашкой и плоскорезной обработкой составили 151 и 159 мм, в том числе из почвы слоя 0–150 см – соответственно обработкам 23 и 31 мм; с влажным – 253 и 256 мм, из почвы – 7 и 10 мм.

В период осенней вегетации озимых до ухода их в зиму в годы с засушливой осенью выпавшие осадки и часть почвенной влаги – 12–31 мм расходовались на испарение и рост растений, при влажной осени, наоборот, часть осадков накапливалась в почве в количестве 8–38 мм. Аналогичная закономерность отмечена при подготовке почвы к посеву яровой пшеницы с испарением части осадков и потерей влаги из почвы в засушливые осени и некоторым накоплением её из осадков во влажные осени в период от проведения основной обработки почвы до ухода зяби в зиму (табл. 3). После возобновления весенней вегетации озимой пшеницы в 1974–1995 гг. запасы продуктивной влаги в слое 0–150 см на вариантах с глубокой вспашкой и плоскорезной обработкой незначительно различались в пользу

первой обработки. За годы проведённых наблюдений к посеву и весеннему отрастанию озимой пшеницы запасы продуктивной влаги в 1,5-метровом почвенном слое имели тенденцию уменьшения не только на варианте плоскорезной обработки, но и мелко-големешного лущения по отношению к варианту глубокой вспашки. Так, в среднем за 2001–2015 гг. наблюдений к посеву озимой пшеницы накопление запасов продуктивной влаги в почвенном слое 0–150 см на варианте с глубокой вспашкой составили 188,4 мм, плоскорезной обработке 184,0 мм, мелкому лемешному лущению – 178,8 мм, к весеннему отрастанию озимой культуры – соответственно обработкам 207,9; 202,7 и 197,0 мм. В проведённых исследованиях на зяби, подготовленной для посева яровой пшеницы, было установлено, что аккумуляция весенних запасов в почве продуктивной влаги из атмосфер-

ных осадков осени, зимы и весны снижается в годы с влажной осенью и повышается в годы с её засушливостью.

При сравнении приёмов основной обработки между собой видно, что, независимо от увлажнения осени, осенне-зимне-весенние осадки в наибольшем количестве использовались при проведении плоскорезной обработки. Оставшаяся на поверхности почвы стерня позволяет больше сохранить снег от сноса ветром в зоне засушливой степи Поволжья, а весной, вследствие его таяния, повысить запасы влаги в почве.

За осенне-зимний период на участке, предназначенном под посев яровой пшеницы, на варианте с отвальной обработкой в 0...150 см почвенном слое аккумуляровалось продуктивной влаги 106,7 мм, что составило 60,7% от выпавших осадков, с плоскорезной обработкой – соответственно 119,6 мм и 68,9% (табл. 4).

Таблица 3

Аккумуляция запасов продуктивной влаги в 1,5-метровом почвенном слое к посеву яровой пшеницы (среднее за 1973–1995 гг.)

Приёмы основной обработки почвы	Содержание влаги в почве, мм			Накопление влаги из осадков (191,4 мм), выпавших в период от ухода в зиму до посева, мм		Количество осадков в осенне-зимне-весенний период, мм	Накопление влаги из осадков, выпавших в период от проведения основной обработки до посева, мм	
	перед основной обработкой	перед уходом в зиму	в посев	мм	%		мм	%
	После сухой осени							
Вспашка, 27–30 см	88	72	193	121	63,2	217,6	105	48,2
Плоскорезная обработка, 27–30 см	79	68	200	132	69,0		120	55,1
	После влажной осени							
Вспашка, 27–30 см	57	95	184	90	47,0	293,1	128	43,7
Плоскорезная обработка, 27–30 см	56	97	200	103	53,8		144	49,1

Таблица 4

Аккумуляция запасов продуктивной влаги в почвенном слое 0–150 см к посеву яровой пшеницы (в среднем за 43 года)

Основная обработка почвы	Продуктивной влаги в почве, мм			Осадков за месяцы		Накопление влаги за			
	в уборку	уход в зиму	в посев	VIII–X	XI–III	осень		зиму	
						мм	%	мм	%
Вспашка	82,8	103,1	189,5	116,8	199,6	20,3	17,4	86,4	43,3
Плоскорез	77,2	102,7	196,8	116,8	199,6	25,5	21,8	94,1	47,1

Таблица 5

Содержание гумуса по слоям профиля почвы, %

Слой почвы, см (фактор В)	Водосбор (фактор А)							Средние по фактору В ($S_b = 0,036$) $F = 1699,54^*$ $НСР_{05} = 0,10$		Поле
	Пашня 1966 г.	Залежь	Бесменный пар	Паропропашной севооборот	2-польный зернопа- ровой севооборот	7-польный зернопа- ровой севооборот	Участок поля			
							вспаха	поскорезная обработка		
0–10	5,01	5,06	3,93	3,36	4,07	3,92	4,08	4,17	4,20	3,47
10–20	5,01	4,73	3,88	3,36	4,09	3,92	3,99	4,08	4,13	3,49
20–30	4,98	4,05	3,89	3,36	4,00	3,77	3,88	3,98	3,99	3,42
30–40	3,93	3,25	3,44	3,18	4,01	3,47	3,63	3,66	3,57	3,34
40–50	3,60	2,36	2,91	2,22	3,23	2,87	3,05	3,06	2,91	2,45
50–60	2,29	1,78	2,42	1,50	2,34	2,16	2,56	1,87	2,11	1,43
60–70	2,17	1,15	1,90	1,02	2,06	1,68	1,93	1,25	1,65	1,17
70–80	1,06	0,97	1,40	0,93	1,75	1,08	1,12	0,77	1,14	1,15
80–90	1,00	0,76	0,91	0,60	1,05	0,96	0,88	0,67	0,85	0,94
90–100	0,62	0,62	0,69	0,54	0,89	0,60	0,81	0,52	0,66	0,88
100–110	0,56	0,59	0,58	0,48	0,81	0,61	0,64	0,41	0,58	0,76
110–120	0,55	0,56	0,53	0,48	0,76	0,58	0,55	0,39	0,55	0,63
120–130	0,45	0,53	0,54	0,47	0,73	0,52	0,51	0,38	0,51	0,58
130–140	0,45	0,50	0,54	0,50	0,66	0,50	0,48	0,36	0,50	0,53
140–150	0,45	0,47	0,49	0,52	0,62	0,47	0,44	0,32	0,49	0,50
0–150	2,14	1,83	1,87	1,51	2,07	1,81	1,90	1,73		1,65
	Средние по фактору А ($S_a = 0,026$) $F = 55,51^*$ $НСР_{05} = 0,07$									
	Частные средние вариантов: $F = 208,96^*$, $НСР_{05} = 0,28$; Взаимодействия факторов АВ: $F = 6,98^*$, $НСР_{05} = 0,28$									

За последние годы анализ результатов полевого опыта по запасам продуктивной влаги в почве к посеву яровой пшеницы в зависимости от приёмов основной обработки показывает, что мелкое лемешное лушение по данному показателю не уступает вспашке. Так, например, за 2001–2015 гг. исследований после плоскорезной обработки в 1,5-метровом слое почвы запасы продуктивной влаги составили 197,8 мм, глубокой вспашки – 191,6, лемешного лушения – 195,5 мм.

Накопленная в период парования почвенная влага к периоду ухода в зиму остаётся до конца не используемой озимой пшеницей, поэтому в весенний период не вся талая вода проникает в глубину почвенного профиля. Её излишки стекают, образуя сток, а вместе с ним и смыв верхнего слоя почвы.

Баланс влаги в паровом поле и под озимой пшеницей в севооборотах с разной продолжительностью ротации не имел значимых различий. Так, после возобновления вегетации весной под озимой пшеницей в 2- и 6-польном севооборотах в слое 0–150 см содержалось одинаковое количество доступной влаги.

На опытных участках поля благодаря полосному размещению сельскохозяйственных культур в течение длительного периода (40 лет) не отмечается падения плодородия почвы от эрозии, связанной со стоком излишней воды, по отношению к селекционному паропропашному севообороту и сопряжённому производственному полю, где каждый год высевается согласно принятому севообороту одна какая-либо сельскохозяйственная культура или остаётся поле под чистым паром (табл. 5).

Основное содержание гумуса в почвах на всех угодьях сосредоточено в гумусовом слое (0–50 см). Наибольшее его содержание наблюдалось на пашне 1966 г., взятое в качестве исходного. В течение пяти десятилетий от агропроизводственного воздействия содержание гумуса на всех угодьях существенно уменьшилось, особенно резко на производственном поле и селекционном паропропашном севообороте. В переходном горизонте в слое почвы 50–100 см отмечено существенное снижение гумуса от исходного в залежи, селекционном паропропашном севообороте, плоскорезной обработке. При сравнении сельскохозяйственных угодий между собой при исключении исходного варианта пашни 1966 г., видно, что существенное снижение наблюдается на варианте с селекционным паропропашным севооборотом, а существенное

повышение – на варианте с 2-польным зернопаровым севооборотом. В материнской породе в слое 100–150 см содержание гумуса по всем вариантам практически колебалось в пределах ошибки опыта. Благодаря основному содержанию гумуса в верхнем гумусовом и переходном горизонтах в почвенном профиле 0–150 см существенное его снижение от исходного отмечено на вариантах залежи, 7-польного зернопарового севооборота, плоскорезной обработки и производственного поля. Особенно резкое снижение содержания гумуса наблюдается на варианте селекционном паропропашном севообороте. При этом распределение гумуса по профилю почвы на пашне 1966 г., а также вариантах бесменного пара, 2- и 7-польного зернопарового севооборотов, вспашки и производственного поля равномернее и глубже по сравнению с залежью, селекционным паропропашным севооборотом и плоскорезной обработкой.

Из приведённых данных видно, что для предотвращения эрозионных и дефляционных процессов на отдельных участках полей и угодий (пар чистый; поля, занятые пропашными и поздними культурами, а также многолетними травами первого года пользования) необходимо полосное размещение культур и парового поля.

Выводы

Следовательно, в настоящее время наиболее востребованы адаптивно-ландшафтные системы земледелия, основанные на агролесомелиоративных комплексах в агроландшафтах, в которых учитываются своеобразие рабочих участков поля, возделываемые на них сельскохозяйственные культуры, севообороты и приёмы обработки почвы. В условиях размещения на склонах различной крутизны и экспозиции рельефа наиболее приемлемым является полосное размещение культур, севооборотов и обработки почвы. На основе полосного размещения культур и парового поля появляется возможность постоянной их дислокации в данной местности со сложившимся рельефом, крутизной и экспозицией склона, отягощённых деструктивными природными и антропогенными деградационными процессами, но компенсируемыми данным землеустройством с сохранением эффективного и потенциального плодородия почвы в течение длительного периода времени. Ввиду того, что сток талых вод протекает часто по мёрзлой почве, а сток ливневых вод по паровому полю, пропашным культурам, полосное

размещение должно быть ориентировано не только на поглощение, но и на аварийный сброс воды. Поэтому на водоразделах и при уклонах выше 1^0 на поле наряду с полосным размещением чистого пара и культур планировать зябь с преобладанием её в нижней его части для усвоения излишков воды, стекающей с парового поля, занятого или не занятого озимыми, пропашными и другими культурами. Учитывать при этом возможность внутривосковой организации путём полосного размещения культур и парового поля, создания загонок поперёк склона, желательного по горизонталям. Чем длиннее уклон, тем меньших размеров по ширине поперёк склона должны быть рабочие участки с чередованием обязательно полос с чистым паром, занятые озимыми, пропашными, многолетними травами и с зябью. Для отвода излишней стоковой ливневой или паводковой воды планировать залужение стоковых площадок в естественных понижениях и ложинах с оставлением их без обработки.

Список литературы / References

1. Борисов Б.А., Ганжара Н.Ф. Органическое вещество почв (генетическая и агрономическая оценка). М.: Изд-во РГАУ – МСХА, 2015. 214 с.
Borisov B.A., Ganzhara N.F. Soil organic matter (genetic and agronomic evaluation). M.: Izd-vo RGAU – MSKHA, 2015. 214 p. (in Russian).
2. Кирюшин В.И. Теория адаптивно-ландшафтного земледелия и проектирование агроландшафтов. М.: Колос, 2011. 442 с.
Kiryushin V.I. The theory of adaptive landscape farming and agrolandscape design. M.: Kolos, 2011. 442 p. (in Russian).
3. Проездов П.Н., Вишнякова В.В. Водный баланс агролесоландшафтов. М.: Планета, 2016. 116 с.
Proyezdov P.N., Vishnyakova V.V. Water balance of agroforestry landscapes. M.: Planeta, 2016. 116 p. (in Russian).
4. Черкасов Г.Н., Акименко А.С., Масютенко Н.П. База данных структуры посевных площадей и системы севооборотов для автоматизированного проектирования адаптивно-ландшафтных систем земледелия в Центральном Черноземье. Курск: ГНУ ВНИИЗиЗПЭ РАСХН, 2013. 54 с.
Cherkasov G.N., Akimenko A.S., Masyutenko N.P. Database of crop area and crop rotation system for computer-aided design of adaptive-landscape farming systems in the Central Chernozem. Kursk: GNU VNIIZiZPE RASKHN, 2013. 54 p. (in Russian).
5. Шабаетов А.И. Избранные труды. Эрозия почв и адаптивно-ландшафтное земледелие. Саратов, 2017. 648 с.
Shabaev A.I. Selected Works. Soil erosion and adaptive landscape agriculture. Saratov, 2017. 648 p. (in Russian).
6. Шарков И.Н., Самохвалова Л.М., Мишина П.В. Изменение органического вещества чернозёма выщелоченного при минимизации обработки в лесостепи Западной Сибири // Почвоведение. 2016. № 7. С. 892–899 DOI: 10.7868/S0032180X16070091.
Sharkov I.N., Samokhvalova L.M., Mishina P.V. Transformation of soil organic matter in leached chernozems under minimized treatment in the forest-steppe of West Siberia // Eurasian Soil Science. 2016. T. 49. № 7. P. 824–830. DOI: 10.1134/S1064229316070097.
7. Агрохимические методы исследования почв / Под ред. А.В. Соколова, Д.И. Аскинава, И.П. Сердобольского. М.: Изд-во АН СССР, 1975. 656 с.
Agrochemical methods of soil investigation / Pod red. A.V. Sokolova, D.I. Askinava, I.P. Serdobol'skogo. M.: Izd-vo AN SSSR, 1975. 656 p. (in Russian).
8. Дояренко А.Г. Агротехническое регулирование водного режима почв // Научная конференция по изучению и развитию производительных сил Нижнего Поволжья. Саратов, 1945. С. 66–67.
Doyarenko A.G. Agrotechnical regulation of soil water regime // Nauchnaya konferentsiya po izucheniyu i razvitiyu proizvoditel'nykh sil Nizhnego Povolzh'ya. Saratov, 1945. P. 66–67 (in Russian).
9. Панфилов А.В. Теоретическое и экспериментальное обоснование адаптивно-ландшафтных систем земледелия и агролесомелиорации в степной и сухостепной зонах Поволжья: дис... докт. сел.-хоз. наук: 06.01.01, 06.03.03. Пенза, 2017. 316 с.
Panfilov A.V. Theoretical and experimental substantiation of adaptive-landscape systems of agriculture and agroforestry in the steppe and dry-steppe zones of the Volga region: dis ... doctor of agricultural sciences: 06.01.01, 06.03.03. Penza, 2017. 316 p. (in Russian).

УДК 630*228.7:630*531:633.878.43

ВЛИЯНИЕ РУБОК УХОДА НА ТАКСАЦИОННЫЕ ПАРАМЕТРЫ КРОН ДЕРЕВЬЕВ В ИСКУССТВЕННЫХ БЕРЕЗОВЫХ ДРЕВОСТОЯХ АРИДНЫХ УСЛОВИЙ ПРОИЗРАСТАНИЯ

¹Данчева А.В., ²Залесов С.В.¹Казахский научно-исследовательский институт лесного хозяйства
и агролесомелиорации, Щучинск;²Уральский государственный лесотехнический университет, Екатеринбург, e-mail: Zalesov@usfeu.ru

Целью исследований было установление влияния рубок ухода различной интенсивности изреживания на таксационные показатели кроны деревьев березы повислой (*Betula pendula* Roth. (verrucosa Ehrh.)). Объектами исследования служили среднеполнотные искусственные березовые древостои II класса возраста в условиях сухой типчаково-ковыльной степи Северного Казахстана на примере ТОО «Астана орманы». В основу исследований положен метод пробных площадей (ПП), на каждой из которых помимо общепринятых в лесной таксации измерений производилась оценка жизненного состояния деревьев в соответствии с методическими рекомендациями В.А. Алексеева (1989). При показателе жизненного состояния 100–80% древостои характеризовались как «здоровые»; при 79–50% – как поврежденные (ослабленные), при 49–20% – сильно поврежденные (сильно ослабленные), а при 19% и ниже – полностью разрушенные. Установлено, что проведение рубок ухода умеренной и высокой интенсивности изреживания по низовому методу способствует увеличению протяженности кроны ($L_{кр}$), диаметра ($D_{кр}$), площади ($S_{кр}$) и объема кроны ($V_{кр}$) в 1,2–2,0 раза в сравнении с контролем. Удаление сухих сучьев на высоту до 2,5–3,0 м у оставшихся на доращивание деревьев повышает пожароустойчивость данных насаждений. Регулирование высоты сухих сучьев по стволу дерева приобретает особо важное значение в насаждениях, произрастающих вокруг населенных пунктов, поскольку, помимо очевидного повышения пожароустойчивости данных древостоев, улучшается их эстетичное восприятие и рекреационная привлекательность. Проведение рубок ухода высокой интенсивности изреживания в березовых насаждениях ТОО «Астана орманы» приводит к снижению густоты их произрастания до 650–750 шт/га и увеличению площади питания, является достаточным условием для поддержания устойчивости исследуемых березовых древостоев. Поэтому рубки ухода по низовому методу с высокой интенсивностью изреживания (30% от запаса и 50% по количеству деревьев) на данном этапе исследований являются одним из наилучших вариантов.

Ключевые слова: искусственные березовые древостои, рубки ухода, жизненное состояние, биологическая устойчивость

EFFECT OF IMPROVEMENT CUTTING UPON TAXATIONAL SPECIFICATIONS OF TREE CROWNS IN ARTIFICIAL BIRCH FOREST STANDS, GROWING IN ARID CONDITIONS

¹Dancheva A.V., ²Zalesov S.V.¹Kazakh Scientific Research Institute of Forestry and Agroforestry, Schuchinsk;²Ural State Forest Engineering University, Ekaterinburg, e-mail: zalesov@usfeu.ru

The objective of this research was to determine the effect of improvement cutting of various thinning intensity upon taxational specifications of crowns of trees *Betula pendula* Roth. (verrucosa Ehrh.). Objects of the research were artificial birch stands of moderate density of the II age class in terms of dry festuca-feather grass steppe of Northern Kazakhstan at the example of LLP «Astana ormany». The foundation of research is formed of method of sample areas (SA), at every of which evaluation of life condition of trees according to methodical recommendations of V.A. Alekseyev (1989) was carried out along with typical estimations, accepted in forest taxation. Standings with life condition index of 100–80% were defined as «healthy», 79–50% – as «damaged» (weakened); 49–20% – as «highly damaged» (highly weakened); 19% and below – as «completely destroyed». It was established that undertaking improvement cutting of moderate and high intensity of thinning via low method provides for increase in crown longevity (L_{cr}), diameter (D_{cr}), area (S_{cr}), and volume (V_{cr}) by 1,2–2,0 in comparison to the control. Removing dry branches at height of 2,5–3,0 m among trees, left fro growing, improves fire resistance of such standings. Regulation of height of dry branches along tree trunk obtains a special significance in standings, growing around populated areas, as apart from evident improvement in fire resistance of such standings it provides for their aesthetic perception and recreational attractiveness. Undertaking improvement cuttings of high thinning intensity in birch standings of LLP «Astana ormany» leads to decrease in concentration of their growing down to 650–750 units/ha and increase in area of feeding. It is a sufficient condition of sustaining stability of the studied birch standings. Therefore, improvement cutting via low method of high thinning intensity (30% of stock and 50% of tree number) proves to be one of the best options at the current stage of research.

Keywords: artificial birch standings, improvement cuttings, life condition, biological stability

Определяющим фактором улучшения жизни населения является создание комфортного микроклимата для проживания. В степных аридных условиях последнее крайне затруднительно, поскольку отсутствие или

недостаточное количество древесных растений обуславливает интенсивные ветры, формирующие зимой метели, а летом суховеи.

Низкая транспирация влаги травянистыми растениями не способствует повыше-

нию влажности воздуха, а малая высота не обеспечивает наличие тени, что в конечном счете делает пребывание граждан на открытом воздухе некомфортным практически во все времена года. Неслучайно сразу после переноса столицы Республики Казахстан в г. Нурсултан было принято решение о создании вокруг него санитарно-защитной зоны, что потребовало обобщения имеющегося опыта создания защитных насаждений в аридных условиях [1].

Создание и формирование искусственных насаждений в санитарно-защитной зоне г. Нурсултан Республики Казахстан осуществляется в жестких почвенно-климатических условиях. Доля лесопригодных почв здесь не превышает 25 %. Климат резко континентальный при значительном недостатке влаги для растений в течение вегетационного периода. Указанное объясняет тот факт, что создание и выращивание зеленых насаждений чрезвычайно затратное и трудоемкое мероприятие. Особо следует отметить, что при проектировании лесоводственных мероприятий необходимо учитывать продолжительный период смыкания крон деревьев, слабую дифференциацию их по высоте и повышенный отпад из-за мозаичности почвы.

Общеизвестно, что основным лесоводственным мероприятием, направленным на повышение устойчивости, улучшение санитарного состояния и рекреационной привлекательности насаждений являются рубки ухода [2, 3]. Особую важность приобретают рубки ухода в искусственных насаждениях, поскольку благодаря им в таежной зоне предотвращается смена пород, а в лесостепной и степной зонах отсутствие своевременных рубок ухода может привести к гибели древостоев из-за недостатка почвенной влаги. В том и другом случаях затраты на создание и выращивание лесных культур окажутся неоправданными [4].

Для оценки устойчивости лесных насаждений к воздействию неблагоприятных антропогенных и природных факторов используются различные показатели. Однако наиболее объективным показателем состояния деревьев и древостоев является морфоструктура, развитость и показатели строения крон [5]. По причине большой степени динамичности именно таксационные показатели крон, по сравнению с диаметром на высоте 1,3 м и высотой, лучше отражают состояние деревьев [6, 7].

Цель исследования: изучение влияния рубок ухода различной интенсивности из-

реживания на таксационные показатели кроны деревьев березы повислой (*Betula pendula* Roth. (verrucosa Ehrh.)).

Материалы и методы исследования

Основой для проведения исследований служили постоянные пробные площади (ППП), заложенные в 2012 г. сотрудником Казахского научно-исследовательского института лесного хозяйства и агролесомелиорации кандидатом сельскохозяйственных наук С.М. Барановым в лесных культурах березы повислой (*Betula pendula* Roth.). ППП расположены на территории лесохозяйственного предприятия «Астана орманы». При закладке эксперимента на секциях ППП проводились рубки ухода умеренной (15–25 %) и высокой (25 % и более) интенсивности по запасу. Кроме того, на каждой ППП оставлялась контрольная секция, где рубки ухода не проводились.

Одновременно с проведением рубок ухода на рабочих секциях производилась обрезка сухих сучьев.

Искусственные березовые насаждения были созданы посадкой 2-летних сеянцев в 1997 г. Создавались лесные культуры кулисным способом. При этом 5 рядов лесных культур чередовались с межкулисными пространствами шириной 12 м. Схема посадки 0,7×2,0 м.

Установление таксационных показателей исследуемых искусственных березовых древостоев производилось на основании сплошного перечета, выполненного на всех секциях постоянных пробных площадей [8]. Для определения классов бонитета, относительных полнот и запасов древостоев использовались справочные материалы, разработанные Т.Х. Токмурзиным и В.И. Кричуном [9] для березовых древостоев.

При оценке жизненного состояния деревьев использовалась методика, разработанная В.А. Алексеевым [10]. Согласно указанной методике при показателе 100–80 % жизненное состояние древостоя оценивалось как «здоровое», при 79–50 % древостой характеризовался как ослабленный (поврежденный), при 49–20 % – как сильно ослабленный (сильно поврежденный) и при показателе ниже 20 % – как разрушенный.

Результаты исследования и их обсуждение

При анализе полученных в ходе исследований материалов данные, установленные на секциях, пройденных рубками ухода

с близкой интенсивностью изреживания, были сгруппированы с установлением средних таксационных показателей при умеренной и высокой интенсивности рубок ухода, а также на контроле (табл. 1).

Материалы, приведенные в табл. 1, свидетельствуют, что объектами исследования служили чистые по составу искусственные березовые насаждения четвертого класса бонитета. В 20-летнем возрасте относительная полнота исследуемых древостоев изменяется, в зависимости от проведенных 5 лет назад рубок ухода различной интенсивности, от 0,4 до 0,6, при варьировании густоты от 700 до 1450 шт/га.

В целом можно отметить, что рубки ухода оказывают положительное влияние на таксационные показатели искусственных березовых древостоев. Поскольку при проведении рубок ухода в первую очередь из древостоя изымались отставшие в росте деревья (низовой метод рубок ухода), при высокой интенсивности изреживания средний диаметр древостоя на высоте 1,3 м превысил аналогичный показатель на контроле спустя 5 лет после ухода на 35,2%. Изреживание увеличило площадь роста оставленных на доращивание деревьев и, в частности, их освещенность. Последнее объясняет тот факт, что при высокой интенсивности изреживания средняя высота древостоев увеличилась по сравнению с таковой в контрольном древостое лишь на 19,0%.

Вызванное рубками ухода увеличение значений средних диаметров древостоев на высоте 1,3 м обуславливает решение задач повышения рекреационной устойчивости, привлекательности и пожароустойчивости. Последнее особенно важно, поскольку в санитарно-защитной зоне г. Нурсултан резко увеличивается потенциальная опасность возникновения лесных пожаров из-за интенсивного посещения. Наличие степной растительности в межулисных пространствах создает условия в весенний и осенний периоды для возникновения низовых лесных пожаров. Поскольку пожары, объ-

ектом горения которых служит живой напочвенный покров, преимущественно беглые, наиболее толстые деревья практически от них не страдают. Указанное свидетельствует, что проведение рубок ухода по низовому методу можно рассматривать как эффективное направление повышения пожароустойчивости древостоев.

В рекреационных насаждениях очень важное значение имеет характер крон деревьев и их размещение в пологе древостоя. В частности, смыкание крон – это диагностический показатель возникающей между деревьями конкуренции за свет. Рубки ухода позволяют целенаправленным отбором минимизировать конкуренцию. В то же время не следует забывать, что в высокополнотных насаждениях более интенсивно протекают процессы очищения стволов от сучьев. Последнее необходимо учитывать при выращивании бессучковой древесины, а также при формировании рекреационных насаждений с повышенной просматриваемостью. Другими словами при планировании и проведении рубок ухода чрезвычайно важно проводить анализ таксационных характеристик крон деревьев.

Как следует из материалов выполненных исследований, рубки ухода оказывают существенное влияние на средние таксационные показатели крон деревьев березы в искусственных березняках (табл. 2).

Приведенные в табл. 2 данные позволяют сгруппировать секции по интенсивности изреживания (табл. 3) и установить, что с увеличением последней основные таксационные показатели крон деревьев увеличиваются. Так, в частности, спустя 5 лет после проведения рубок ухода умеренной интенсивности все основные таксационные показатели крон деревьев увеличиваются в 1,2–1,5 раза. В то же время проведение в искусственных березовых древостоях рубок ухода высокой интенсивности приводит к увеличению средних таксационных показателей крон деревьев в 1,4–2,0 раза по сравнению с контролем.

Таблица 1

Средние значения таксационных показателей березовых древостоев
ТОО «Астана орманы» в зависимости от степени изреживания

Интенсивность изреживания	Средние		Полнота		Запас, м ³ /га	Густота, экз/га	Класс бонитета
	Диаметр, см	Высота, м	абсолютная, см ²	относительная			
Контроль	9,1	10,0	10,5	0,6	63	1450	IV
Умеренная	10,5	11,5	9,9	0,5	57	1103	IV
Высокая	12,3	11,9	8,8	0,4	52	700	IV

Таблица 2

Таксационные показатели крон в березовых древостоях, пройденных рубками ухода, произрастающих на территории лесохозяйственного предприятия «Астана орманы»

№ ППП – индекс секции	Протяженность кроны ($L_{кр}$), м	Диаметр кроны ($D_{кр}$), см	Площадь кроны ($S_{кр}$), м ²	Объем кроны ($V_{кр}$), м ³
1-А	$6,3 \pm 0,3$	$219,8 \pm 8,6$	$4,1 \pm 0,3$	$14,6 \pm 1,4$
1-Б	$8,6 \pm 0,2$	$267,7 \pm 6,9$	$5,8 \pm 0,3$	$26,1 \pm 1,6$
1-В	$6,9 \pm 0,2$	$265,9 \pm 12,8$	$6,1 \pm 0,5$	$22,7 \pm 2,3$
1-Г	$8,3 \pm 0,3$	$315,3 \pm 10,2$	$8,0 \pm 0,5$	$34,9 \pm 3,1$
1-Д	$7,7 \pm 0,3$	$303,1 \pm 14,1$	$7,6 \pm 0,6$	$31,0 \pm 3,3$
1-Е	$8,1 \pm 0,2$	$268,1 \pm 7,6$	$5,8 \pm 0,3$	$24,9 \pm 1,8$
2-А	$7,2 \pm 0,4$	$260,9 \pm 13,1$	$4,2 \pm 0,4$	$14,9 \pm 1,3$
2-Б	$7,8 \pm 0,3$	$288,1 \pm 9,4$	$6,8 \pm 0,4$	$27,9 \pm 2,5$

Таблица 3

Среднестатистические показатели кроны березовых древостоев в зависимости от степени изреживания

Интенсивность изреживания	Протяженность кроны, м	Диаметр кроны, см	Площадь кроны, м ²	Объем кроны, м ³
Контроль	$6,4 \pm 0,2$	$235,9 \pm 7,6$	$4,7 \pm 0,3$	$16,8 \pm 1,3$
Умеренная	$7,8 \pm 0,1$	$272,5 \pm 4,5$	$6,1 \pm 0,2$	$25,1 \pm 1,2$
Высокая	$8,0 \pm 0,2$	$309,6 \pm 8,5$	$7,8 \pm 0,4$	$33,1 \pm 2,2$

Особо следует отметить, что различия в таксационных показателях крон деревьев ($L_{кр}$, $D_{кр}$, $S_{кр}$, $V_{кр}$) между контрольными и рабочими секциями, т.е. пройденными рубками ухода умеренной и высокой интенсивности, статистически достоверны ($t_s = 3,9-6,5$ при $t_{0,05} = 1,96-1,97$). Кроме того, различия в показателях крон деревьев ($D_{кр}$, $S_{кр}$, $V_{кр}$) оказались статистически достоверными при сравнении секций, пройденных рубками ухода умеренной и высокой интенсивности ($t_s = 2,5-3,9$ при $t_{0,05} = 1,96$).

Как отмечалось ранее, для повышения рекреационной привлекательности березовых насаждений, в процессе проведения рубок ухода была выполнена обрезка нижних сухих сучьев. Материалы табл. 3 наглядно свидетельствуют, что, несмотря на проведение данного мероприятия, среднее значение протяженности крон деревьев на секциях пройденных рубками ухода высокой интенсивности превышает таковые в контрольных древостоях на 25,0%. При этом значения средних диаметров крон спустя 5 лет после проведения рубок ухода высокой интенсивности на 31,2% превышают таковые в контрольных древостоях.

Эстетическая привлекательность деревьев в значительной степени зависит от объема кроны. Выполненные исследования показали, что спустя 5 лет после проведения рубок ухода высокой интенсивности

в 15-летних искусственных березовых насаждениях значения среднего объема крон превысили таковые в контрольных насаждениях аналогичного возраста и состава на 97,0%.

В научной литературе отмечается, что при планировании и проведении лесоводственных мероприятий очень важно иметь объективные данные и учитывать влияние на пожароустойчивость насаждений [11, 12]. Обрезка сухих сучьев у оставляемых на доращивание деревьев способствует не только улучшению эстетических показателей, но и снижает массу напочвенных горючих материалов, а следовательно, интенсивность потенциальных пожаров.

По результатам проведенных нами исследований высота до сухих сучьев в искусственных березовых древостоях составляет 0,5–0,6 м. В процессе рубок ухода проведение удаления, методом обрезки, сухих сучьев у оставшихся после рубок деревьев на высоту до 2,5–3 м (рисунок).

Удаление сухих сучьев в процессе проведения рубок ухода способствует не только сокращению напочвенных горючих материалов и повышению пожароустойчивости древостоев, но и существенно повышает рекреационную привлекательность насаждений. Пройденные рубками ухода древостои с обрезанными сухими сучьями характеризуются повышенной просматриваемостью,

что обеспечивает безопасность отдыхающих, особенно при семейном отдыхе с детьми. Поэтому рубки ухода особую значимость приобретают в лесах зеленых зон, а также вокруг населенных пунктов.



Удаление сухих ветвей со стволов березы на высоту до 2,5–3 м в искусственных древостоях на секции 1-Б (умеренная интенсивность изреживания)

Удаление сухих сучьев в процессе рубок ухода минимизирует затраты на их обрезку и обеспечивает комплексность подхода к уходу за лесом.

Выводы

1. Формирование крон деревьев в рекреационных насаждениях во многом определяет эстетическую привлекательность древостоев.

2. Наиболее эффективным способом формирования крон являются рубки ухода в сочетании с обрезкой нижних сучьев на высоту до 2,5–3,0 м.

3. Проведение рубок ухода по низовому методу в 15-летних искусственных березовых насаждениях способствует увеличению протяженности, диаметра, площади и объема крон оставляемых на доращивание деревьев.

4. С увеличением интенсивности изреживания степень влияния рубок ухода на развитие крон оставляемых на доращивание деревьев увеличивается. Так, спустя 5 лет после проведения рубок ухода умеренной интенсивности в 15-летних искусственных березняках средние таксационные показатели крон у оставленных на доращивание деревьев в 1,2–1,5 раза превышают таковые в контрольном древостое, а после рубок высокой интенсивности – в 1,4–2,0 раза.

5. Вызванное рубками ухода увеличение средних диаметров на высоте 1,3 м у оставленных на доращивание деревьев способ-

ствует повышению их устойчивости против огня потенциальных низовых пожаров, а обрезка нижних сучьев на высоту 2,5–3 м не только уменьшает массу напочвенных горючих материалов, но и способствует созданию эстетически привлекательных рекреационных насаждений с хорошей просматриваемостью.

6. Максимальный лесоводственный эффект в 15-летних искусственных березовых насаждениях санитарно-защитной зоны г. Нурсултан позволяют обеспечить рубки ухода высокой (25 % и более) интенсивности по запасу, выполняемые по низовому методу.

Список литературы / References

1. Кентбаева Б.А., Кентбаев Е.Ж., Азбаев Б.О. Аккумуляция тяжелых металлов в листьях защитных насаждений зеленого пояса г. Астаны // Плодоводство, семеноводство, интродукция древесных растений. 2013. Т. XVI. С. 53–57.

Kenbaeva B.A., Kenbaev E.J., Atbaev B.O. Heavy metal accumulations in the leaves of protective plantings of the green belt of Astana // Plodovodstvo, semenovodstvo, introduktsiya drevesnykh rasteniy. 2013. Vol. XVI. P. 53–57 (in Russian).

2. Залесов С.В., Данчева А.В., Эбель А.В., Эбель Е.И. Лесоводственная эффективность рубок ухода в сосняках Казахского мелкосопочника // Лесной журнал. 2016. № 3 (351). С. 21–30. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2016.2.21.

Zalesov S.V., Dancheva A.V., Ebel A.V., Ebel E.I. Silvicultural Effectiveness of Improvement Cutting in the Pine Forests of Kazakh Upland // Lesnoy zhurnal (Forestry journal). 2016. № 3 (351). P. 21–30 (in Russian).

3. Данчева А.В., Залесов С.В. Влияние рубок ухода на состояние средневозрастных сосняков искусственного происхождения // Вестник Башкирского государственного аграрного университета. 2016. № 2 (38). С. 103–107.

Dancheva A.V., Zalesov S.V. Thinning effect on the state of middle-aged artificial pine forest stands // Vestnik Bashkir State Agrarian University. 2016. № 2(38). P. 103–107 (in Russian).

4. Минин Н.С., Захаров А.Ю. Рост сосняков искусственного происхождения под влиянием рубок ухода // Ученые записки Петрозаводского государственного университета. 2013. № 6. С. 60–64.

Minin N.S., Zakharov A.Yu. Growth of artificial pine stands under the influence of thinning // Proceeding of Petrozavodsk state University. 2013. №. 6. P. 60–64 (in Russian).

5. Зарубина Л.В. Структура и форма кроны сосны в осушенном сосняке кустарничково-сфагновом при разном световом режиме // Молочнохозяйственный вестник. 2014. № 1 (13). С. 20–26.

Zarubina L.V. Structure and form of spruce crown in drained spruce stand of shrubbery-sphagnum in different light regime // Molochnokhosyaistvenny vestnik (The Dairy Farming Bulletin). 2014. № 1 (13). P. 20–26 (in Russian).

6. Лохматов Н.А. О перестройке крон дуба в очагах его усыхания от неблагоприятных условий // Лесоводство и агролесомелиорация. 1981. Вып. 59. С. 21–25.

Lohmatov N.A. On the restructuring of crowns oak in the centers of its desiccation from the adverse conditions // Forestry and agroforestry. 1981. Vol. 59. P. 21–25 (in Russian).

7. Nakajima H., Kume A., Ishida M., Ohmiya T., Mizoue N. Evaluation of estimates of crown condition in forest monitoring: comparison between visual estimation and automated crown image analysis. Annals of Forest Science. 2011. Vol. 68. Issue 8. P. 1333–1340. DOI: 10.1007/s13595-011-0132-9.

8. Портянко А.В., Жолдыбаева М.Х. Разделение лесных массивов по категориям ландшафта и их морфометрические

показатели // Вестник сельскохозяйственных наук Казахстана. 2011. № 4. С. 40–43.

Portyanko V.A., Zholdybaeva M.H. Forests compartmentations in categories of landscape and morphometric parameters // Vestnik Sel'skokhozyaystvennykh nauk Kazakhstana. 2011. № 4. P. 40–43 (in Russian).

9. Справочник по таксации лесов Казахстана / составители: А.А. Макаренко, П.М. Лагунов, Б.Е. Харитонов, Е.И. Шевчук, В.М. Кричун, Т.Х. Токмурзин. Алма-Ата: Кайнар, 1980. 313 с.

Kazakhstan forest inventory handbook / compilers: A.A. Makarenko, P.M. Lagunov, B.E. Kharitonov, E.I. Shevchuk, V.M. Krichun, T.H. Tokmurzin. Alma-Ata: Kainar, 1980. 313 p. (in Russian).

10. Алексеев В.А. Диагностика жизненного состояния деревьев и древостоев // Лесоведение. 1989. № 4. С. 51–57.

Alekseev V.A. Diagnosis of damage to trees and forest stands at air pollution and assessment of their living conditions // Lesovedeniye. 1989. № 4. P. 51–57 (in Russian).

11. Осипенко А.Е., Ананьев Е.М., Шубин Д.А. Динамика роста искусственных сосняков в высоту и по диаметру на юге Алтайского края // Вестник Бурятской государственной сельскохозяйственной академии им. В.Р. Филиппова. 2017. № 3 (48). С. 61–69.

Osipenko A.E., Ananyev E.M., Shubin D.A. Dynamics of artificial pine stands height and diameter growth in the south of Altai krai // Vestnik Buryatskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii im. V.R. Filippova. 2017. № 3 (48). P. 61–69 (in Russian).

12. Залесов С.В., Данчева А.В., Муканов Б.М., Эбель А.В., Эбель Е.И. Роль рубок ухода в повышении пожароустойчивости сосняков Казахского мелкосопочника // Аграрный вестник Урала. 2013. № 6 (112). С. 64–67.

Zalesov S.V., Gancheva A.V., Mukanov B.M., Ebel A.V., Ebel E.I. The Role of thinning in increasing the fire resistance of pine forests Kazakh upland // Agrarnyy vestnik Urala. 2013. № 6 (112). P. 64–67 (in Russian).

УДК 630*244:630*.4 (470.333)

ЕСТЕСТВЕННОЕ ВОЗОБНОВЛЕНИЕ ПОСЛЕ ПРОВЕДЕНИЯ ВЫБОРОЧНЫХ САНИТАРНЫХ РУБОК В ЛЕСАХ ЛЕСОПАРКОВОЙ ЗОНЫ ГОРОДА БРЯНСКА

Дзубан В.И.*Управление лесами Брянской области, Брянск, e-mail: dzu-vladimir@mail.ru*

Статья посвящена изучению естественного возобновления в низкополнотных насаждениях после проведения выборочных санитарных рубок от короеда-типографа в лесах лесопарковой зоны г. Брянска. Объектом исследований являются леса ГКУ Брянской области «Учебно-опытное лесничество», которые относятся к лесопарковой зоне г. Брянска. Еловые насаждения, смешанные или с долей участия ели в составе, пройденные санитарно-оздоровительными мероприятиями от короеда-типографа бывают сильно изрежены. Их полнота может опускаться до 0,5–0,3, а в отдельных случаях и еще ниже. Последнее явление характерно для лесов зеленой зоны, лесопарковой зоны, где проведение сплошных рубок во многом нормативно не отрегулировано. В объекте исследований за 2010–2015 гг. выборочными санитарными рубками было пройдено 2068,3 га или 48 % всей площади хвойных насаждений. Во время полевых сезонов 2016–2019 гг. заложено 14 временных пробных площадей в низкополнотных насаждениях для изучения их роста и естественного возобновления. После проведения исследований были сделаны выводы: снижение полноты смешанных хвойных насаждений на суглинистых почвах за счет удаления поврежденных короедом-типографом деревьев ели способствует интенсивному разрастанию лещины, препятствующей возобновлению и росту сосны, ели и дуба; в низкополнотных насаждениях на песчаных почвах, возникших после выборочных санитарных рубок от короеда-типографа возможно последующее формирование высокополнотных хвойных древостоев при проведении соответствующих уходов за возобновившимися древесными видами; улучшение эстетической ценности низкополнотных насаждений в лесопарковой зоне после выборочных санитарных рубок возможно только за счет комбинированного лесовосстановления (естественное возобновление с элементами ландшафтных лесных культур).

Ключевые слова: естественное возобновление, короед-типограф, выборочные санитарные рубки, низкополнотные насаждения, лесопарковая зона

NATURAL REPLENISHMENT AFTER SELECTIVE SANITARY CUTTINGS IN FORESTS OF THE FOREST-PARK AREA OF THE CITY OF BRYANSK

Dzuban V.I.*Management of Forests of the Bryansk Region, Bryansk,
e-mail: dzu-vladimir@mail.ru*

The article is devoted to studying natural replenishment in low-dense standings after selective sanitary cuttings against eight-toothed bark beetle in forests of forest-park area of the city of Bryansk. Object of this research are forests of head control office of Bryansk region «Training-experimental forestry» that refer to forest-park area of the city of Bryansk. Spruce standings, mixed or with a share of spruce in their composition, exposed to sanitary-improvement measures against eight-toothed bark beetle, can be thinned significantly. Their fullness can drop down to 0,5-0,3 and even lower in certain cases. The latter is typical for forests of green area, forest-park area, where complete cuttings are mostly not regulated. Within the object of research during the period from 2010 to 2015 territory of 2068,3 ha or 48 % of total spruce standing area was exposed to selective sanitary cutting. During field seasons of 2016-2019 14 temporary sample areas were outlined in low-dense standings in order to study their growth and natural replenishment. After the research the following conclusions were made: decrease in fullness of mixed spruce standings on clay-loam soil due to removal of spruce trees, damaged by eight-toothed bark beetle provides for intensive growing of hazel that limits replenishment and growth of pine, spruce, and oak; in low-dense standings on sandy soils that emerged after selective sanitary cutting against eight-toothed bark beetle further formation of highly-dense spruce tree standings is possible in case of corresponding care after the replenished tree species; improvement in aesthetic value of low-dense standings in forest-park areas after selective sanitary cuttings is possible only in case of combined forest replenishment (natural replenishment with elements of landscape forest cultures).

Keywords: natural replenishment, eight-toothed bark beetle, selective sanitary cuttings, low-dense standings, forest-park area

Еловые насаждения или смешанные, с долей участия ели в составе, пройденные санитарно-оздоровительными мероприятиями от короеда-типографа, бывают сильно изрежены. Их полнота может опускаться до 0,5–0,3, а в отдельных случаях и еще ниже. Последнее явление характерно для лесов зеленой зоны, лесопарковой зоны,

где проведение сплошных рубок во многом нормативно не отрегулировано. В объекте исследований за 2010–2015 гг. выборочными санитарными рубками было пройдено 2068,3 га или 48 % всей площади хвойных насаждений.

Выборочные санитарные рубки после засухи 2010 г. привели к нарушению есте-

ственного хода развития насаждений с участием ели на больших территориях. В Брянской области, расположенной на юге ареала распространения ели европейской, нетронутыми санитарными рубками остались практически только насаждения, где ель моложе 40–50 лет [1]. Обеспокоенность лесоводов дальнейшим состоянием насаждений, пройденных выборочными санитарными рубками высокой интенсивности, когда высокополнотные и модальные насаждения перешли в низкополнотные, привела к изучению хода возобновления на таких объектах [2, 3].

Цель исследования: изучить естественное возобновление в низкополнотных насаждениях после проведения выборочных санитарных рубок от короеда-типографа в лесах лесопарковой зоны г. Брянска.

Материалы и методы исследования

Во время полевых сезонов 2016–2019 гг. заложено 14 временных пробных площадей в низкополнотных насаждениях, где были проведены выборочные санитарные рубки после повреждения деревьев ели короедом-типографом. Объектом исследований явились леса лесопарковой зоны ГКУ БО «Учебно-опытное лесничество», которые относятся к лесопарковой зоне г. Брянска.

Пробные площади (ПП) заложены по ОСТ 56-69-83 [4]. Определение таксационных показателей древостоев на пробных площадях производилось принятыми в лесной таксации способами [5].

Учет подростка проводился на учетных площадках площадью 10 м². На пробной площади закладывали не менее 30 учетных площадок. На учетных площадках кроме жизнеспособного подростка учитывали виды, формирующие подлесок.

Почвы на опытных объектах предварительно устанавливали по материалам почвенного картирования Учебно-опытного лесничества. Конкретная характеристика сложения почвенно-геологических тел на участке учитывалась путем проведения почвенных изысканий [6].

Результаты исследования и их обсуждение

В результате проведенных исследований было установлено, что в черничном типе леса после выборочной санитарной рубки сформировались вейниковые, мшисто-черничные и парцеллы с минерализованной поверхностью почвы. В сосняке лещиново-копытеновом выделено 5 про-

изводных парцелл: лещиновая, лещиново-кленово-липовая (27%), кленово-липовая (16%), малиновая (25%), вейниковая (15%) и 3 техногенных парцеллы: сосново-березовая и елово-ивовая на огневищах (3%), сосново-кленовая на волоках (9%). Наиболее благоприятные условия для возобновления хвойных лесообразователей сформировались на участках с минерализованной поверхностью. Здесь количество хвойного самосева в сосняке черничнике составило 15 тыс. шт/га (ель 60%). На огневищах в сосняке лещиново-копытеновом возобновление сосняка достигло 26 тыс. шт/га, ели – 37,5 тыс. шт/га, а на волоках – 2083 шт/га сосны и 833 шт/га ели. В мшисто-черничных парцеллах при 4,9 тыс. шт/га возобновления преобладает самосев березы (33%), ели (17%), рябины (31%), клена (7%), сосны (5%), дуба (2%). В вейниковой парцелле на долю березы уже приходится 61% (4000 шт/га), далее следует рябина (705 шт/га), сосна и крушина (по 470 шт/га).

В сосняке кисличном на лещиновую парцеллу приходится 60%, площади рубки, мшисто-черничную – 33%, на огневища – 7%.

На огневищах общее возобновление составляет 10,5 тыс. шт/га, где сосна занимает 70%, ель и клен – по 5%, оставшаяся часть приходится на рябину (10%), лещину (15%). В лещиновой парцелле на возобновление сосны из общего количества возобновившихся видов 4,1 тыс. шт/га приходится всего 55 шт., на дуб – 27, клен 1333. В мшисто-черничной парцелле появляется возобновление ели (200 шт/га), возрастает в 5,4 раза количество подростка сосны и в 1,8 раза – дуба.

В сосняке лещино-копытеновом в лещиновой парцелле на сосну, ель, дуб приходится всего 2% (332 шт/га) от общего возобновления. В лещиново-кленово-липовой парцелле на ель приходится по 1,3%, на дуб 1,8%. В кленово-липовой, малиновой, вейниковой производных естественных парцеллах возобновление сосны отсутствует полностью, возобновление ели соответственно составляет по парцеллам 2,6% (462 шт/га), 0,5; 0%. Возобновление дуба отсутствует в кленово-липовой парцелле, а в малиновой и вейниковой составляет 3,2% (333 шт/га) и 4,5%. Возобновление клена остролистного в производных парцеллах составляет от 26 (4282 шт/га) до 48%. Наиболее энергично его появление отмечено в вейниковой (48%) и малиновой парцеллах. Липа мелколистная присутству-

ет в возобновлении во всех парцеллах древостоя спустя 6 лет после рубки, включая и огневища. Ее доля по парцеллам колеблется от 5 до 39% (833–6923 шт/га).

Применение указанными авторами парцеллярного подхода к дифференциации насаждения после проведения в нем санитарно-оздоровительных мероприятий (СОМ) позволяет более структурно определить ход процесса естественного возобновления основных лесообразователей и подлесочных пород. В то же время формирующаяся парцеллярная структура насаждения во многом определяется сложившимися лесоводственно-таксационными характеристиками насаждения до проведения СОМ. Известно, что после проведения рубок малое число производных парцелл характерно для лесов с бедным составом древесного яруса, а наиболее сложная структура производных парцелл присуща широколиственно-еловым насаждениям.

Сопоставляя количество подроста коренных видов (сосна, ель, дуб), можно отметить, что сформироваться полноценные елово-широколиственные насаждения могут только на огневищах, площади которых составляют до 3% лесосеки при проведении СОМ. Отсутствие четких нормативных прищепок по размещению мест сжигания порубочных остатков в процессе проведения СОМ от короеда-типографа, не позволяет учитывать на плановой основе эту техногенную парцеллу при разработке проекта подпологовых лесных культур, направленных на повышение продуктивности и эстетичной ценности в лесопарковой зоне нарушенного в процессе выборочной санитарной рубки насаждения.

Для более общей характеристики процесса возобновления на лесосеках в низкополотных насаждениях, возникших после СОМ от короеда – типографа, кроме основных лесоводственно-таксационных характеристик приведены почвенно-грунтовые условия (таблица).

А.А. Роде, Г.М. Орловский, Е.М. Остроумов, В.П. Корнев и другие почвоведы конкретизировали лесорастительные свойства большого многообразия почвенно-геологических тел, формирующих профиль преобладающих в объекте исследований подзолистых, дерновоподзолистых песчаного (преимущественно), супесчаного и суглинистого механического состава почв [6].

На подзолистых суглинистых почвах, сформированных в верхней своей части на

элювии глинистой опоки в низкоплотных насаждениях в возобновлении преобладает большой состав древесных лесообразователей с преимущественным распространением ели (~5 тыс. шт/га), березы (~2,3 тыс. шт/га), клена остролистного (~1,5 тыс. шт/га).

Повсеместно на всех четырех обследованных участках встречается возобновление ели европейской, клена остролистного, березы повислой.

Почти повсеместно единично встречается дуб черешчатый. Подрост сосны единичен и встречается только на двух участках из четырех. Обилие лещины, высота которой достигает 4,5–5,0 м, препятствует появлению и развитию подроста сосны.

В условиях, когда верхняя часть автоморфной почвенно-грунтовой толщи перекрыта плащом флювиогляциальных песков (ФГП), складываются хорошие условия для возобновления сосны, ели, когда количество их подроста может достигать 16–20 тыс. шт/га, а на отдельных учетных площадках, вероятно с высокой степенью минерализации почвы в процессе проведения СОМ, достигает 120 тыс. шт. хвойных на 1 га. В этих условиях повсеместно единично встречается дуб черешчатый. Клен остролистный возобновляется в этих условиях хорошо (до 10 тыс. шт/га). В условиях, когда в верхней части почвенного профиля формируется временное переувлажнение (отмечаются процессы оглеения) в возобновлении появляется липа мелколистная до 870 шт/га. Движением почвенно-грунтовых вод мы объясняем дополнительное плодородие почвенного профиля на флювиогляциальных песках и появление здесь ясеня (до 500 шт/га). Влияние времени, прошедшего после проведения санитарной рубки от 5 до 8 лет на процесс естественного возобновления нами не установлено.

Заключение

На основании анализа литературных источников и собственных исследований по ходу естественного возобновления в низкополотных насаждениях, образованных в процессе выборочно-санитарных рубок, можно сделать следующие выводы:

1. Снижение полноты смешанных хвойных насаждений на суглинистых почвах за счет удаления поврежденных короедом-типографом деревьев ели способствует интенсивному разрастанию лещины, препятствующей возобновлению и росту сосны, ели и дуба.

Естественное возобновление в насаждениях лесопарковой зоны после проведения выборочных санитарных рубок от короеда-типографа (числитель – шт/га, знаменатель – возраст, лет)

Год рубки	Характеристика насаждения до проведения санитарной рубки			Сосна	Ель	Дуб	Клен	Береза	Осина	Липа	Ясень
	почва	состав	возраст, лет								
2010	Среднеподзолистая суглинистая почва на двухучленных отложениях эллювия глинистой опок и мелового рухляка	5E2E3C + КЛ + Д + Б	170	0,4	$\frac{100}{5}$	$\frac{66}{5}$	$\frac{3948}{8}$	$\frac{5922}{8}$	$\frac{33}{5}$	–	–
2010	Среднеподзолистая суглинистая почва на двухучленных отложениях эллювия глинистой опок и мелового рухляка	6E1C3KЛ + Д	160	0,4	$\frac{4050}{7}$	$\frac{40}{6}$	$\frac{80}{7}$	$\frac{1360}{7}$	–	–	$\frac{350}{7}$
2011	Среднеподзолистая суглинистая почва на двухучленных отложениях эллювия глинистой опок и мелового рухляка	3E2E3C1Б1КЛ + Д	110	0,5	$\frac{1250}{6}$	–	$\frac{33}{5}$	$\frac{33}{5}$	–	$\frac{500}{6}$	–
2011	Среднеподзолистая суглинистая почва на двухучленных отложениях эллювия глинистой опок и мелового рухляка	3E2E1C1Д1КЛ2Ос	170	0,3	$\frac{14500}{8}$	$\frac{66}{5}$	$\frac{1800}{8}$	$\frac{1800}{8}$	–	$\frac{1180}{7}$	–
2011	Слабоподзолистая со следами оплесения песчаная почва на флювиогляциальных песках	8C2E + Б + ОЛЧ + ОС + Д	150	0,5	$\frac{1300}{4}$	$\frac{50}{5}$	$\frac{100}{5}$	–	–	–	$\frac{500}{5}$
2011	Средне и сильноподзолистые со следами оплесения песчаные почвы на флювиогляциальных песках, подстилаемые кварцево-гравелитовыми песками с фосфоритами	6C3E1ДН	130	0,5	$\frac{4400}{6}$	$\frac{66}{5}$	$\frac{100}{5}$	–	–	$\frac{4200}{6}$	–

Окончание таблицы												
Год рубки	Характеристика насаждения до проведения санитарной рубки				Сосна	Ель	Дуб	Клен	Береза	Осина	Липа	Ясень
	почва	состав	возраст, лет	полнота								
2011	Слабо и среднеподзолистые песчаные почвы на глауконитовых песках с фосфоритами	6С2Е2Е	170	0,4	$\frac{2750}{5}$	$\frac{5500}{5}$	$\frac{100}{5}$	$\frac{1375}{5}$	$\frac{4125}{6}$	—	—	—
2012	Среднеподзолистая песчаная почва на флювиогляциальных песках (ФГК) и кварцево-глауконитовых песках (КГП)	5С2Е1Б1Ос1ОЛч + Д	100	0,4	$\frac{16000}{4}$	$\frac{20000}{4}$	$\frac{166}{5}$	$\frac{4000}{4}$	$\frac{33}{5}$	—	—	—
2012	Среднеподзолистая песчаная почва на флювиогляциальных песках и кварцево-глауконитовых песках	6С3Е1Б + Ос	100	0,4	$\frac{15000}{3}$	$\frac{6000}{3-5}$	$\frac{33}{5}$	$\frac{6000}{5}$	$\frac{3000}{5}$	—	—	—
2012	Среднеподзолистая песчаная почва на флювиогляциальных песках и кварцево-глауконитовых песках	5Е2Е2С1Яс + КЛ + Дн + Б	140	0,5	$\frac{550}{5}$	$\frac{2600}{6}$	$\frac{230}{7}$	$\frac{10400}{7}$	$\frac{1100}{6}$	—	$\frac{833}{7}$	—
2012	Среднеподзолистая со следами оглеения песчаная почва на ФГП и КГП	5Е2Е2С1Дн + КЛ + Б	190	0,4	$\frac{8400}{3}$	$\frac{300}{3}$	$\frac{120}{3}$	$\frac{3600}{6}$	—	—	$\frac{650}{6}$	—
2012	Среднеподзолистая на ФГП со следами подстилаяемая КГП	3Е2Е2С2Кл1Дн	170	0,3	$\frac{300}{5}$	$\frac{10500}{6}$	$\frac{150}{5}$	$\frac{4500}{6}$	—	—	—	—
2013	Темноцветно-подзолистая глееватая песчаная почва на двучленных отложениях флювиогляциальных и кварцево-глауконитовых песков с фосфоритами	8С2Е	180	0,5	$\frac{500}{3}$	$\frac{5250}{5}$	$\frac{210}{4}$	$\frac{3500}{5}$	—	—	$\frac{870}{5}$	—
2014	Перегнойно-карбонатная насыщенная суглинистая почва на меловом рухляке	5С3Е2Е + Б	140	0,6	—	—	$\frac{33}{7}$	$\frac{130}{5}$	$\frac{2500}{5}$	—	—	—

2. В низкополнотных насаждениях на песчаных почвах, возникших после ВСП от короеда-типографа, возможно последующее формирование высокополнотных хвойных древостоев при проведении соответствующих уходов за возобновившимися древесными видами.

3. Улучшение эстетичной ценности низкополнотных насаждений в лесопарковой зоне после ВСП возможно только за счет комбинированного лесовосстановления (естественное возобновление с элементами подпологовых лесных культур).

Список литературы / References

1. Шелуха В.П., Шошин В.И., Клюев В.С. Динамика санитарного состояния ельников в период кульминации размножения типографа и эффективности лесозащитных мероприятий // Лесной журнал. 2014. № 2. С. 30–39.
Sheluxo V.P., Shoshin V.I., Klyuev V.S. Sanitary State Dynamics of Spruce Forests Under Culminating Ips typographus Reproduction and Efficiency of Forest-Protection Measures // Lesnoy zhurnal (Forestry journal). 2014. № 2. P. 30–39 (in Russian).
2. Иванов В.П., Ерохин А.В., Колосова Т.Г. Анализ естественного лесовосстановления на основе парцеллярной структуры в сосново-еловых насаждениях после выборочных санитарных рубок // Лесной журнал. 2016. № 6. С. 65–75. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2016.6.65.
Ivanov V.P., Erohin A.V., Kolosova T.G. Analysis of natural reforestation based on a parcel structure in pine-spruce stands after selective sanitary logging // Lesnoy zhurnal (Forestry journal). 2016. № 6. P. 65–75 (in Russian).
3. Иванов В.П., Ерохин А.В., Балухта Л.П., Дудкина Е.П. Роль парцеллярной структуры фитоценоза в оценке перспективы естественного возобновления после проведения выборочных санитарных рубок в елово-сосновых насаждениях // Успехи современного естествознания. 2018. № 8. С. 58–66.
Ivanov V.P., Erohin A.V., Baluxta L.P., Dudkina E.P. The role of the phytocenosis parcel structure in assessing the prospects for natural regeneration after selective sanitary felling in spruce – pine plantations // Advances in current natural sciences. 2018. № 8. P. 58–66 (in Russian).
4. ОСТ 56-69-83. Площади пробные лесоустроительные. Метод закладки. Утвержд. Приказом (распоряжением) Государственного комитета СССР по лесному хозяйству от 23 мая 1983 г. № 72 срок введения установлен с 01.01.84 г.
5. Кищенко Ф.В., Лисица Г.В., Неруш М.Н. Таксация леса (практикум): учеб. пособие. Брянск: БГИТА, 2010. 101 с.
Kishenkov F.V., Lisicza G.V., Nerush. M.N. Forest taxation (workshop): uchebnoye posobiye. Bryansk: BGITA, 2010. 101 p. (in Russian).
6. Орловский Г.М., Остроумов Е.М. Типы условий местопроизрастания и почвы Брянского лесного массива // Лесная геоботаника и биология древесных растений: межвузовский сборник научных трудов. Брянск, 1987. Вып. 13. С. 80–88.
Orlovskij G.M., Ostroumov E.M. Types of growing conditions and soil of the Bryansk forest area // Lesnaya geobotanika i biologiya drevesnykh rasteniy: mezhvuzovskiy sbornik nauchnykh trudov. Bryansk, 1987. Vyp. 13. P. 80–88 (in Russian).

УДК 631.527.8:631.524.84/.86:633.111.1«321»

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ 4AS.4AL-7S#2S ТРАНСЛОКАЦИИ НА ПРОДУКТИВНОСТЬ И КАЧЕСТВО ЗЕРНА ЯРОВОЙ МЯГКОЙ ПШЕНИЦЫ

¹Сибикеев С.Н., ¹Дружин А.Е., ²Гультяева Е.И., ¹Андреева Л.В.¹ФГБНУ «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Юго-Востока»,
Саратов, e-mail: sibikeyev_sergey@mail.ru;²Всероссийский научно-исследовательский институт защиты растений,
Санкт-Петербург – Пушкин, e-mail: eigulyaeva@gmail.com

Транслокация 4AS.4AL-7S#2S с геном *Lr28* от эгилопс спельтоидес привлекает внимание селекционеров мягкой пшеницы эффективностью против возбудителя листовой ржавчины. Тем не менее эта транслокация мало используется в российской селекции. Одна из причин – недостаточная изученность её влияния на хозяйственно полезные показатели. В представленном исследовании агрономическая ценность 4AS.4AL-7S#2S – транслокации изучалась на почти изогенных линиях яровой мягкой пшеницы сорта Саратовская 68 в течение 2016–2018 гг. Вегетационные сезоны 2016 и 2017 гг. были благоприятными по температурным и водным режимам, но отмечались эпифитотии стеблевой и листовой ржавчин соответственно. 2018 г. характеризовался острой засухой с повышенными температурами. Экспериментальный материал высевался в 7 м² деланки рендомизировано в 4-кратной повторности. В исследованиях определяли продуктивность и качество зерна, которое оценивали по содержанию сырой клейковины, показателям прибора ИДК-1, а физические свойства теста устанавливали на альвеографе Шопена. Полученные данные подвергли дисперсионному анализу. Наличие гена *Lr28* у исследуемого материала было подтверждено с помощью ПЦР-анализа ДНК маркером SCS421. Показана эффективность гена *Lr28* в Нижнем Поволжье на фоне естественной эпифитотии *P. tritricina*, а также к её патотипам вирулентным к генам *Lr9*, *Lr19*, *Lr26*. Сравнение влияния 4AS.4AL-7S#2S – транслокации на продуктивность зерна показало отсутствие отличий от сорта-реципиента в 2016 г., и значимое повышение в 2017 и 2018 гг. В среднем за период 2016–2018 гг. значимых различий по продуктивности зерна нет, но отмечено понижение массы 1000 зёрен у изолиний. Исследования качества муки и хлеба у линии с 4AS.4AL-7S#2S-транслокацией выявили нейтральные эффекты на показатели клейковины, упругость теста, отношение упругости теста к растяжимости, силу муки, пористость хлеба. По объёму хлебцев выявлено значимое снижение у линий с 4AS.4AL-7S#2S-транслокацией.

Ключевые слова: мягкая пшеница, 4AS.4AL-7S#2S-транслокация, почти изогенные линии, эффективность *Lr28*-гена, влияние на продуктивность и качество зерна

ANALYSING EFFECTS OF 4AS.4AL-7S#2S TRANSLOCATION UPON YIELDS AND GRAIN QUALITY OF SPRING MILLING WHEAT

¹Sibikeev S.N., ¹Druzhin A.E., ²Gulytaeva E.I., ¹Andreeva L.V.¹Agricultural Research Institute for South-East Regions, Saratov, e-mail: sibikeyev_sergey@mail.ru;²All Russian Research Institute of Plant Protection, St. Petersburg – Pushkin, e-mail: eigulyaeva@gmail.com

Translocation of 4AS.4AL-7S#2S with gene *Lr28* from *Aegilops speltoides* draws attention of milling wheat breeders due to its efficiency against *P. tritricina* that causes leaf rust. Nevertheless, such translocation is rarely used in Russian selection. One of the reasons is insufficient study of its influence upon agronomic indicators. In the presented research agronomic value of 4AS.4AL-7S#2S – translocation was studied on practically isogenic lines on spring milling wheat of type Saratovskaya 68 over the period from 2016 to 2018. Vegetation seasons 2016 and 2017 were favourable in temperature and water regimes, but were defined by epiphytomy of stem and leaf rust respectively. 2018 was characterized by severe draught and increased temperatures. Experimental material was sown randomly in 7m² plots and 4 repetitions. Within our research we defined productivity and quality of grain that was defined by content of wet gluten, indications of IDG-1, and physical traits of dough were determined on alveograph of Chopin. The received data was subjected to dispersion analysis. Presence of gene *Lr28* in the studied material was confirmed by PCR analysis with DNA marker SCS421. The efficiency of the *Lr28* gene was demonstrated in Lower By-Volga region at the background of natural *P. tritricina* epiphytomy as well its patho-types, virulent to genes *Lr9*, *Lr19*, *Lr26*. Comparing effects of 4AS.4AL-7S#2S – translocation upon productivity of grain showed no difference to the recipient type in 2016, and a significant increase in 2017 and 2018. On average during the period of 2016–2018 no significant differences were registered in terms of grain productivity, but decrease in mass of 1000 grains in isolate was outlined. Studying quality of flour and bread in line of 4AS.4AL-7S#2S – translocation revealed neutral effects upon indexes of gluten, dough elasticity, ratio dough elasticity against extensibility, flour strength, porosity of bread. By the volume of breads a significant decrease was registered for the line with 4AS.4AL-7S#2S-translocation.

Keywords: milling wheat, 4AS.4AL-7S#2S-translocation, practically isogenic lines, effectiveness of *Lr28*-gene, effect upon productivity and quality of grain

Дикие родственники мягкой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) обладают многими генами, представляющими агрономический интерес, и могут быть ценными источни-

ками устойчивости к болезням, насекомым и экстремальным факторам окружающей среды. В первую очередь это касается видов близко родственных мягкой пшенице,

к которым относится *Aegilops speltoides* Tausch $2n = 14$, геном S. В Каталоге генных символов пшеницы зарегистрировано 11 генов, перенесенных из данного вида, из них 6 генов устойчивости к листовой ржавчине (*Lr28*, 35, 36, 47, 51, 66), 3 к стеблевой ржавчине (*Sr32*, 39, 47) и два к мучнистой росе (*Pm12*, 32) [1]. Транслокация 4AS.4AL-7S#2S с геном *Lr28* была получена при использовании *Aegilops speltoides* как супрессора гена *Ph*-гомеологичной конъюгации для индукции рекомбинагена хромосомы 2M *Aegilops commosum* и второй группы хромосом мягкой пшеницы [2]. С момента идентификации *Lr28* прошло более 35 лет, однако он сохраняет высокую эффективность в Индии и других странах полуострова Индостан, а также на территории России [3, 4]. Необходимо отметить, что имеются патотипы возбудителя листовой ржавчины, вирулентные к этому гену, в Северной Америке, Австралии, Египте [2, 5]. В связи с этим проводятся работы (в основном в Индии) по комбинированию с другими генами устойчивости к возбудителю листовой ржавчины, в частности с *Lr24* [6]. В настоящее время известно о присутствии данного гена в сорте Sunland в Австралии, наборе почти изогенных линий в Индии [2, 7], кроме того, идентифицирован данный ген в наборе сортов Египта [5], однако в России в настоящее время нет коммерческих сортов с этим геном устойчивости к листовой ржавчине [4]. Использование гена *Lr28*, а точнее транслокации 4AS.4AL-7S#2S, в практической селекции невозможно без изучения эффектов на агрономические показатели. Такие работы с данной транслокацией проводились лишь на наборе почти изогенных линий в Индии [7]. Не было выявлено от-

рицательных эффектов на урожайность зерна, массу 1000 зёрен, показатели качества муки. Несмотря на высокую эффективность гена *Lr28* в России, такие исследования не проводились и нет информации на эффекты транслокации 4AS.4AL-7S#2S, как в условиях нормального увлажнения, так и в засушливых условиях. Это побудило нас создать для этих целей соответствующую изолинию на генотипе широко распространенного сорта Саратовская 68.

Цель исследования: по результатам изучения почти изогенных линий яровой мягкой пшеницы определить влияние транслокации 4AS.4AL-7S#2S на агрономически важные признаки, в том числе продуктивность зерна и показатели качества муки и хлеба.

Материалы и методы исследования

Используемый материал включал следующие генотипы:

сорт-реципиент яровой мягкой пшеницы Саратовская 68;

почти изогенные линии яровой мягкой пшеницы: Саратовская 68*4//Tc *Lr28*, где Tc *Lr28* – почти изогенная линия сорта Thatcher с геном *Lr28*, то есть с транслокацией 4AS.4AL-7S#2S.

Исследования включали три этапа: первый этап – для подтверждения наличия чужеродного материала у исследуемых почти изогенных линий Саратовская 68*4//Tc *Lr28* (C68 *Lr28*) была проведена идентификация *Lr*-генов с использованием молекулярного маркера *Lr28* (SCS421) [8]. ПЦР-анализ был выполнен по ранее опубликованной методике [9]. Продукты амплификации были выявлены в ультрафиолетовом свете на 1,5 % агарозном геле, содержащем этидиум бромид.

Таблица 1

Характеристика вирулентности у популяций и клонов *Puccinia triticina*, используемых для инокуляции интрогрессивных линий в фазе проростков

Популяции и изоляты	Происхождение	Вирулентность	Авирулентность
		к линиям Thatcher с генами <i>Lr</i>	
Тест-клон 1	Челябинская обл., 2017	1, 2a, 2b, 2c, 3a, 3bg, 3ka, 9, 10, 11, 14a, 14b, 15, 16, 17, 18, 20, 30	19, 23, 24, 26, 28, 29, 44
Тест-клон 2	Тамбовская обл., 2016	1, 2a, 2b, 2c, 3a, 3bg, 3ka, 10, 14a, 14b, 15, 17, 18, 19, 20, 30, 44	9, 11, 16, 23, 24, 26, 28, 29
Тест-клон 3	Краснодарский край, 2017	1, 2a, 2b, 2c, 3a, 3bg, 3ka, 10, 11, 14a, 14b, 15, 17, 18, 20, 23, 26, 30, 44	9, 16, 19, 24, 28, 29
Поп_Сар	Саратовская обл., 2018	1, 2a, 2b, 2c, 3a, 3bg, 3ka, 10, 11, 14a, 14b, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 23, 30	9, 24, 26, 28, 29, 44

Второй этап – оценка на устойчивость линий к листовой ржавчине в полевых условиях – фаза молочно-восковая спелость (селекционный посев НИИСХ Юго-Востока, условия средней эпифитотии патогена в 2017 г.) и в лабораторных условиях – в фазе проростков (первого листа) в ВИЗРе. Инокуляцию растений в фазе проростков проводили саратовской популяцией *Puccinia triticina* Erikss, собранной в 2018 г., и тремя тест-клонами, маркированными вирулентностью к *Lr9*, *Lr19* и *Lr26* (табл. 1). Результаты учитывали на 10-е сутки по шкале E.B. Mains и H.S. Jackson [2] Растения с типом реакции 0, 0; 1, 2 считались устойчивыми, а 3, 4 и X – восприимчивыми.

Третий этап – оценка показателей продуктивности зерна, физических свойств теста и хлебопекарных показателей у почти изогенной линии С68 *Lr28* в сравнении с сортом-реципиентом. Исследования проводились в 2016–2018 гг., из которых наиболее благоприятными были 2016 и 2017 гг., но 2016 г. выделялся повышенным количеством осадков и сильной эпифитотией стеблевой ржавчины и жёлтой пятнистости, а в 2017 г. отмечалась эпифитотия листовой ржавчины. Кроме того, в начале вегетации в 2017 г. (до стадии трубкования) отмечалась эпифитотия септориоза листьев. 2018 г. характеризовался сильной засухой. Экспериментальный материал рендомизированно высевался в 7 м² делянки в 4-кратной повторности. Норма посева 400 зёрен на 1 м². Качество зерна и теста оценивали по содержанию сырой клейковины и показателям прибора ИДК-1 и альвеографа Шопена с выпечкой опытных образцов хлебцев. Полученные данные подвергли соответствующему статистическому анализу с использованием программ «Agros-2.10». Сравнения были проведены в пределах почти изогенной пары и соответствующим сортом-реципиентом.

Результаты исследования и их обсуждение

Для подтверждения наличия гена *Lr28* у С68 *Lr28* были взяты четыре почти изогенные линии и проведён ДНК-маркёрный анализ на ген *Lr28*. ПЦР-анализ показал наличие исследуемого гена у всех линий. Таким образом, доказано, что почти изогенные линии несут ген *Lr28*, а значит, и транслокацию 4AS.4AL-7S#2S, следовательно, приводимые результаты фитопатологических и пребридинговых исследований являются корректными.

Сорт яровой мягкой пшеницы Саратовская 68, используемой в качестве реципиента в данных исследованиях, относится к группе высокопродуктивных и широко возделываемых в Нижнем и Среднем Поволжье. ПЦР-анализ с помощью ДНК-маркёров *Lr*-генов показал наличие у Саратовской 68 гена *Lr10*. Этот ген неэффективен в зоне Поволжья [4]. Оценка сорта Саратовская 68 тремя тест-клонами, различающимися по вирулентности к *Lr9*, *Lr19*, *Lr26*, а также саратовской популяцией возбудителя листовой ржавчины, собранной в Саратове в 2018, показала тип реакции на патоген (IT) равный 3, то есть восприимчивость. В тоже время почти изогенная линия С68 *Lr28* показала IT = 0 ко всем тест клонам и саратовской популяции патогена. Это подтвердило оценку на устойчивость к *P. triticina* проведённую на фоне средней эпифитотии *P. triticina* в 2017 г. – Саратовская 68 – IT = 3 и С68 *Lr28* – IT = 0. Таким образом, показана эффективность гена *Lr28* в Саратовской области (Нижнее Поволжье РФ) и перспективность селекционной работы с ним на устойчивость к *P. triticina*. Е.И. Гульяевой была показана эффективность гена *Lr28* против поволжской, северо-кавказской, уральской и западно-сибирской популяций *P. triticina*. К северо-западной популяции возбудителя листовой ржавчины эффективность оценивается как среднеустойчивая [4].

Результаты изучения продуктивности зерна у почти изогенной линии С68 *Lr28* показали, что в среднем за период с 2016 по 2018 г. отмечено незначимое повышение урожайности у линии по сравнению с сортом-реципиентом Саратовская 68 (табл. 2). Анализ урожайности зерна по годам показал, что в 2016 г. на фоне достаточного увлажнения и сильной эпифитотии возбудителя стеблевой ржавчины, продуктивность зерна была одинаковой. При этом как сорт-реципиент, так и С68 *Lr28* поразились *Puccinia graminis* Erikss IT = 3. В 2017 г. на фоне достаточного увлажнения и средней эпифитотии *P. triticina* линия С68 *Lr28* достоверно превысила сорт-реципиент Саратовская 68 на 200 кг/га. В данном случае проявилось прямое негативное влияние поражения сорта-реципиента листовой ржавчиной. Схожее защитное действие гена *Lr28* на почти изогенных линиях яровой мягкой пшеницы по сравнению с сортами-реципиентами наблюдалось в Индии, где превышение продуктивности зерна на фоне эпифитотии

листовой ржавчины колебалось от 100 до 150 кг/га [7]. Наиболее интересен был 2018 г., который характеризовался сильной засухой в течение всего вегетационного периода. Как показали результаты, C68Lr28 значительно превысила сорт Саратовская 68 по продуктивности зерна. Это превышение составило 300 кг/га (табл. 2). Таким образом, есть основание утверждать, что транслокация 4AS.4AL-7S#2S не понижает засухоустойчивость. В целом ряд образцов вида *Aegilops speltoides* Tausch из Турции, Ирака, Сирии, Израиля и Италии обладают высокой жаро- и засухоустойчивостью [10]. Таким образом, возможны переносы чужеродного материала из данного вида положительно влияющего на засухоустойчивость.

Анализ массы 1000 зёрен, как одного из важных элементов продуктивности зерна, показал значимое понижение у линии с транслокацией 4AS.4AL-7S#2S, причём это понижение наблюдалось все три года исследований. Данный эффект проявился даже в 2017 г. на фоне эпифитотии листовой ржавчины. Эти данные не согласуются с данными Kumar et al. (2004), которые определили повышение массы 1000 зёрен у почти изогенных линий яровой мягкой пшеницы с геном *Lr28* по двухлетним исследованиям. Причём линии и реципиенты изучались как при обработке фунгицидом от *P. trititica*, так и при воздействии патогена [7]. Полученное разное влияние на массу 1000 зёрен может быть вызвано различиями в сортах-реципиентах и разными условиями вегетации. Схожее снижение массы 1000 зёрен наблюдали Petrash et al. (2016) [11]. Они наблюдали снижение массы 1000 зёрен у трёх транслокаций 5BS.5BL-5SL, 6BS.6BL-6SL, 7DS-7SS.7SL в яровой мягкой пшенице, полученных с использованием эгилопс спельтоидес. Необходимо отметить, что одна из используемых ими транслокаций также имеет перенос из хромосомы 7S, как и в транслокации 4AS.4AL-7S#2S с *Lr28*. По показателям период всходы – колошение, высота растений и устойчивость к полеганию различий между сортом-реципиентом Саратовская 68 и линией C68 *Lr28* не было (табл. 2). Таким образом транслокация 4AS.4AL-7S#2S не удлиняет сроки колошения и высоту растений и не ухудшает устойчивость к полеганию, что важно в практической селекции.

Важным этапом в создании сортов мягкой пшеницы является качество конечной продукции – муки и хлеба. К сожалению, нередко вовлечение чужеродной генети-

ческой изменчивости в генофонд мягкой пшеницы ухудшает ряд показателей качества муки и хлеба. Широко известно отрицательное влияние 1BL-1RS-транслокации на хлебопекарные свойства и жёлтый цвет муки у линий с транслокацией 7DS-7DL-7Ae#1L [12]. В наших исследованиях было выявлено, что транслокация 4AS.4AL-7S#2S с *Lr28* не влияет на показатели клейковины – содержание и показатель прибора ИДК-1, а также упругость теста, отношение упругости теста к растяжимости (P/L), силы муки, пористости мякиша. Однако было выявлено значимое понижение объёма хлеба (табл. 2). К похожим результатам пришли Kumar с соавт. [7]. По полученными ими данным фаринографа не выявлено различий по стабильности теста, но выявлено различие (снижение) по времени образования теста. По данным альвеографа на созданных ими почти изогенных линиях по P/L был неоднозначный эффект – в зависимости от сорта-реципиента у части изолиний не выявлено различий, а у части изменения как в сторону увеличения, так и уменьшения. В данном случае проявился чёткий эффект сорта-реципиента. В целом можно констатировать незначительное влияние транслокации 4AS.4AL-7S#2S с *Lr28* на показатели муки и хлеба, что делает применение этой транслокации в селекции на устойчивость к возбудителю листовой ржавчины ещё более привлекательным.

Выводы

Анализ влияния транслокации 4AS.4AL-7S#2S с *Lr28* на продуктивность зерна у почти изогенной линии яровой мягкой пшеницы за период с 2016 по 2018 г. показал положительное влияние (превышение) в 2017 г. (эпифитотия листовой ржавчины) и 2018 г. (сильная засуха). В среднем по урожайности зерна за три года существенных различий нет. Тем не менее есть незначительное превышение по продуктивности зерна у линии с *Lr28* над сортом-реципиентом Саратовская 68. Важным моментом является выявленное положительное влияние в засушливый период.

Исследования влияния 4AS.4AL-7S#2S – транслокации на показатели качества муки и хлеба (содержание клейковины, упругость теста, отношение упругости теста к растяжимости, сила муки, пористость хлеба) не выявили существенных отличий от сорта-реципиента. Обнаружено лишь значимое уменьшение объёма хлебцев.

Таблица 2

Показатели продуктивности зерна и качества у почти изогенной линии яровой мягкой пшеницы с транслокацией 4AS.4AL-7S#2S и сорта-реципиента, среднее за 2016–2018 гг.

Сорта, линия	Период всходы – колошение, дней	Высота, см	УП*, балл	Масса 1000 зёрен, г	Продуктивность зерна, кг/га			
					2016 г.	2017 г.	2018 г.	среднее
Саратовская 68	44,7	86,6	3,9	31,7 b***	2412	4864a	1427a	2901
C68 <i>Lr28</i>	45,0	86,1	3,9	28,4 a	2453	5072b	1729b	3085
	ns	ns	ns		ns			ns
Показатели качества муки и хлеба								
	Клейковина		P**, мм	P/L**	W**, е.а	V**, см ³	Пористость, балл	
	%	ИДК-1						
Саратовская 68	33,1	71	127	2,2	301	780a	4,7	
C68 <i>Lr28</i>	34	72	117	1,8	307	683b	4,3	
	ns	ns	ns	ns	ns		ns	

Примечание. * – УП – устойчивость к полеганию (оценка по пятибалльной шкале); **P – упругость теста, P/L – отношение упругости теста к растяжимости, W – сила муки, V – объём хлеба; *** – числа в колонках, сопровождаемые различными буквами, значимо различаются на уровне P₀₀₅.

Исходя из выявленных эффектов транслокация 4AS.4AL-7S#2S с *Lr28* в зоне Поволжья России является привлекательной для селекции мягкой пшеницы на устойчивость к возбудителю листовой ржавчины. В связи с тем, что в части регионов России имеются вирулентные к *Lr28* патотипы *P. tritricina* рекомендуется комбинировать его с другими генами устойчивости к листовой ржавчине.

Список литературы / References

- McIntosh R.A., Yamazaki Y., Dubcovsky J., Rogers W.J., Morris C., Appels R., Xia X.C. Catalogue of Gene Symbols for Wheat. Proceedings of the 12th International Wheat Genetics Symposium (Yokohama, September 8–13, 2013). Japan, 2013. 123 p.
- McIntosh R.A., Wellings C.R., Park R.F. Wheat rusts. An atlas of resistance genes. CSIRO Australia, Kluwer Acad. Publ., Dordrecht, the Netherlands, 1995. 200 p.
- Bipinraj A., Honrao B., Prashar M., Bhardwaj S., Rao S., Tamhankar S. Validation and identification of molecular markers linked to the leaf rust resistance gene *Lr28* in wheat. J. Appl. Genetics. 2011. Vol. 52. P. 171–175. DOI: 10.1007/s13353-010-0026-9.
- Гультяева Е.И. Генетическая структура популяций *Puccinia tritricina* в России и её изменчивость под влиянием растения-хозяина: автореф. дис. ... докт. биол. наук. Пушкин – Санкт-Петербург, 2018. 42 с.
- Gulyaeva E.I. Genetic structure of *Puccinia tritricina* populations in Russia and its variability under the influence of host plant: avtoref. dis. ... dokt. biol. nauk. Pushkin – St. Petersburg, 2018. 42 p. (in Russian).
- Abdelbacki A.M.M., Omara R.I., Najeeb M.A., Soliman N.E.K. Identification of leaf rust resistant genes *Lr9*,

Lr25, *Lr28*, *Lr29* and *Lr67* in ten Egyptian wheat cultivars using molecular markers. International Journal of Biotechnology Research. 2014. Vol. 2. № 7. P. 89–96.

6. Kumar A., Hanchinal R.R., Desai S., Biradar S. Marker assisted gene pyramiding of leaf rust resistance genes *Lr24* and *Lr28* in the background of wheat variety DWR 162 (*Triticum aestivum* L.). Int. J. Curr. Microbiol. App. Sci. 2017. Vol. 6. № 9. P. 1883–1893. DOI: 10.20546/ijcmas.2017.609.232

7. Kumar A.A., Raghavaiah P. Effect of the leaf rust resistance gene *Lr28* on grain yield and bread-making quality of wheat. Plant Breeding. 2004. Vol. 123. P. 35–38.

8. Cherukuri D.P., Gupta S.K., Charpe A., Koul S., Prabhu K.V., Singh R.B., Haq Q. Molecular mapping of *Aegilops speltoides* derived leaf rust resistance gene *Lr28* in wheat. Euphytica. 2005. Vol. 143. P. 19–26. DOI: 10.1007/s10681-005-1680-6.

9. Gulyaeva E.I., Kanyuka I.A., Alpatova N.V., Baranova O.A., Dmitriev A.P., Pavlyushin V.A. Molecular approaches in identifying leaf rust resistance genes in Russian wheat varieties. Russian Agricultural Sciences. 2009. Vol. 35. P. 316–319. DOI: 10.3103/S1068367409050085.

10. Pradhan G.P., Prasad P.V.V., Fritz A.K., Kirkham M.B., Gill B.S. High temperature tolerance in *Aegilops* species and its potential transfer to wheat. Crop Sci. 2012. Vol. 52. P. 292–304. DOI: 10.2135/cropsci2011.04.0186.

11. Petrash N.V., Leonova I.N., Adonina I.G., Salina E.A. Effect of translocations from *Aegilops speltoides* Tausch on resistance to fungal diseases and productivity in common wheat. Russian Journal of Genetics. 2016. Vol. 52. № 12. P. 1253–1262. DOI: 10.1134/S1022795416120097.

12. Сибикеев С. Н., Дружин А. Е., Андреева Л.В. Анализ влияния комбинации 7DS-7DL-7Ae#1L + 1BL-1RS транслокаций на продуктивность и качество зерна яровой мягкой пшеницы // Успехи современного естествознания. 2018. № 6. С. 49–53. DOI: 10.17513/use.36780.

Sibikeev S.N., Druzhin A.E., Andreeva L.V. Influence analysis of combination 7DS-7DL-7Ae#1L + 1BL-1RS translocations on spring wheat yield and grain quality // Advances in current natural sciences. 2018. № 6. P. 49–53 (in Russian).

СТАТЬИ

УДК 911.2:551.5:632.116(470.65)

ДИНАМИКА ОСАДКОВ В АГРОЛАНДШАФТАХ СУХОСТЕПНОЙ ЗОНЫ ЦЕНТРАЛЬНОГО ПРЕДКАВКАЗЬЯ ПО ПЕРИОДАМ ВСЕМИРНОЙ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЙ ОРГАНИЗАЦИИ (ВМО) НА МЕТЕОСТАНЦИИ «МОЗДОК»

¹Айларов А.Е., ²Тебиева Д.И., ³Добронос В.В.¹Северо-Кавказский научно-исследовательский институт горного и предгорного сельского хозяйства – Владикавказский научный центр РАН, Владикавказ, e-mail: ailarov@bk.ru;²ФГБОУ ВО «Северо-Осетинский государственный университет
им. К.Л. Хетагурова», Владикавказ, e-mail: d_tebieva@mail.ru;³ФГБУ «Национальный парк «Алания», Владикавказ, e-mail: dobronosov@mail.ru

В статье устраняется пробел в анализе осадков по месячным, сезонным и годичным интервалам 1961–2017 гг. на метеостанции (м/с) «Моздок»: зона сухих степей Центрального Предкавказья (Юг Европейской части России), 136 м н.у.м., индекс Всемирной метеорологической организации (ВМО) 37145. В зоне действия м/с «Моздок» находятся сельскохозяйственные земли, используемые в основном для земледелия. Представлены результаты по многолетним нормам осадков стандартного периода 1961–1990 гг. С рассчитанными нормами сравнивается постбазовый (1991–2017 гг.) период ВМО для месячных, сезонных и годовых интервалов в условиях роста сумм активных температур, индекса континентальности климата и дефицита осадков за период вегетации. Средствами статистического анализа данных постбазового периода определены основные тенденции в изменчивости осадков: критерий Кокса – Стюарта с учетом взвешенной скользящей средней для трехлетнего шага, метод наименьших квадратов (МНК) и критерий Аббе – Линника. Показана относительная нестабильность периодов ВМО по значениям коэффициента вариации (CV): изменяется от 0,0 до 6,7 (за счет зимних месяцев и марта). Значения $\hat{z}_{\text{факт}}$ критерия Кокса – Стюарта подтвердили отсутствие трендов (за исключением июля, ноября и декабря), что соответствовало величинам МНК. При высоком значении CV и низком $\hat{z}_{\text{факт}}$ характер тенденции уточнялся МНК и Аббе – Линником. С использованием указанного инструментария установлено отсутствие трендов у большинства анализируемых временных интервалов постбазового периода ВМО (за исключением августа, ноября и теплого периода). Выявлено, что в условиях роста температур в климатической системе происходит межсезонное перераспределение осадков: нарастание недостатка в летний период и рост осадков осенью.

Ключевые слова: климатическая норма, стандартный период, постбазовый период ВМО, взвешенные скользящие средние, тренд, критерий Кокса – Стюарта, метод наименьших квадратов (МНК), критерий Аббе – Линника

PRECIPITATION DYNAMICS IN AGRICULTURAL LANDSCAPES OF DRY STEPPE ZONE IN CENTRAL CISCAUCASIA REGION DURING WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION PERIODS AT THE «MOZDOK» METEOROLOGICAL STATION

¹Aylarov A.E., ²Tebieva D.I., ³Dobronosov V.V.¹North Caucasian research institute of mountain and foothill agriculture – the Vladikavkaz
scientific center RAS, Vladikavkaz, e-mail: ailarov@bk.ru;²North Ossetian State University of K.L. Khetagurov, Vladikavkaz, e-mail: d_tebieva@mail.ru;³Federal State Budgetary Institution National Park Alania, Vladikavkaz, e-mail: dobronosov@mail.ru

In article the lack in the analysis of long-term ranks of monthly, seasonal and annual rainfall (1961–2017) on the meteorological station (m/s) Mozdok: 136 m above sea level, index of the World Meteorological Organization (WMO) 37145. The modern data on the calculated climatic normals basic are provided to 1961–1990 and changes of nature of humidification post-basic the WMO periods of 1991–2017. Results are received based on statistical methods of the analysis of long-term ranks of dynamics. At identification of trends in changes of rainfall Cox-Stuart's criterion taking into account, weighted moving average for a three-year step, the method of ordinary least squares (OLS) and criterion to Abbe-Linnik was used. The relative instability of the periods of World Meteorological Organization on values of a coefficient of variation (CV) is shown: changed from 0 to 6,7. Values $\hat{z}$ Cox-Stuart's criterion confirmed lack of trends (except for July, November and December) that corresponded to OLS values. At high value CV and low value $\hat{z}_{\text{факт}}$ the nature of a trend was specified to OLS and Abbe-Linnik. With use of the specified tools the lack of trends at the majority of the analyzed time frames of a period of WMO 1991–2017 is determined (except for August, November and the warm period). It is revealed that in the conditions of body height of temperatures in a climatic system there is an intra annual redistribution of rainfall between seasons: increase of deficiency of humidification during the summer period and body height of rainfall in the fall.

Keywords: climatic normal, standard period, post-basic period WMO, weighted moving averages (WMA), trend, Cox-Stuart's criterion, ordinary least squares (OLS), criterion to Abbe-Linnik

Для сухостепной зоны Юга Европейской России по м/с Моздок отсутствует анализ массива данных осадков за постбазовый

период ВМО (1991–2017 гг.), как и рассчитанных климатических норм стандартного периода ВМО 1961–1990 гг. Вследствие

этого мы не имеем объективной картины изменений в динамике осадков на м/с «Моздок» (индекс ВМО 37145, 136 м н.у.м.) и их агроклиматической оценки.

Цель исследования: устранить отсутствие анализа для месячных, сезонных и годовых рядов осадков по м/с «Моздок» за временной интервал 1961–2017 гг. (1961–1990, 1991–2017) на основе статистических методов исследования массива метеоданных и выявления новых агроклиматических параметров изучаемой территории.

Материалы и методы исследования

При выполнении работы задействован статистический инструментальный анализ и оценки режима осадков за многолетний период, применяемый в метеорологии и климатологии.

Общие и специальные вопросы статистики по рядам динамики изложены в работах И.И. Елисеевой, И.И. Егоровой и др. [1], А.Н. Кобзаря [2], Б.Б. Лемешко и др. [3]. Среди зарубежных авторов специальные вопросы статистики раскрыты в работе Л. Закса [4], методологии климатической статистики – в изданиях и руководствах Н.А. Дашко [5], ВМО [6–10].

Оценка рисков для сельского хозяйства на Северном Кавказе с учетом роста температур и неоднозначности динамики осадков дана в монографии Отделения сельскохозяйственных наук РАН [11], а также исследованиях Ульяновского НИИ сельского хозяйства [12].

С целью идентификации временного периода, следующего за базовым (1961–1990), и мониторинга изменений климата нами предложено квалифицировать временной интервал начиная с 1991 г. как «постбазовый период ВМО» [13].

Данное понятие естественным образом предполагает рассматривать этот временной отрезок как «постбазовый период ВМО» в русле рекомендаций саммита ВМО в 2014 г. [6, 7].

При выполнении работы использованы массивы данных специализированных интернет-ресурсов [14] и Гидрометцентра Российской Федерации [15].

Обоснованность использования критерия Кокса – Стюарта для выявления трендов по средним величинам с точки зрения мощности и надежности, а также его свойствами быстроты вычислений, оценивается как достаточно высокая, наряду с критерием Аббе – Линника [3, с. 23]. При оценке значений критерия Кокса – Стюарта бралась

величина $\hat{z}_{\text{факт}}$ не менее критической 1,96, статистически подтверждающая наличие / отсутствие тренда для двустороннего табличного значения при 95 % доверительной вероятности и уровне значимости 0,05 [4, с. 355–356].

При сглаживании многолетних рядов динамики применялась взвешенная скользящая средняя (3-летний интервал) с коэффициентами бинома Ньютона (1*2*1) для повышения надежности расчетов по периодам ВМО, так как простые скользящие средние в ряде случаев не дают надежного результата [1, с. 180]. Степень стабильности базового периода ВМО 1961–1990 гг. оценивалась по CV, с которым сопоставлялась динамика постбазового периода ВМО 1991–2017 гг., согласно принятым рекомендациям ВМО [6] и предшествовавшей дискуссией о применимости новых климатических норм и введении скользящего периода ВМО (rolling period) через каждое десятилетие по моделям 30/30 и 30/10 [8–10].

Проведено сопоставление значений $\hat{z}_{\text{факт}}$ критерия Кокса – Стюарта и результатов количественных показателей линейного тренда по методу наименьших квадратов (МНК) и критерию Аббе – Линника [3, 4]. Сравнение показало высокую степень достоверности результатов по установлению трендов для оцениваемых интервалов 1991–2017 гг. Расчеты проведены на основе ППП Excel.

Результаты исследования и их обсуждение

Суммы осадков по месячным интервалам на м/с «Моздок» репрезентируют структурную динамику процесса увлажнения территории, как в течение года, так и стандартных периодов ВМО.

Проведенный анализ цикла осадков, как видно из табл. 1–2, показал их активную изменчивость: снижение в летние месяцы и увеличение в холодный период. Соответственно, определялось наличие/отсутствие трендов.

Для всех периодов ВМО, в том числе вновь принятого за 1981–2010 гг. по модели 30/10 [6, 9], наблюдается неравномерный ход осадков.

Так, например, август 1991–2017 гг., несмотря на положительное значение $\hat{z}_{\text{факт}}$ критерия Кокса – Стюарта (2,32), показывает затухающий тренд отрицательной направленности, поскольку сумма осадков была меньше, чем по стандартному периоду ВМО 1961–1990 на 15 мм. Сложная конфигурация ряда отражается графиком полинома 3 степени.

Таблица 1

Суммы осадков по месяцам на м/с «Моздок» за временные интервалы ВМО*

Месяцы года	Периоды ВМО			Сравнение 1991–2017 с 1961–1990	Месяцы года	Периоды ВМО			Сравнение 1991–2017 с 1961–1990
	1961–1990	1981–2010	1991–2017			1961–1990	1981–2010	1991–2017	
I	24	25	27	3	VII	54	44	46	–8
II	26	24	25	–1	VIII	51	41	36	–15
III	32	29	29	–3	IX	32	36	39	7
IV	38	41	46	8	X	29	34	37	8
V	54	54	53	–1	XI	28	37	32	4
VI	72	68	65	–7	XII	31	30	31	0

Таблица 2

Величины коэффициента вариации (CV), критерия Кокса – Стюарта ($\hat{z}_{\text{факт}}$), эмпирического Аббе – Линника (А-Л) и МНК по месячным показателям осадков по периодам ВМО на м/с «Моздок» (для А-Л: $n = 25$, $q_{\text{крит}} = 0,684$)

Месяцы года	CV		$\hat{z}$		А-Л: эмпир.	МНК – уравнение 1991–2017
	1961–1990	1991–2017	1961–1990	1991–2017		
I	1,0	1,15	1,21	1,63	0,425	$y = 0,5422x + 19,734$, $R^2 = 0,2$
II	1,1	1,81	2,52	0,24	0,390	$y = 0,06x^2 - 1,694x + 33,62$, $R^2 = 0,1$
III	0,9	0,42	–0,55	–1,63	0,587	$y = -0,024x^2 + 0,48x + 27,70$, $R^2 = 0,1$
IV	0,2	0,16	2,52	–0,24	0,347	$y = 0,0047x^3 - 0,2058x^2 + 2,4084x + 23,128$, $R^2 = 0,1$
V	0,1	0,09	–0,55	0,93	0,331	$y = -0,0324x^3 + 1,3391x^2 - 14,372x + 80,432$, $R^2 = 0,4$
VI	0,1	0,07	1,21	0,93	0,132	$y = -0,0265x^3 + 1,0256x^2 - 9,7363x + 77,544$, $R^2 = 0,1433$
VII	0,1	0,05	2,52	0,24	0,492	$y = -0,002x^4 + 0,1023x^3 - 1,629x^2 + 7,7148x + 43,36$, $R^2 = 0,1$
VIII	0,1	0,07	1,21	2,32	0,337	$y = -0,0074x^3 + 0,3279x^2 - 3,7831x + 44,451$, $R^2 = 0,1$
IX	0,1	0,09	1,86	0,93	0,387	$y = 0,0628x^2 - 0,982x + 38,35$, $R^2 = 0,1$
X	0,2	0,13	0,55	1,63	0,504	$y = 25,452x^{0,137}$, $R^2 = 0,1$
XI	0,3	0,6	–1,86	–3,01	0,007	$y = 50,446e^{-0,041x}$, $R^2 = 0,4$
XII	4,4	6,7	–0,1	–0,24	0,667	$y = 29,165x^{1E-05}$, $R^2 = 9E-106$

За период 1991–2017 гг., в сравнении с климатическими нормами 1961–1990 гг., произошли структурные изменения. Из табл. 2 видно, что наблюдаются тенденции, но с разными знаками трендов: отмечены для августа (плюс) и ноября (минус).

Соответственно, критерий Аббе – Линника подтверждает наличие трендов, как и МНК, где использовались различные графики трендов с оптимально возможной аппроксимацией $R^2 = 0,1–0,4$ (табл. 2), в зависимости от характера разброса значений многолетнего ряда осадков на точечной диаграмме.

Основная часть массива данных характеризуется незначительными величинами положительного или отрицательного знака критерия Кокса – Стюарта в интервале 1–8 мм. Однако для оценки хозяйственно важных параметров это весомый фактор, так как в случае недостатка увлажнения

прирост осадков на 1 мм способствует увеличению урожая сельскохозяйственных культур на 10 кормовых единиц в зерновом эквиваленте [12].

Динамика осадков по сезонам года. Осадки по сезонам демонстрируют обобщенные внутригодовые различия при фоновом росте тепловых ресурсов и стабильности суммы осадков за год.

Из табл. 3–4 следует, что, с учетом климатических норм 1961–1990, наблюдается тенденция межсезонного смещения сумм осадков между летом, теплым периодом, с одной стороны (тенденция снижения), весной, осенью и за холодный период – с другой (тенденция роста), за постбазовый период 1991–2017 (табл. 3).

Наибольшие изменения в суммах осадков 1991–2017 гг. отмечены в летние месяцы. Здесь, по сравнению с нормами, их значения снизились на 30 мм, отражением чего

является тренд со знаком минус и сдвиг $\hat{z}_{\text{факт}}$ критерия Кокса – Стюарта с 1,86 до 0,93. Направленность тенденции по Коксу – Стюарту соответствовала значениям МНК (полином 3 степени) и Аббе – Линника.

Осенью зафиксирован максимум прироста осадков в сравнении с 1961–1990 – +19 мм, а также небольшой рост весной – +3 мм. Для осени величина $\hat{z}_{\text{факт}}$ по Коксу–Стюарту равна 0,24 (отсутствие тренда), но с положительным знаком суммы осадков. За холодный период года установлен прирост осадков на 2 мм. По теплому периоду отмечено снижение количества осадков – –9 мм.

Годичный цикл осадков. Осадки по оцениваемым периодам ВМО отражают временную стабильность в пределах 464–471 мм. Снижение годичных сумм осадков

на 7 мм за период 1991–2017 не показало наличия трендов. При этом график осадков меняется от относительного роста до определенного снижения. Тем не менее сложная конфигурация ряда дала график степенной зависимости и соответствующую предрасположенность к снижению.

Заключение

1. На фоне годичной стабильности осадков по периодам ВМО в 1961–1990 и 1991–2017 гг. на м/с Моздок происходило их внутригодовое перераспределение между месяцами и сезонами при положительном тренде нарастания суммарных и среднегодовых температур на характеризуемой территории. В этих условиях происходит трансформация режима увлажнения в климатической системе региона.

Таблица 3

Суммы осадков по сезонам года для временных интервалов ВМО на м/с «Моздок», мм

Сезоны года	Референтные периоды			Отклонения 1991–2017 от 1961–1990, мм
	1961–1990	1981–2010	1991–2017	
Зимний	81	78	83	2
Весенний	124	124	127	3
Летний	177	154	147	–30
Осенний	89	105	108	19
Холодный период – ХП (XI–III)	141	143	143	2
Теплый период – ТП (IV–X)	330	318	321	–9
Год	471	463	464	–7

Таблица 4

Величины коэффициента вариации (CV), критерия Кокса – Стюарта ($\hat{z}_{\text{факт}}$), эмпирического Аббе – Линника (А–Л) и МНК по значениям сумм осадков (сезоны и год) для периодов ВМО на м/с «Моздок» (по А–Л: $n = 25$, $q_{\text{крит}} = 0,684$)

Периоды ВМО						
Сезон	CV		$\hat{z}_{\text{факт}}$		А–Л: эмпир.	МНК – уравнение линии тренда
	1961–1990	1991–2017	1961–1990	1991–2017		1991–2017
Зима	0,96	1,24	1,21	0,24	0,463	$y = 0,0854x^2 - 1,72x + 86,2$, $R^2 = 0,1$
Весна	0,12	0,9	0,1	–0,24	0,353	$y = 125,48x^{-4E-05}$, $R^2 = 3E-08$
Лето	0,06	0,05	1,86	0,93	0,360	$y = -0,035x^3 + 1,4754x^2 - 16,397x + 181,54$ $R^2 = 0,075$, $R^2 = 0,1$
Осень	0,08	0,12	0,1	–0,24	0,491	$y = 0,0781x^2 - 2,3505x + 123,2$, $R^2 = 0,2$
ХП	0,0	1,54	0,55	–0,93	0,430	$y = 0,0699x^2 - 2,7388x + 164,6$, $R^2 = 0,02$
ТП	0,06	0,05	2,52	2,32	0,254	$y = -0,08x^3 + 3,3991x^2 - 37,866x + 401,51$, $R^2 = 0,2$
Год	0,08	0,08	1,86	1,63	0,265	$y = 465,46x^{-0,004}$, $R^2 = 0,1$

* П р и м е ч а н и е. Расчеты проведены при $n = 28$ по 1961–1990 и $n = 25$ для 1991–2017 по взвешенным скользящим средним (трехлетний шаг), согласно биному Ньютона ($1*2*1$) [1].

2. Структурная перестройка режима увлажнения периода 1991–2017 при росте температур и стабильности годовых осадков заставляет перестраиваться климатическую систему в южно-российских степях Северного Кавказа за счет смещения в сторону роста осадков за весенний и осенний периоды (+22 мм) и заметного уменьшения в летний период (–30 мм).

3. Статистика динамики осадков на основе совместно использованных параметрических (МНК и Аббе – Линник), а также знакового непараметрического (Кокс – Стюарт) критериев показала высокую степень надежности произведенных расчетов и полученных результатов.

4. Выявленные тренды, их знаковость в уравнениях МНК, значения Аббе – Линника позволяют с высокой степенью достоверности судить о характере происходящих изменений климата на изучаемой территории.

5. Установленные тенденции в динамике агроклиматических ресурсов увлажнения исследуемого региона дают научную основу для проектирования адаптивно-ландшафтных систем земледелия, где должны подбираться устойчивые к дефициту увлажнения культуры и современные агротехнологии с учетом развития новейших систем орошения.

Список литературы / References

1. Елисеева И.И., Егорова И.И., Курешева С.В., Никифоров О.Н., Флуд Н.А., Бурова Н.В., Гордеенко Н.М. Статистика: учебник / Под ред. И.И. Елисеевой. М.: Проспект, 2011. 448 с.
1. Eliseeva I.I., Egorova I.I., Kuryshcheva S.V., Nikiforov O.N., Flud N.A., Burova N.V., Gordeenko N.M. Statistics: textbook / Ed. by: I.I. Eliseeva. M.: Prospekt, 2011. 448 p. (in Russian).
2. Кобзарь А.И. Прикладная математическая статистика. Для инженеров и научных работников. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2006. 816 с.
2. Kobzar A.I. Applied Mathematical Statistics. For engineers and researchers. M.: PHIZMATLIT, 2006. 816 p. (in Russian).
3. Лемешко Б.Ю., Комиссарова А.С., Щеглов А.Е. Вопросы применения некоторых критериев проверки случайности и отсутствия тренда // Метрология. 2010. № 12. С. 3–25.
3. Lemeshko B.Yu., Komissarova A.S., Shcheglov A.E. Questions of application of some criteria of checking of randomness and absence of trend // Metrology. 2010. № 12. P. 3–25 (in Russian).
4. Закс Л. Статистическое оценивание / Пер. с нем. В.Н. Варыгина. Под ред. Ю.П. Адлера, В.Г. Горского. М.: Статистика, 1976. 598 с.
4. Sachs L. Statistical assessment / Translation from German by: V.N. Varygin. Edited by: Yu.P. Adler, V.G. Gorskiy. M.: Statistika, 1976. 598 p. (in Russian).
5. Дашко Н.А. Курс лекций по синоптической метеорологии. Часть 1. Владивосток: ДВГУ, 2005. 523 с.
5. Dashko N.A. Course of lectures on synoptic meteorology. Part I. Vladivostok: DVGU, 2005. 523 p. (in Russian).
6. Commission for Climatology. Sixteenth session. Heidelberg 3–8 July 2014. Abridged final report with resolutions and recommendations. WMO-No. 113. Geneva, 2014. 69 p. [Electronic resource]. URL: https://library.wmo.int/index.php?lvl=notice_display&id=16465 (date of access: 16.07.2019).
7. World Meteorological Organization, 2017. WMO. Guidelines on the Calculation of Climate Normals. 2017 edition. WMO-No. 1203. 29 p. [Electronic resource]. URL: https://library.wmo.int/index.php?lvl=notice_display&id=20130 (date of access: 16.07.2019).
8. The role of climatological normals in a changing climate. World Meteorological Organization. Geneva, March 2007. (Contributions by: B. Trewin). Edited by: Omar Baddour and Hama Kontongomde. 2007. WCDMP-No. 61. WMO-TD No. 1377. 46 p. [Electronic resource]. URL: http://www.wmo.int/pages/prog/wcp/wcdmp/GCDS_1.php.pdf (date of access: 14.07.2019).
9. Discussion paper on the standard Climate normals: a proposal for a dual system by W. Wright. May 2012. 8 p. [Electronic resource]. URL: https://www.wmo.int/pages/.../rev_discussion_papers.pdf (date of access: 16.07.2019).
10. New Two-Tier approach on «climate normal». WMO. 2015. [Electronic resource]. URL: <https://public.wmo.int/en/media/news/new-two-tier-approach-«climate-normals»> (date of access: 16.07.2019).
11. Глобальные изменения климата и прогноз рисков в сельском хозяйстве России. Под ред. академиков А.Л. Иванова и В.И. Кирюшина. М.: РАСХН, 2009. 518 с.
11. Global climate change and forecast of risks in agriculture of Russia. Edited by academics: A.L. Ivanov, V.I. Kiryushin. M.: RASXN, 2009. 518 p. (in Russian).
12. Немцев С.Н., Галиакберов А.Г., Шарипова Р.Б. Агроклиматические условия Ульяновской области и пути их рационального использования в земледелии. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.ulniish.ru> (дата обращения: 16.07.2019).
12. Nemtsev S.N., Galiakberov A.G., Sharipova R.B. Agroclimatic conditions of the Ulyanovsk region and ways of their rational use in agriculture. [Electronic resource]. URL: <https://www.ulniish.ru> (date of access: 16.07.2019) (in Russian).
13. Айларов А.Е. Климатические сдвиги по данным базовых периодов Всемирной Метеорологической организации (ВМО) в агроландшафтах предгорной зоны РСО–Алания // Известия Горского ГАУ. 2013. Вып. 1. Т. 50. № 3. С. 29–36.
13. Aylarov A.E. Climate changes based on the data of the reference periods of the World Meteorological Organization (WMO) in the agricultural landscapes of the foothill zone of the Republic of North Ossetia–Alania // Journal of proceedings of the Gorsky SAU. 2013. Vol. 50. № 3. P. 29–36 (in Russian).
14. Погода и климат – прогнозы погоды, новости погоды, климатические данные. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.pogodaiklimat.ru/weather.php?id=37145> (дата обращения: 17.07.2019).
14. Weather and climate – weather forecasts, weather news, climatic data. [Electronic resource]. URL: <https://www.pogodaiklimat.ru/weather.php?id=37145> (date of access: 17.07.2019) (in Russian).
15. Гидрометцентр России. О погоде из первых рук. Фактические данные. Климатические нормы. Климат городов мира: ежемесячные данные. [Электронный ресурс]. URL: <https://meteoinfo.ru/climatecities> (дата обращения: 17.07.2019).
15. Hydrometcentre of Russian Federation. About the weather – at first hand. Actual data. Climatic normal. Climate of the world's cities: monthly data. [Electronic resource]. URL: <https://meteoinfo.ru/climatecities> (date of access: 16.07.2019) (in Russian).

УДК 553.078:551.242.22.03:(571.645)

ГЕОЛОГИЯ, ГЕОДИНАМИКА И БЛАГОРОДНОМЕТАЛЛЬНОЕ ОРУДЕНЕНИЕ ЮЖНОГО ФЛАНГА КУРИЛЬСКОЙ ОСТРОВОДУЖНОЙ СИСТЕМЫ

Борискина Н.Г., Касаткин С.А., Хомич В.Г.*ФГБУН «Дальневосточный геологический институт» ДВО РАН, Владивосток,
e-mail: boriskina2000@mail.ru*

Результатами анализа вероятных причин возникновения рений-платиноидно-золотого оруденения, выявленного в конце прошлого века на Южных Курилах, установлена аномальная проявленность в пределах сейсмофокальной зоны Кунашир-Урупского звена Курильской островодужной системы глубинных левых сдвигов северо-западной ориентации. Их возникновение обусловлено косым взаимодействием Охотоморской и Тихоокеанской плит в зоне конвергенции. Аномальность усилена активностью еще более глубинных долгоживущих (J-Q) трансформных разломов северо-западного простирания Носаппу, Итуруп и Уруп, сосредоточенных у юго-восточного фланга Курильского желоба. По их частным сместителям, крылья которых маркируются линиями прямой и обратной намагниченности, развиты преимущественно левосторонние смещения также северо-западной (330–340°) ориентации. Они в явной форме фиксируются на участках изменения углов падения (изгиба) около океанского края глубоководного желоба. Вблизи изгиба сосредоточены современные (1964–1980 гг.) шикотанские землетрясения. Сдвиговый тип перемещений по этим разломам привел к появлению проницаемых каналов в участках содвигового растяжения вдоль границ фрагментов субдуцирующего океанского слэба. Каналы обеспечивали продвижение флюидно-тепловых потоков из под-субдукционной астеносферы через океаническую литосферу и сейсмофокальную зону в мантийный клин. Последующая миграция высокотемпературных потоков через упомянутый мантийный клин в надсубдукционную астеносферу, а затем и литосферную мантию приводили к развитию процессов метасоматоза, формированию в субконтинентальной литосфере и земной коре разноуровневых магматических очагов, проявлению вулканизма и рудогенеза. Таким образом, среди первопричин благороднометалльной специализации Южных Курил и высокой их рудонасыщенности были флюидно-энергетические потоки от двух астеносфер: подсубдукционной и надсубдукционной.

Ключевые слова: рений, платиноиды, золото, трансформные разломы, флюидно-энергетические потоки, под- и надсубдукционная астеносфера

GEOLOGY, GEODYNAMICS AND NOBLE METALS MINERALIZATION IN THE SOUTHERN FLANK OF THE KURIL ISLAND-ARC SYSTEM

Boriskina N.G., Kasatkin S.A., Khomich V.G.*Far East Geological Institute FEB RAS, Vladivostok, e-mail: khomich79@mail.ru*

In the late 20th century an unusually high content of the rhenium-PGE-gold mineralization was revealed on the Kuril Islands. It was located within the Kunashir-Urup Chain of the Kuril island-arc system. Here, at the SE flank of the Kuril Trench on the Pacific Plate, the long-lived (J-Q) Nosappu, Iturup and Urup fracture zones of the NW (330–340°) strike are joined. Due to the oblique interaction of the Okhotsk and Pacific plates at the convergent boundaries along the fracture zones the left-lateral displacements occur. These displacements are observed both in the separation of the magnetic anomalies (stripes) and based on the earthquakes' focal mechanisms data. The seismic activity grows at the approach of the Pacific Plate to the Kuril Trench. Numerous earthquakes are concentrated close to the Shikotan Island. Strike-slip displacements along these fracture zones lead to the formation of the extensional structures (permeability channels) in the subducting slab. These channels allowed the fluid flows from the undersubduction asthenosphere through the slab and into the mantle wedge. The following migration of the high-temperature flows through the mantle wedge into the oversubduction asthenosphere and then into the lithospheric mantle lead to the development of such processes as metasomatism, formation of different levels of magma chambers in the Earth's crust and subcontinental lithosphere, occurrence of volcanism and orogenesis. Hence one of the primary reasons for the unusual metallogeny of the Southern Kuriles and high content of the noble mineralization consisted in the fluid flows ascending from the undersubduction and oversubduction asthenospheres.

Keywords: rhenium, platinum group elements, gold, transform faults, fluid and heat flow, over- and undersubduction asthenosphere

У восточных и юго-восточных окраин Азиатского континента известно несколько островодужных систем. Они пространственно сопряжены с сейсмофокальными зонами, глубоководными желобами и современными активными центрами вулканизма. В последней четверти прошлого века на их площади в дополнение к тра-

диционным выявлено много коренных месторождений «специфического» платиноидного, рениевого минерального сырья. В первую очередь это относится к островам южного фланга Большекурильской гряды. Из этих фактов следует необходимость исследования причин возникновения такой специфики [1].

Цель исследования: изложение результатов сравнительного анализа геодинамических условий формирования Курильской островодужной системы и их влияния на металлогенические особенности ее южного Кунашир-Урупского звена.

Материалы и методы исследования

Традиционные методы изучения строения и рудоносности островов представляется полезным дополнить сведениями о влиянии геодинамических факторов на их формирование. Для этого анализировались данные расшифровок фокальных механизмов землетрясений, с особым вниманием к распределению очагов сдвигового типа с крутонаклонным ($40\text{--}90^\circ$) погружением средней оси деформаций и близгоризонтальными ($0\text{--}30^\circ$) лево- и правосторонними смещениями в плоскостях разрывов. Анализ сопровождался построением соответствующих роз-диаграмм.

У вулканов южного – Кунашир-Урупского – фланга Курильской островодужной системы (КОС) давно известны как термальные источники с сублимационными серными и молибденит-серными месторождениями, так и множество дочетвертичных проявлений благородных (Au, Ag), цветных (Cu, Zn, Pb, Sn), редких (Mo, Bi) металлов и металлоидов (As, Sb, Se, Te) [2]. При этом многие из них классифицируются как месторождения.

Определенной металлогенической специализацией обладают практически все геологические комплексы Южных Курил (ЮК). В зеленотуфовых палеоценовых эффузивно-пирокластических накоплениях размещены гидротермально-метасоматические и эксгальационно-осадочные залежи типа «куроко». К подобным проявлениям примыкают собственно полиметаллические и олово-полиметаллические [2]. Среди зеленотуфовых отложений размещено комплексное оруденение Прасоловского узла (о. Кунашир). Оно ассоциирует с габбро-плагиогранитными интрузивами олигоцена. Жильно-прожилково-метасоматические зоны содержат от Au-касситерит-кварцевого до Au-адуляр-карбонат-кварцевого оруденения [3]. В рудных зонах сложного сульфидно-селенидно-теллуридного состава обнаружены высокоиндиевый (до 1,5% In) сфалерит и гипогенный рокезит (CuInS_2). С экструзивными, субвулканическими, интрузивными телами дацит-риолитового состава, размещенными среди эффузивно-пирокластических миоценовых,

позднемиоцен-плиоценовых накоплений ассоциируют барит-колчеданно-полиметаллические, Au-алунит(гетит)-кварцевые, Au-адуляр(карбонат)-кварцевые проявления Северянской части Прасоловского узла. Позднеплиоценовые андезито-базальты также содержат Au, Ag-сульфосольно-кварцевую минерализацию [2].

На о. Итуруп и Уруп специализированными на благородные металлы считаются позднемиоцен-плейстоценовые магматиты кислого состава. Здесь известно несколько потенциальных рудных полей с кварц-колчеданной, полиметаллической (с Au), сульфосольно-сульфидной, сульфидно-сульфоарсенидной и убого-сульфидной золото-серебряной минерализацией [2].

В дополнение к перечисленным «традиционным» на ЮК выявлены и, казалось бы, нетрадиционные для островных дуг проявления благородных металлов, включая, кроме Au и Ag, элементы платиновой группы (ЭПГ), рений, а также Cd и Ge. В 1975–1978 гг. на о. Кунашир среди производных наземной деятельности современных андезит-базальтовых вулканов Менделеева и Головнина было установлено присутствие ЭПГ и Au [4]. Повышенные содержания этих металлов обнаружены на периферии названных вулканов среди гидросольфатар (с самородной серой), парогидротерм, донных фумарол и грязевых котлов с горячей водой, подвергающихся воздействию вулканических газов. Первооткрывателями нетрадиционного минерального сырья были А.И. Збруев, Л.В. Разин и В.И. Федорченко [4]. Они посчитали вышеперечисленные производные вулканизма перспективными природными минерально-сырьевыми объектами нового нетрадиционного типа.

Несколько позднее на ЮК было сделано еще одно открытие – рениевой минерализации у вулкана Кудрявый на о. Итуруп [1, 2]. Сотрудники московских институтов РАН обратили здесь внимание на действующие более 100 лет в кальдере Медвежьей высокотемпературные (до 940°C) газовые струи. При их опробовании был установлен широкий спектр присутствующих элементов (In, Ge, Tl, Sn, W, Cd, Se, Mo, Au, Pt и Pd), главным из которых оказался Re (рис. 1). Последующие ревизионные работы подтвердили существование подобной (с Re) минерализации и на других проявлениях эндогенного оруденения КОС, но преимущественно на ЮК [2].

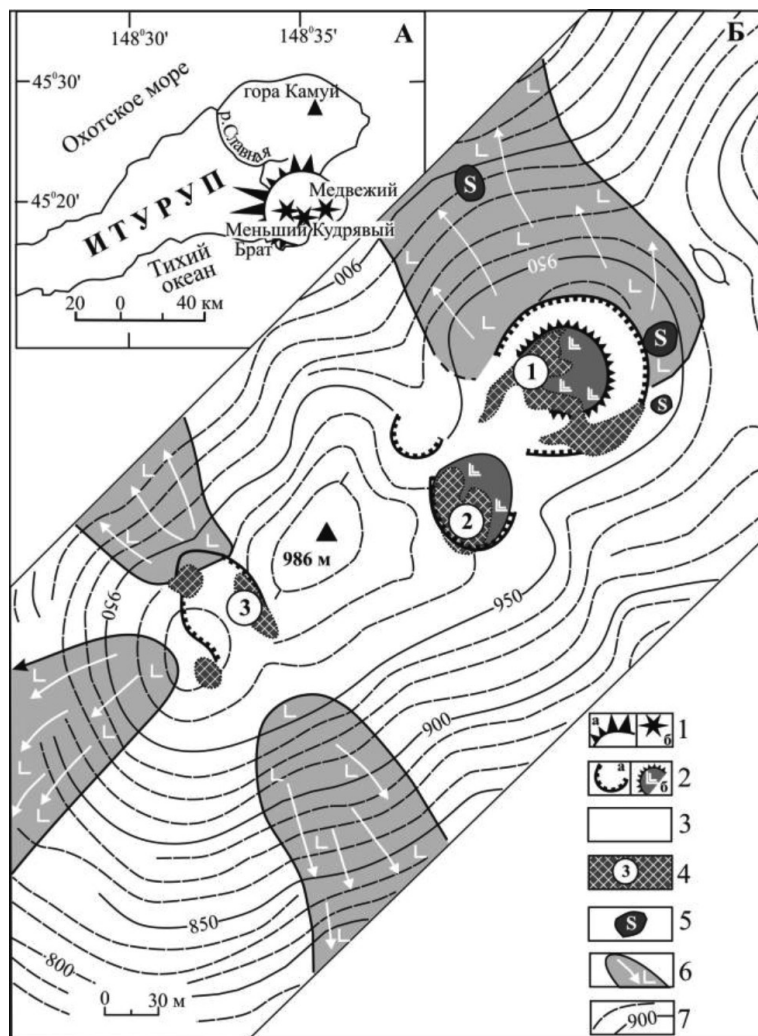


Рис. 1. Схема строения древней соммы вулкана Кудрявый (А) и его прикратерной части на о. Итуруп (Б). По [2] с изменениями. 1 – древняя сомма (а) с внутрикальдерными юными конусами (б); 2 – сохранившиеся гребни кратеров (а) и современные внутрикальдерные базальт-андезитобазальтовые экструзивные и лавовые купола (б); 3 – верхнечетвертичные базальт-андезитовые покровы; 4 – фуморольные поля, ассоциирующие с экструзивными (1, 2) и лавовыми (3) куполами: 1 – Главное высокотемпературное (T до 940°C), 2 – Центральное (Рениевое, T до 550°C), 3 – Западное (T до 200°C); 5 – серные руды; 6 – направление течения новейших лавовых базальт-андезитобазальтовых потоков со свалами серных руд; 7 – изогипсы рельефа

Результаты исследования и их обсуждение

Анализ геолого-металлогенического своеобразия Кунашир-Урупского звена с позиций вероятного влияния глубинной геодинамики на возникновение здесь своеобразной («нетрадиционной») минерализации потребовал изучения результатов дистанционной регистрации сейсмических событий, имевших место в Курило-Камчатской фокальной зоне с 1973 г. Оказалось, что за 45-летний период здесь зафиксировано более 7000 землетрясений. Их гипо-

центры находились глубже 50 км, часто достигая 600–700 км (сайт USGS). При этом сейсмофокальный слой (мощность около 75 км) и сопряженная с ним сейсмофокальная зона имеют листрическую морфологию [5] при среднем угле погружения 45° . Подтвердились и прежние представления о разных углах простирания и погружения северной (Симушир-Парамуширской) и южной (Кунашир-Урупской) частей КОС. Северная, простираясь по азимуту СВ 40° , погружается под более крутым (50°) углом, чем южная, ориентированная СВ 55° с углом падения 38° [5]. Отмеченные гео-

динамические различия подтверждаются и разным положением Южных и Северных Курил к вектору движения (290°) Тихоокеанской плиты (ТП). В северной части КОС ТП приближается к желобу почти ортогонально (угол $>70^\circ$), а у ЮК – под углом около 55° . Это обстоятельство обеспечило косое взаимодействие Охотоморской и Тихоокеанской плит, сопровождавшееся увеличением сдвиговой компоненты на юж-

ном фланге КОС (рис. 2), что кардинально отразилось на распределении напряжений в Кунашир-Урупской её части. Из расшифровок фокальных механизмов почти 700 наиболее сильных землетрясений ($M \geq 5$) следует, что в СФЗ преобладают разрывы типа взбросов, взбросо-сдвигов ССВ ориентации. Значительно реже проявлены разноориентированные, но в основном пологие сбросы.

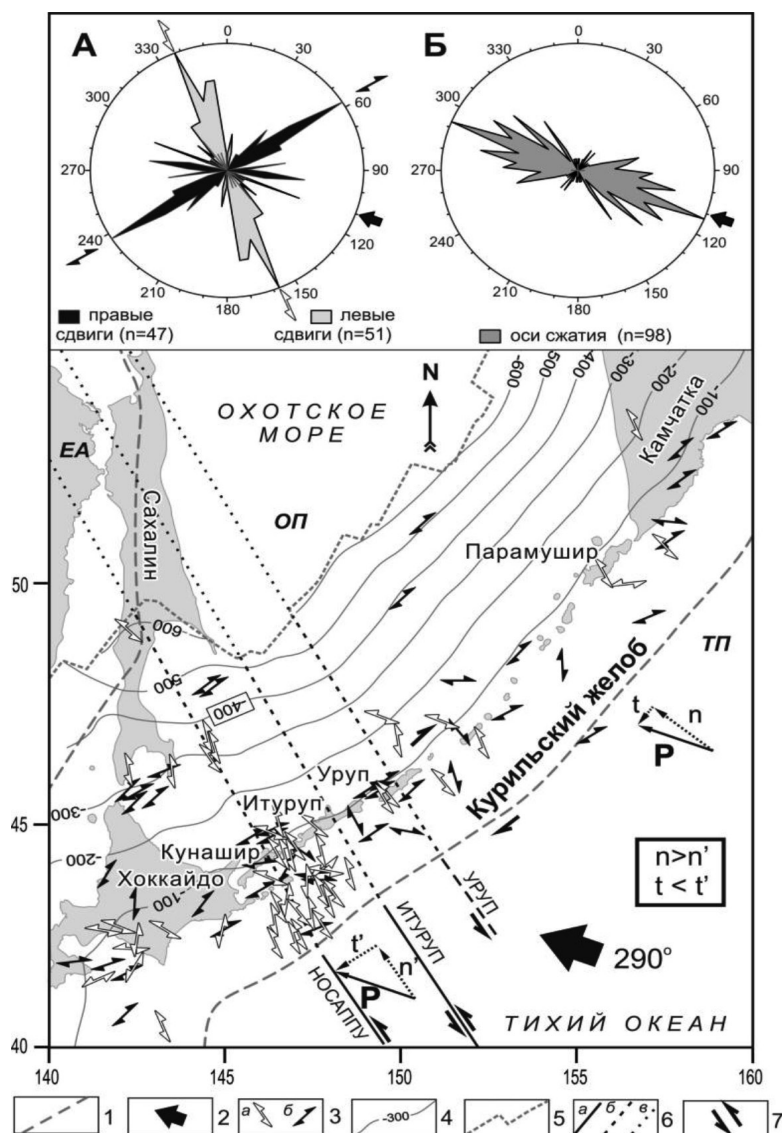


Рис. 2. Распределение доминант сдвиговых смещений у Курильской островодужной системы (землетрясения 1977–2010 гг.) в зоне субдукции ($40\text{--}55^\circ$ с.ш., $140\text{--}160^\circ$ в.д.) Тихоокеанской плиты, с розами-диаграммами простираний: левых и правых сдвигов (А) и осей сжатия (Б). 1 – границы плит: Евразийской (ЕА), Охотской (ОП), Тихоокеанской (ТП); 2 – направление движения ТП; 3 – левые (а) и правые (б) сдвиги; 4–5 – изолинии глубин (км) кровли субдуцирующего слэба (4) и проекция его нижней границы (5) [5]; 6 – разломные зоны трансформного типа (РЗТТ: Носаппу, Итуруп, Уруп) [6]: на океанском дне (а), в зоне субдукции (б), в зоне стагнации (в); 7 – направление главных сдвиговых смещений: правые сдвиги вдоль островодужной системы и левые сдвиги вдоль РЗТТ. Буквенные обозначения – Р, n, t: Р – вектор движения ТП (290°), n, n' – нормальные и t, t' – тангенциальные составляющие по отношению к желобу для Северного и Южного звеньев КОС

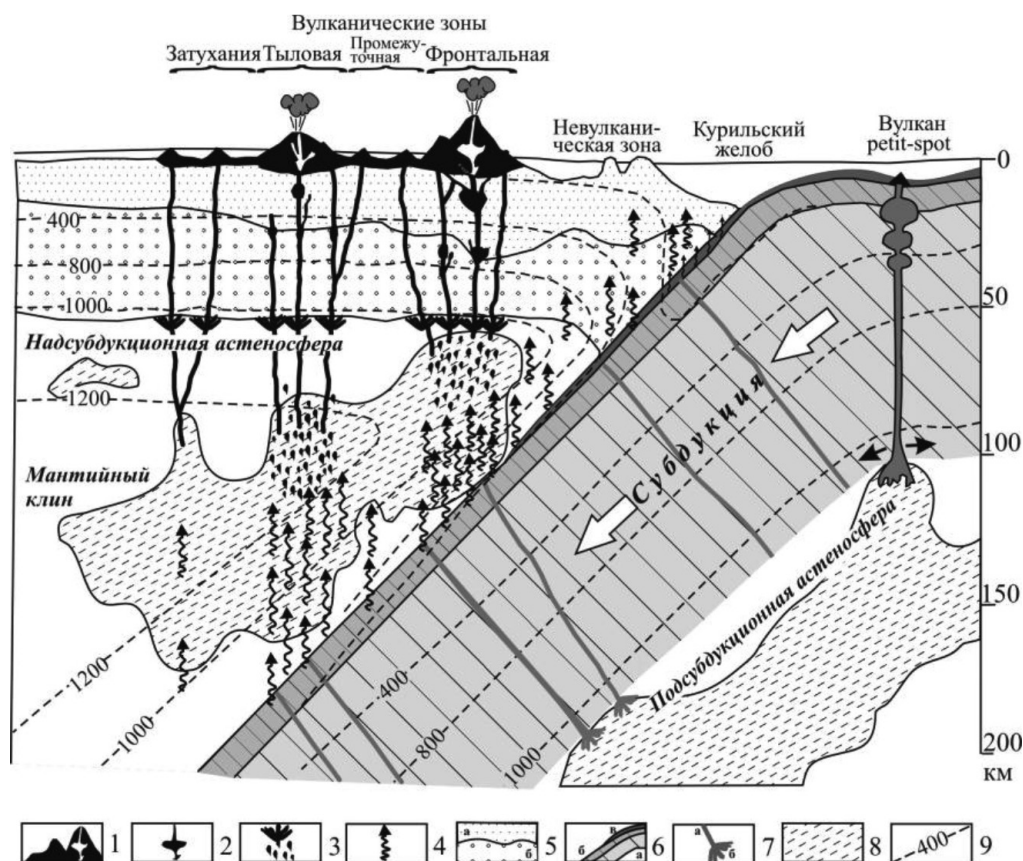


Рис. 3. Модель формирования рудно-магматических систем южного фланга Курильской островодужной системы. По [3, 5] с изменениями и дополнениями. 1 – вулканы и вулканические породы; 2 – равноуровневые магматические очаги и каналы подъема магм в литосфере; 3 – зоны капельно-жидкого маглообразования в надсубдукционной астеносфере; 4 – флюидно-тепловые потоки аномальных участков мантийного клина; 5 – континентальная кора (а) и литосфера (б); 6 – океанические: литосфера (а), кора (б) и пелагический осадочный слой (в); 7 – участки сосредоточения (а) и каналы миграции (б) флюидно-тепловых потоков из подсубдукционной астеносферы; 8 – аномалии пониженных скоростей V_p [5]; 9 – изотермы, $^{\circ}\text{C}$

Последующим анализом распределения очагов сдвигового типа с пологими ($0-30^{\circ}$) сместителями разной ориентации в плоскости разрывов и с крутонаклонными ($40-90^{\circ}$) падениями средних осей деформаций установлено, что до глубин 200 км преобладают правые сдвиги, с преимущественным простираанием СВ $50-60^{\circ}$ (то есть вдоль КОС). Левые же сдвиги, сосредоточенные на южном фланге системы, прослеживаются по зоне субдукции до глубин в 680 км, где располагается нижняя граница транзитной зоны мантии [5]. Очевидно, такая их ориентация обусловлена вышеупомянутым косым взаимодействием плит. Аномальная насыщенность этого фланга левыми сдвигами, вероятно, обусловлена существованием нарушений СЗ простираения и в погружающемся океанском слэбе,

принадлежащем ТП (рис. 3). В виде субпараллельных разломных зон трансформного типа (РЗТТ) Носаппу (Тускарора), Итуруп, а также и менее выраженной Уруп, они примыкают к ЮВ фрагменту Курило-Камчатского желоба [6]. Здесь, только по РЗ Носаппу, амплитуда левосторонних смещений составляет почти 150 км. Вышепоименованные РЗТТ в целом прослеживаются более чем на 1000 км к юго-востоку от этого желоба до возвышенности Шатского. Они возникли в поздней юре – раннем мелу в качестве трансформных типа хребет-хребет. По локальным сместителям, крылья которых маркируются линиями прямой и обратной намагниченности и в настоящий период фиксируются СЗ ($330-340^{\circ}$) тектонические, преимущественно левосторонние смещения. Отчетливее всего они проявляются око-

ло океанского края глубоководного желоба, где изгибается ТП. Именно здесь, около о. Шикотан у этого изгиба и сосредоточены современные (1964–1980 гг.) гипоцентры землетрясений.

На площади некоторых фрагментов ТП, примыкающих к рассматриваемому желобу, разделенных РЗТТ Носаппу, Итуруп, Уруп, на океанском дне обнаружены особые *petit-spot* вулканы из высокощелочных базальтов и шошонитов. Их Ar/Ar датировки возраста находятся в диапазоне 0,05 – 1,0 – 8,5 Ма [7]. Японские ученые связывают возникновение таких «малообъемных» (до 1 куб. км) вулканов с деформациями краевой части ТП у желоба и астеносферным (подсубдукционным) источником флюидов и магм.

Заключение

Наличие в РЗТТ участков сдвигового растяжения обеспечило формирование в океанской литосфере каналов для проникновения флюидно-энергетических потоков из подсубдукционной астеносферы в надсубдукционный мантийный клин и надсубдукционную астеносферу. Последующее продвижение потоков в Охотоморскую литосферу и земную кору обусловило формирование разноглубинных магматических очагов, обеспечивших при их миграции развитие процессов вулканизма и специфического рений-платиноидно-золотого рудогенеза.

Список литературы / References

1. Хомич В.Г., Борискина Н.Г., Касаткин С.А. Феномен Кунашир-Урупского звена Курильской островодужной системы: геодинамика и минерогения // Геологические процессы в обстановках субдукции, коллизии и скольжения литосферных плит: Материалы IV Всероссийской конференции

с международным участием (г. Владивосток, 17–23 сентября 2018 г.). Владивосток: Дальнаука, 2018. С. 307–310.

Khomich V.G., Boriskina N.G., Kasatkin S.A. The phenomenon of Kunashir-Urup chain of the Kuril island-arc system: geodynamics and minerageny // *Geologicheskiye protsessy v obstanovkakh subdukcii, kollizii i skol'zheniya litosfernykh плит: Materialy IV Vserossiyskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiyem* (g. Vladivostok, 17–23 sentyabrya 2018 g.). Vladivostok: Dal'nauka, 2018. P. 307–310 (in Russian).

2. Данченко В.Я. Геологическое положение и вещественно-генетические типы оруденений редких и благородных металлов в Южно-Охотском регионе Тихоокеанского обрамления. Южно-Сахалинск: Институт морской геологии и геофизики Сахалинского научного центра ДВО РАН, 2003. 227 с.

Danchenko V.Ya. Geological position and material-genetic types of mineralizations of rare and precious metals in the South-Okhotsk region of the Pacific rim. Yuzhno-Sakhalinsk: IMGIG DVO RAN, 2003. 227 p. (in Russian).

3. Khomich V.G., Boriskina N.G., Kasatkin S.A. Geology, magmatism, metallogeny, and geodynamics of the South Kuril Islands. *Ore Geology Reviews*. 2019. vol. 105. P. 151–162. DOI: 10.1016/j.oregeorev.2018.12.015.

4. Разин Л.В. Современная вулканогенная платиновая металлоносность и золотоносность на острове Кунашир, генетически связанная с молодым андезит-базальтовым вулканизмом Большой Курильской гряды // В кн. Платина России. Сборник научных трудов. Т. VII. Красноярск, 2011. С. 476–493.

Razin L.V. Recent volcano genesis platinum and gold bearing mineralisation on Kunashyr Island related to young andesite-basalt volcanism of Great Kurilian Bank // In: *Platinum of Russia. Collection of transactions*. Vol. VII. Krasnoyarsk, 2011. P. 476–493 (in Russian).

5. Кулаков И.Ю., Добрецов Н.Л., Бушенкова Н.А., Яковлев А.В. Форма слэбов в зонах субдукции под Курило-Камчатской и Алеутской дугами по данным региональной томографии // Геология и геофизика. 2011. Т. 52. № 6. С. 830–851.

Kulakov I.Yu., Dobretsov N.L., Bushenkova N.A., Yakovlev A.V. Slab shape in subduction zones beneath the Kurile-Kamchatka and Aleutian arcs based on regional tomography results // *Russian geology and geophysics*. 2011. V. 52. № 6. P. 650–667. DOI: 10.1016/j.rgg.2011.05.008.

6. Norton I.O. Speculations on Cretaceous tectonic history of the northwest Pacific and a tectonic origin for the Hawaii hotspot. *Special Paper of the Geological Society of America*. 2007. vol. 430. P. 451–470.

7. Hirano N. Petit-spot volcanism: A new type of volcanic zone discovered near a trench. *Geochemical Journal*. 2011. vol. 45. P. 157–167.

УДК 911:8:574.24:519.876:574.21:582.635.1

ЗАКОНОМЕРНОСТИ ФИТОИНДИКАЦИИ ЗАГРЯЗНЕНИЙ ГОРОДСКОЙ СРЕДЫ МАКСИМАЛЬНОЙ ШИРИНОЙ ЛИСТЬЕВ БЕРЕЗЫ ПОВИСЛОЙ**Мазуркин П.М., Кудряшова А.И.***Поволжский государственный технологический университет, Йошкар-Ола,
e-mail: kaf_po@mail.ru, Little-one7@yandex.ru*

Предлагаются индикаторы в виде групп из не менее 10 растущих в течение вегетационного периода учетных листьев березы повислой, отобранных и помеченных белой ниткой со стороны преобладающих ветров. Ранее были получены закономерности поведения листьев в вегетационный период от момента распускания почек дерева до опадения каждого учетного листа. Предложена методика измерения ширины листьев березы повислой в вегетационный период. Было получено, что до достижения максимума длины, ширины, периметра и площади учетных листьев при не менее чем 10 измерениях за сезон закономерности изменяются по нарастающей ветви биотехнического закона. Поэтому летом 2018 г. были проведены измерения в г. Йошкар-Оле, начиная с 15 июля до максимума ширины листа, как наиболее удобного для измерения параметра учетного листа. Оказалось, что максимум ширины листа зависит от условий произрастания дерева. Цель – выявление закономерностей фитоиндикации измерениями ширины листьев березы повислой во времени вегетационного периода около максимума роста листа с концентрациями диоксида серы и углерода, уровню радиоактивного фона в различных точках возле автомобильных дорог с наибольшими загрязнениями. Получены закономерности влияния этих видов загрязнения на среднюю максимальную ширину и времени вегетации с 1 мая 2018 г. до максимума ширины учетного листа. Оказалось, что даже в экологически чистом городе (10 место по России) малые концентрации, примерно в 25 раз меньше ПДК, оказывают сильное влияние на параметры роста и развития листьев березы повислой. Вначале с увеличением концентрации трех химических веществ на восьми точках городской среды оказывают благоприятное влияние на вегетацию листьев. При дальнейшем увеличении концентрации происходит сильное торможение роста и развития листьев. Предлагаемая методика рекомендуется для школьных экологических кружков.

Ключевые слова: городская среда, загрязнения, листья березы, вегетация, ширина, закономерности**PATTERNS OF PHYTOINDICATION POLLUTION OF THE URBAN ENVIRONMENT THE MAXIMUM WIDTH OF THE LEAVES OF THE SILVER BIRCH****Mazurkin P.M., Kudryashova A.I.***Volga State University of Technology, Yoshkar-Ola, e-mail: kaf_po@mail.ru, Little-one7@yandex.ru*

We offer indicators in the form of groups of at least 10 accounting leaves growing during the growing season, selected and marked with a white thread of birch hanging from the prevailing winds. Was previously obtained regularities in the behavior of leaves in the vegetation period from the date of Bud wood to the subsidence of each account sheet. The method of measuring the width of birch leaves in the growing season is proposed. It was found that before reaching the maximum length, width, perimeter and area of leaves with at least 10 measurements per season, the patterns vary along the growing branch of the biotechnical law. Therefore, in the summer of 2018, measurements were carried out in the city of Yoshkar-Ola, starting from July 15 to the maximum width of the sheet, as the most convenient for measuring the parameter of the accounting sheet. It turned out that the maximum width of the sheet depends on the growing conditions of the tree. The aim is to identify the patterns of phytointication by measuring the width of birch leaves hanging during the growing season near the maximum concentration of sulfur dioxide and carbon, the level of radioactive background at various points near the roads with the greatest pollution. The regularities of the influence of these types of pollution on the average maximum width and vegetation time from may 1, 2018 to the maximum width of the registration sheet are obtained. It turned out that even in an ecologically clean city (10th place in Russia), low concentrations are about 25 times less than MPC, have a strong influence on the growth and development of birch leaves. Initially, with an increase in the concentration of three chemicals at eight points of the urban environment have a beneficial effect on the vegetation of leaves. With further increase in concentration there is a strong inhibition of growth and development of leaves. The proposed method is recommended for school environmental groups.

Keywords: urban environment, pollution, birch leaves, vegetation, width, patterns

В инженерной экологии широко проводилось изучение свойств растений как индикаторов экологических условий [1]. По мнению [2], для оценки состояния окружающей городской среды необходимо изучение взаимодействия различных факторов. В окружающую среду поступает все большее количество загрязняющих веществ [3].

Часть этих веществ использует растительность, и, как правило, из-за многих видов ан-

тропогенных загрязняющих веществ понижается её продуктивность. Это происходит из-за того, что растения адаптировались к очень медленно изменяющемуся видовому разнообразию загрязнений. В особенности растения не приспособлены к быстро меняющимся концентрациям новых видов загрязнения, вызванных человеческой деятельностью.

При этом вегетационный период становится одним из важных параметров меха-

низма адаптации растений к окружающей среде, так как развитие листьев весьма чувствительно к изменениям погоды и загрязнению. В этой связи особенно перспективно следить за поведением железистых волосков на поверхности листьев березы повислой [4]. Листья производят их в течение всего вегетационного периода, и они являются наименьшими элементами листьев.

Однако из-за сложности изучения волосков мы приняли за объект исследования листья деревьев по патентам на изобретения 2597643, 2597645, 2606189 и 2615363.

Главным объектом глобального и локального экологического мониторинга может стать береза с учетными листьями без их срезания [5, 6]. Березняки северного полушария (Голарктическое царство по А.Л. Тахтаджяну [7]) занимают Северное полушарие вдоль Ледовитого океана. Модели с волновыми составляющими нами были получены на учетных листьях березы, произрастающих в разных экологических условиях. Доказано, что загрязнение воздуха снижает колебательную адаптацию листьев в процессе онтогенеза. С повышением загрязненности воздуха максимум роста листьев достигается раньше.

В статье показаны закономерности фитоиндикации измерениями ширины листьев березы повислой во времени вегетационного периода около максимума роста в зависимости от концентраций диоксида серы и углерода, а также от уровня радиоактивного фона в различных точках возле автомобильных дорог с наибольшими загрязнениями.

Материалы и методы исследования

Согласно сведениям [8], в г. Йошкар-Оле в рейтинге пород деревьев береза повислая оказалась на третьем месте вследствие высадок по сторонам улиц в конце семидесятых годов. В особенности стремились озеленить ею центральные улицы города.

По фактическим данным содержания диоксида серы и углерода, а также уровню радиоактивного фона, на улицах г. Йошкар-Олы отмечено, что концентрация диоксида серы в атмосферном воздухе города не превышала ПДК ($0,5 \text{ мг/м}^3$). Фактическая концентрация диоксида углерода на различных улицах города изменялась в пределах от 0,01 до 0,04 % от ПДК. Как показали результаты исследований, радиоактивный фон варьировался в пределах от 0,08 до 0,15 мк³ в/ч, что меньше предела естественного фона [9].

Наши исследования показали, что даже при таких низких концентрациях загрязнения листья березы значительно изменяются по метрическим параметрам, поэтому они могут быть приняты за индикаторы экологического состояния в различных точках городской среды.

В наших патентах на изобретения 2597643, 2597645, 2606189 и 2615363 приведены закономерности поведения листьев за вегетационный период от момента распускания почек дерева до опадения каждого учетного листа. Было получено, что на стадии роста от распускания почек до достижения максимума длины, ширины, периметра и площади учетных листьев, при не менее чем 10 измерениях за сезон, закономерности изменяются по нарастающей ветви биотехнического закона.

В отличие от патента 2606189 [10], измерения ширины листа (рис. 1) удобней, и поэтому предлагается применять их при сравнении мест произрастания берез около автомобильных дорог с интенсивным движением с учетом преобладающих ветров и источников загрязнения в различных экологических условиях города. При этом другие параметры листа (длина, площадь и периметр) в зависимости от времени вегетационного периода с момента распускания почек изменяются почти аналогичным образом.

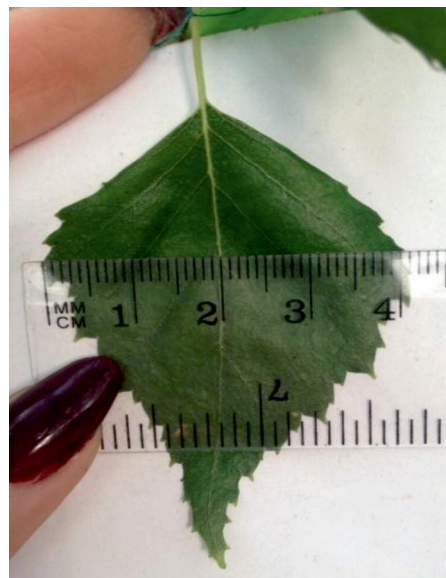


Рис. 1. Измерения ширины листа

На лист кладут прозрачную линейку так, чтобы линия метки какой-то цифры в сантиметрах располагалась с осью продоль-

ной жилки листа. На рис. 1 жилка совпала с линией метки 2 см. Затем лист с линейкой фотографируют цифровым фотоаппаратом с функцией хранения фотоснимков. На компьютере фото листа обрезают с помощью кнопки «Обрезка», затем увеличивают для точного подсчета ширины до формата А4.

Для многократных измерений каждый учетный лист помечали белой ниткой с биркой с номером, привязанной к черешку у основания листа.

Эксперименты проведены в экологически чистом городе Йошкар-Оле (10-е место в рейтинге по России) [1] в различных точках возле автомобильных дорог с наибольшими загрязнениями. При этом учитывали направление преобладающего ветра, расстояние от дороги и высоту расположения группы листьев от поверхности почвы.

В таблице приведен фрагмент данных экспериментов с листьями березы.

В ней приняты следующие условные обозначения:

SO_2 – изменение концентрации диоксида серы на улицах города, mg/m^3 ;

CO_2 – изменение концентрации диоксида углерода на улицах города, mg/m^3 ;

R_f – изменение радиоактивного фона на улицах г. Йошкар-Олы, $mkZv/ч$;

τ – время вегетации с момента распускания почек в 2018 г. с 1 мая до достижения максимального значения ширины листа, сутки;

$\bar{b}_{max}$ – максимальная ширина листа за вегетационный период, мм.

Для удобства моделирования значения диоксида серы и диоксида углерода умножены на 100, а фактически, например на улице Лебедева, они равны $0,01 mg/m^3$.

Влияющие переменные имеют малые интервалы изменения: диоксид серы от 0,01

до $0,03 mg/m^3$; диоксид углерода от 0,01 до $0,04 mg/m^3$; радиационный фон от 0,08 до $0,16 mk^3/ч$. Два зависимых показателя изменяются так: время вегетации от 91 до 110 суток; максимальная ширина листа от 39,56 до 48,66 мм.

Тренд образуется при условии, когда период колебания стремится к бесконечности [7–9]. Все модели в данной статье были выявлены по двучленной формуле

$$y = a \exp(-bx^c) + dx^c \exp(-fx^g), \quad (1)$$

где y – зависимый показатель, x – влияющая переменная, a – g – параметры модели (1), идентифицируемые в программной среде CurveExpert-1.40.

Первый член является модифицированным законом Лапласа (в математике), Мандельброта (в физике), Перла – Ципфа (в биологии) и Парето (в эконометрике), а второй – биотехническим законом [5, 6].

Результаты исследования и их обсуждение

Летом 2018 г. были проведены измерения в г. Йошкар-Оле, начиная с 15 июля до максимума роста листа по ширине примерно до конца августа. Оказалось, что максимум ширины листа зависит от условий произрастания дерева и меняется от начала вегетации 1 мая в течение 92–110 суток. Эта высокая изменчивость $(110 - 92) / 92 = 19,57\%$ позволяет время вегетации использовать как индикатор поведения листьев березы.

Получены закономерности влияния концентраций диоксидов серы и углерода, а также уровня радиоактивного фона на среднюю максимальную ширину и времени вегетации с 1 мая 2018 г. до достижения максимума ширины учетного листа.

Сопоставление загрязнений городской среды с максимальной шириной листьев березы повислой во времени вегетационного периода

Место произрастания учетной березы	Виды загрязнения			Время вегетации τ , сутки	Максимальная ширина листа, $\bar{b}_{max}$, мм
	SO_2 , $10^{-2}mg/m^3$	CO_2 , $10^{-2}mg/m^3$	Рад. фон R_f , $mk^3/ч$		
Ул. Лебедева	1	1	0,08	110	45,92
Воскресенский пр-т	2	2	0,10	110	48,66
Ул. Эшкинина	4	3	0,10	92	39,77
Пр-т Ленина	3	3	0,12	99	40,11
Б-р Чавайна	2	2	0,12	106	44,71
Ул. Панфилова	3	3	0,14	103	39,56
Ул. Карла Маркса	3	4	0,16	99	44,39
Ул. Строителей	5	4	0,16	103	42,25

На рис. 2 показаны графики влияния концентрации диоксида серы $\text{SO}_2 \rightarrow \tau$ на время вегетации листьев березы и $\text{SO}_2 \rightarrow \bar{b}_{\max}$ на максимальную ширину листа.

Влияние концентрации диоксида серы на время вегетации

$$\tau = 109,07953 \exp(0,36575 \text{SO}_2^{2,11956}) - 3,14298 \text{SO}_2^{2,66043}. \quad (2)$$

Влияние концентрации диоксида серы на максимальную ширину листа

$$\bar{b}_{\max} = 0,08466 \exp(6,32267 \text{SO}_2^{4,26871}) - 5,79832 \cdot 10^7 \text{SO}_2^{9,53251} \exp(-17,69806 \text{SO}_2^{0,323017}). \quad (3)$$

Первый член по модифицированному закону Лапласа показывает экспоненциальный рост зависимых показателей с увеличением концентрации диоксида серы. Но этой тенденции противодействует негативное (отрицательный знак перед второй составляющей) воздействие этого вида загрязнения. При этом на время вегетации негативное влияние происходит по показательному закону, а на максимальную ширину листа с некоторым торможением – по биотехническому закону. Как видно из графиков на рис. 2, до концентрации 0,014 мг/кг рост концентрации диоксида серы даже повышает зависимые показатели, то есть до этой концентрации диоксид серы положительно сказывается на жизнедеятельности листьев березы.

На рис. 3 показаны графики влияния концентрации диоксида углерода $\text{CO}_2 \rightarrow \tau$ на время вегетации листьев и $\text{CO}_2 \rightarrow \bar{b}_{\max}$ на максимальную ширину листа.

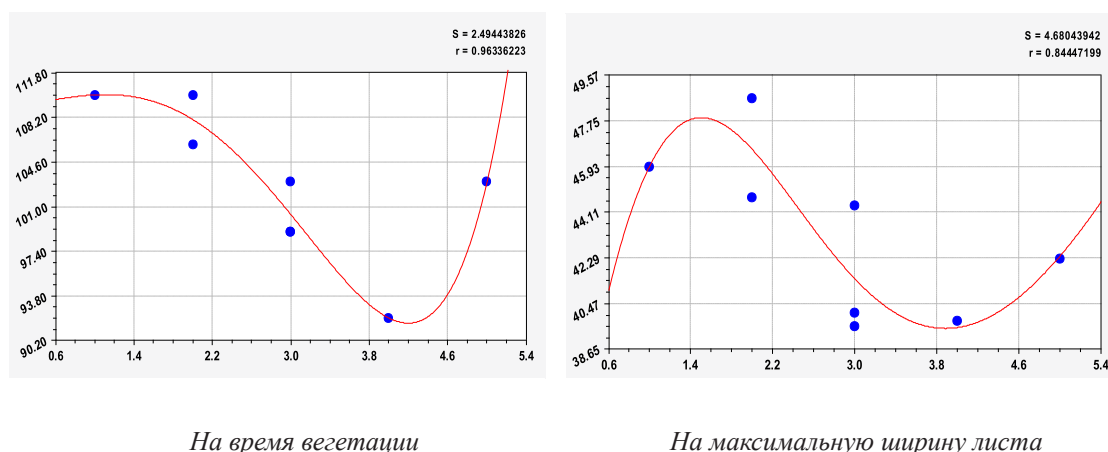


Рис. 2. График влияния концентрации диоксида серы

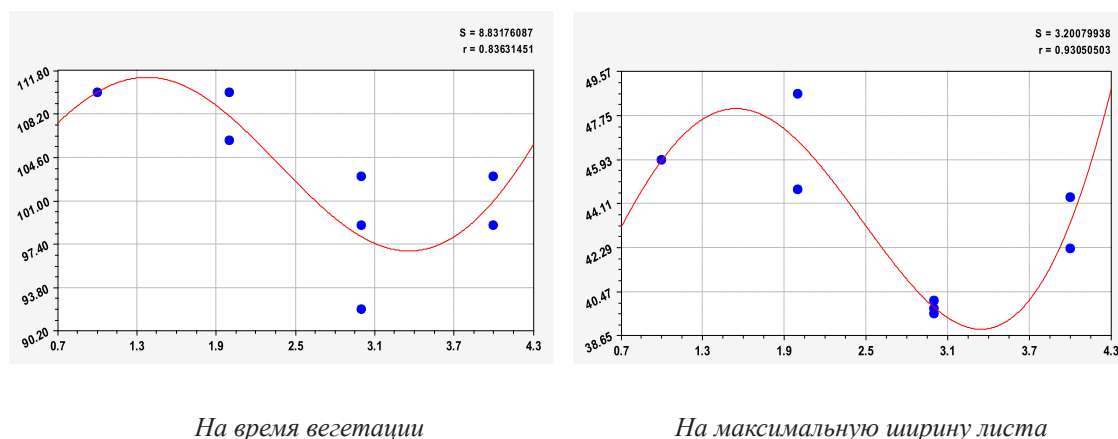


Рис. 3. График влияния концентрации диоксида углерода

Влияние концентрации диоксида углерода на время вегетации

$$\tau = 97,54959 \exp(0,13322 \text{CO}_2^{0,80153}) - 2,11224 \text{CO}_2^{4,35819} \exp(-0,37548 \text{CO}_2^{1,49377}). \quad (4)$$

Влияние концентрации диоксида углерода на максимальную ширину

$$\bar{b}_{\max} = 35,16704 \exp(0,310709 \text{CO}_2^{0,99992}) - 4,48249 \text{CO}_2^{4,30896} \exp(-0,77667 \text{CO}_2^{1,00081}). \quad (5)$$

Обе формулы по конструкции одинаковы и имеют по два одинаковых члена.

До рационального значения примерно 0,015 мг/кг диоксид углерода положительно влияет на рост и развитие учетных листьев березы повислой.

С повышением содержания диоксида серы и углерода модифицированный закон Ляпласа растет, а по второму члену с отрицательным знаком происходит снижение, время вегетации сдвигается к началу онтогенеза. Для условия роста и развития листа лучшей оказались улица Лебедева и Воскресенский проспект, а худшей – улица Эшкинина.

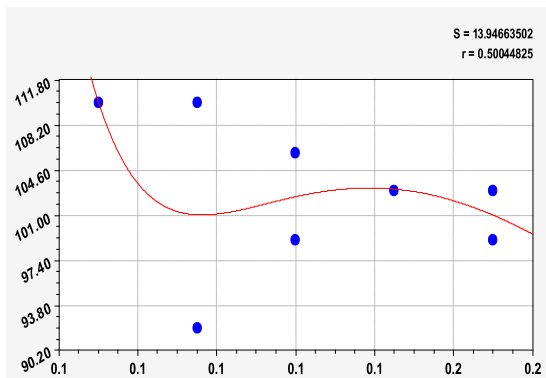
На рис. 4 показаны графики влияния радиоактивного фона $R_f \rightarrow \tau$ на время вегетации листьев и $R_f \rightarrow \bar{b}_{\max}$ на максимальную ширину листа.

Влияние радиоактивного фона на время вегетации определяется формулой

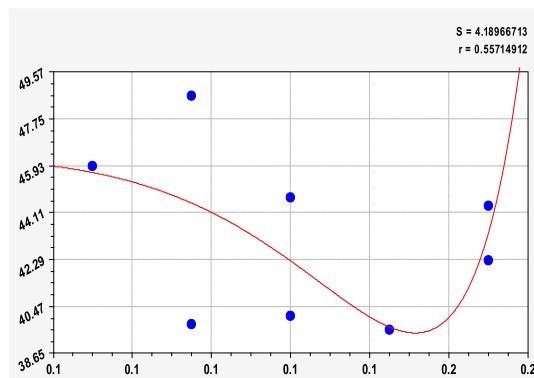
$$\tau = 1,54079 \cdot 10^5 \exp(-11,05799 R_f^{0,37244}) - 1,06089 \cdot 10^5 R_f^{0,1994} \exp(-13,28765 R_f^{0,52879}). \quad (6)$$

Влияние радиоактивного фона на максимальную ширину листа

$$\bar{b}_{\max} = 46,27237 \exp(72695,278 R_f^{6,35945}) - 1,0415106 R_f^{5,50019}. \quad (7)$$



На время вегетации



На максимальную ширину листа

Рис. 4. График влияния радиоактивного фона

Радиоактивный фон влияет неоднозначно: время вегетации снижается и по первому члену формулы (6); максимальная ширина листа, независимо от экспоненциального роста по первому члену уравнения (7), из-за негативного влияния второго члена по показательному закону также снижается.

С дальнейшим ростом радиоактивного фона условия произрастания листьев ухудшаются, имеют большой разброс, закономерности получаются с очень малыми коэффициентами корреляции (средняя сила факторной связи), поэтому нужны дополнительные исследования.

На основе проведенных теоретических и экспериментальных исследований сформулированы основные научные выводы.

Методика измерения ширины листьев в вегетационный период рекомендуется для школьных экологических кружков при наблюдениях за ростом и развитием листьев деревьев в городских парках, аллеях, придорожных полосах.

Измерениями ширины учетных листьев березы повислой в вегетационный период, отобранных и помеченных белой ниткой со стороны преобладающих ветров, можно выявлять закономерности фитоиндикации

в зависимости от концентраций диоксида серы и углерода, а также уровня радиоактивного фона в различных точках возле автомобильных дорог.

В экологически чистом городе Йошкар-Оле имеются малые концентрации загрязнителей примерно в 25 раз меньше ПДК, но они оказывают сильное влияние на параметры роста и развития листьев березы повислой. Вначале с увеличением концентрации химические вещества, на восьми точках городской среды, до некоторого уровня оказывают благоприятное влияние на вегетацию листьев. Но с дальнейшим увеличением концентрации происходит сильное угнетение и торможение роста и развития листьев.

Первый член по модифицированному закону Лапласа показывает экспоненциальный рост зависимых показателей с увеличением концентрации диоксида серы. Но этой тенденции противодействует негативное (отрицательный знак перед второй составляющей) воздействие этого вида загрязнения. До концентрации 0,014 мг/кг рост концентрации диоксида серы даже повышает зависимые показатели, то есть до этой концентрации диоксида серы положительно сказывается на жизнедеятельность листьев березы.

С повышением содержания диоксида серы и диоксида углерода по модифицированному закону Лапласа ширина листа растет, а по второму члену с отрицательным знаком происходит снижение ширины, при этом время вегетации сдвигается к началу онтогенеза.

Радиоактивный фон влияет неоднозначно: время вегетации снижается и по первому члену формулы; максимальная ширина листа, независимо от экспоненциального роста по первому члену уравнения, из-за негативного влияния второго члена по показательному закону, также снижается. В итоге любое значение радиоактивного фона влияет негативно на развитие и рост листьев березы повислой.

Приведенные формулы можно идентифицировать и в условиях других городов, где произрастает береза повислая. На первый год необходимо проводить сравнения химических и иных загрязнений с ростом листьев на стадии роста в вегетационный период. Для сопоставления идентифицируются закономерности научными работниками. Затем со второго года методикой фитоиндикации уже могут пользоваться школьники без трудоемких и дорогостоящих измерений концентрации загрязнителей. При этом достаточно определить время

роста учетных листьев с начала распускания почек без выявления устойчивых закономерностей.

Список литературы / References

1. Понятие устойчивого развития. Национальное агентство устойчивого развития. [Электронный ресурс]. URL: <http://green-agency.ru/ponyatie-istoriya-i-sfery-ustojchivogo-razvitiya/> (дата обращения: 28.06.2019).

The concept of sustainable development. National Agency for Sustainable Development. [Electronic resource]. URL: <http://green-agency.ru/ponyatie-istoriya-i-sfery-ustojchivogo-razvitiya/> (date of access: 28.06.2019) (in Russian).

2. Кириллов С.Н., Половинкина Ю.С. Комплексная геоэкологическая оценка территории города Волгограда // Вестник Волгоградского государственного университета. Серия 3: Экономика. Экология. 2011. № 1 (18). С. 239–245.

Kirillov S.N., Polovinkina Yu.S. On Complex Geo-Ecological Evaluation of Volgograd Cityarea // Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya 3: Ekonomika. Ekologiya. 2011. № 1 (18). P. 239–245 (in Russian).

3. Кочуров Б.И. Экодиагностика и сбалансированное развитие: учеб. пос. М., Смоленск: Маджента, 2003. 384 с.

Kochurov B.I. Ecodiagnosics and Balanced Development: textbook. M., Smolensk: Magenta, 2003. 384 p. (in Russian).

4. 10 самых чистых городов России в 2019. [Электронный ресурс]. URL: <http://top10a.ru/10-samyx-chistyx-gorodov-rossii-v-2018-godu.html> (дата обращения: 08.06.2019).

The 10 most clean cities in Russia in 2019. [Electronic resource]. URL: <http://top10a.ru/10-samyx-chistyx-gorodov-rossii-v-2018-godu.html> (date of access: 08.06.2019) (in Russian).

5. Мазуркин П.М., Кудряшова А.И. Закономерности онтогенеза листьев деревьев. Динамика роста листьев липы и березы в чистой и загрязненной автомобильными выхлопами городской среде. LAP Lambert Academic Publishing, 2015. 108 с.

Mazurkin P.M., Kudryashova A.I. Patterns of ontogenesis of tree leaves. The growth dynamics of linden and birch leaves in a clean and polluted automobile exhaust urban environment. LAP Lambert Academic Publishing, 2015. 108 p. (in Russian).

6. Мазуркин П.М., Кудряшова А.И. Динамика онтогенеза листьев дерева. Йошкар-Ола: ПГТУ, 2015. 172 с.

Mazurkin P.M., Kudryashova A.I. Dynamics of ontogenesis of tree leaves. Yoshkar-Ola: PGU, 2015. 172 p. (in Russian).

7. Takhtajan A.L. Floristic regions of the world. University of California, 1986. 523 p.

8. Марышев В.М. Топ-10 самых распространенных видов деревьев Йошкар-Олы // Марийская правда. 26.05.2016 г. [Электронный ресурс]. URL: <http://moyaokruga.ru/marpravda/Articles.aspx?articleId=67085> (дата обращения: 08.06.2019).

Maryshev V.M. Top 10 most common types of trees Yoshkar-Ola // Mariyskaya Pravda. 05.26.2016 [Electronic resource]. URL: <http://moyaokruga.ru/marpravda/Articles.aspx?articleId=67085> (date of access: 08.06.2019). (in Russian).

9. Воскресенская О.Л., Воскресенский В.С., Старикова Е.А. Анализ экологической обстановки на улицах г. Йошкар-Олы по содержанию оксидов серы, углерода и уровню радиоактивного фона // Современные проблемы медицины и естественных наук: сборник статей Всероссийской научной конференции. Йошкар-Ола, 2018. С. 402–405.

Voskresenskaya O.L., Voskresenskiy V.S., Starikova Ye.A. Analysis of the environmental situation on the streets of Yoshkar-Ola on the content of sulfur oxides, carbon and the level of radioactive background // Sovremennyye problemy meditsiny i yestestvennykh nauk: sbornik statey Vserossiyskoy nauchnoy konferentsii. Yoshkar-Ola, 2018. P. 402–405 (in Russian).

10. Мазуркин П.М., Кудряшова А.И. Способ факторного анализа онтогенеза учетных листьев дерева // Патент РФ № 2606189. МПК G 01 D21 / 00(2006.01). Заявитель и патентообл. Мазуркин П.М. Заявка № 2015112149 от 03.04.2015. Оpubл. 10.01.2017. Бюл. № 1.

УДК 556.51/54:556.16(571.56)

ГИДРОЛОГИЯ И ИОННЫЙ СТОК РЕКИ СЕВЕРО-ВОСТОКА ЯКУТИИ**¹Макаров В.Н., ²Ноговицын Д.Д., ²Шейна З.М.**¹*Институт мерзлотоведения им. П.И. Мельникова СО РАН, Якутск, e-mail: vnmakarov@mpi.ysn.ru;*²*Институт физико-технических проблем Севера им. В.П. Ларионова СО РАН (ИФТПС СО РАН), Якутск, e-mail: dmitry-nogovitzyn@yandex.ru, zin.scheina2016@yandex.ru*

Рассматриваются особенности гидрологии и стока растворенных веществ р. Алазеи, расположенной за полярным кругом, в области сплошного распространения многолетнемерзлых пород. В качестве исходных материалов использовались результаты полевых исследований и лабораторных анализов проб воды комплексной научно-исследовательской экспедиции. Река Алазея в гидрологическом и гидрохимическом отношении является малоизученной рекой арктической зоны. Для бассейна реки характерно минимальное антропогенное давление. Территория бассейна р. Алазеи является одним из труднодоступных арктических регионов Северо-Восточной Якутии с естественными природными комплексами. Основными источниками питания поверхностных вод служат атмосферные осадки, грунтовые воды и подземные льды деятельного слоя и многолетнемерзлых пород. Ежегодно с территории бассейна Алазеи процессами флювиальной денудации удаляется в Восточно-Сибирское море 0,5 млн т растворенных веществ. Модуль ионного стока очень низкий – 6,8 т/км², характерен для равнинных рек арктических регионов. Минимальные значения стока обусловлены арктическими климатическими и ландшафтными параметрами, влияющими на интенсивность химического выветривания горных пород. Ионный сток р. Алазеи практически не зависит от антропогенного влияния и определяется геохимическими свойствами элементов, литологическими особенностями пород и составом почв бассейна реки, климатическими условиями, растительностью. Химический состав речных вод бассейна Алазеи определяется почвенно-биоклиматическими особенностями и составом горных пород. Ионный состав воды р. Алазеи относится к гидрокарбонатному классу группы кальция и остается практически постоянным в различные гидрологические периоды. Химический сток реки на её протяжении далеко не одинаков. От верхнего течения к устью он увеличивается, и максимальная минерализация воды и наиболее интенсивный вынос химических элементов наблюдается в устье Алазеи.

Ключевые слова: Арктика, гидрология, ионный сток, река, модуль стока, анионы, катионы, микроэлементы

HYDROLOGY AND ION SINK OF THE NORTHEAST OF YAKUTIA RIVER**¹Makarov V.N., ²Nogovitsyn D.D., ²Sheina Z.M.**¹*Melnikov Institute of Permafrost Studies, Siberian Branch of the Russian Academy of Science (IMZ SB RAS), Yakutsk, e-mail: vnmakarov@mpi.ysn.ru;*²*The V.P. Larionov Institute of Physical and Technical Problems of the North, Siberian Branch of the Russian Academy of Science (IPTPN SB RAS), Yakutsk, e-mail: dmitry-nogovitzyn@yandex.ru, zin.scheina2016@yandex.ru*

The features of hydrology and flow of dissolved substances of the Alazeya River located above the Arctic Circle in the area of continuous distribution of permafrost are considered. As starting materials the results of field studies and laboratory analyses of water samples made by the complex research expedition were used. The Alazeya River in hydrological and hydro chemical relation is a little-studied river of the Arctic zone. The river basin is characterized by minimal human pressure. The territory of the Alazeya basin is one of the hard-to-reach Arctic regions of the North-East Yakutia with natural complexes. Precipitation, groundwater and underground ice of active layer and permafrost are the primary power supply of surface waters. Annually 0.5 million tons of dissolved substances are removed by the processes of fluvial denudation from the Alazeya basin to the East Siberian Sea. Module of the ion sink is very low – 6.8 tons/km². It is typical for the sluggish rivers of the Arctic regions. Minimum value is a result of the Arctic climatic and landscape parameters affecting the intensity of chemical weathering of rocks. The ion sink of the Alazeya River is almost independent from human influence and determined by the geochemical properties of elements, lithological features of rocks and soil composition of the river basin, climatic conditions, and vegetation. The chemical composition of river waters of the Alazeya basin is determined by soil-bioclimatic characteristics and composition of the rocks. The ionic composition of the Alazeya water refers to hydrocarbonate class of the calcium group and remains almost constant in different hydrological periods. The chemical flow of the river over its length is not the same. From the upstream to the mouth it increases and the maximum water mineralization and the most intensive removal of chemical elements are observed at the mouth of the Alazeya.

Keywords: the Arctic, hydrology, ion sink, river, flow rate, anions, cations, micro elements

Реки Арктики относятся к одним из самых нетронутых экосистем по всему миру. Несмотря на это, они находятся под угрозой глобального и регионального антропогенного воздействия [1]. Познание причин и последствий климатических изменений в Арктике все еще ограничено отсутствием

данных относительно гидрологических характеристик водных бассейнов [1]. В этих условиях освоение природных ресурсов Арктики должно происходить как с учетом экономических интересов страны, так и особым подходом к уникальной природной среде [2]. Кроме того, глобальное по-

тепление увеличивает проблемы, связанные с гидрологией арктических рек [2]. Становится очевидной необходимость в экологических исследованиях современного состояния уязвимых рек арктической части России [3].

Вопросы изучения особенностей формирования ионного стока рек в условиях глобального изменения климата и антропогенной нагрузки рассмотрены во многих работах российских ученых [4–6]. Работы [7, 8] посвящены количественным различиям ионного стока и оценке его антропогенной составляющей. Ю.Б. Кирста, А.В. Пузанов [9] отмечают, что формирование ионного стока происходит в основном катионами кальция Ca^{2+} , магния Mg^{2+} , натрия Na^{+} , калия K^{+} , анионами гидрокарбонатов HCO_3^{-} , сульфатов SO_4^{2-} , хлоридов Cl^{-} .

В статье ионный сток реки Северо-Востока Якутии рассматривается на примере Алазеи. Территория бассейна реки является одним из труднодоступных арктических регионов с естественными природными комплексами. Основными источниками питания поверхностных вод служат атмосферные осадки, грунтовые воды и подземные льды деятельного слоя и многолетнемерзлых пород. Река в гидрологическом и гидрохимическом отношении является малоизученной рекой Арктики, для бассейна которой характерно минимальное антропогенное давление.

Цель исследования: определение зависимости ионного стока реки Алазея от природных факторов.

Материалы и методы исследования

В бассейне р. Алазея авторами был выполнен комплекс гидрометрических и гидрогеохимических наблюдений. В качестве исходных материалов использовались результаты полевых исследований и лабораторных анализов проб воды комплексной научно-исследовательской экспедиции. Методика проведения полевых работ, определение, расчеты, анализ гидрологических характеристик поверхностных вод выполнены в соответствии с Наставлениями гидрометеорологическим станциям и постам [10, 11]. Анализы проб воды выполнены в специализированной аккредитованной лаборатории: Центральной геолого-аналитической лаборатории ГУП РС(Я) – «Центргеоаналитика».

Гидрологический режим р. Алазеи. Бассейн реки расположен на северо-востоке Якутии, протекает по западной стороне

Колымской низменности [12]. Реку Алазея длиной 1 590 км образуют реки Нелькан и Кадылчан [13]. Река имеет два крупных притока: с левой стороны – Рассоха длиной 790 км и Буор-Юрях (244 км) – с правой. В верхней части течет по горной местности, в нижней – по равнинной. Площадь водосборного бассейна составляет 74 700 км², и по её размерам занимает 7-е место среди рек Якутии и 27-е – в России [14]. Поверхностные воды района сосредоточены в основном в р. Алазее (3 734 водотока) и многочисленных озерах (24 391 озеро) [14]. В среднем и нижнем течении река часто меандрирует и через протоки-«виски» сообщается с многочисленными озерами. Распределение стока в течение года также показывает относительно большую его зависимость от наличия озер. Объем стока в зимний сезон составляет 4%, в лимитирующий – 20% [15]. В конце мая наступает начало весеннего половодья, при этом максимальный расход воды наблюдается в последней декаде июня. Таким образом, за весенний период происходит формирование более 60% годового стока реки. В маловодные годы конец половодья отмечается в последних числах июля, а летняя межень – в августе-сентябре. В многоводные годы сроки конца половодья трудно выявить. В этих условиях наибольший расход воды наблюдается даже во второй декаде августа. Формирование стока в верхнем и среднем течении реки схоже. В верховье подъем уровня воды над минимальным зимним равняется 5,0 м, в средней части реки – 4,5 м, а в низовье – 2,0 м, что связано с повышенными осадками. Режимы стока и уровней воды устьевое участка реки подвержены воздействию со стороны моря.

Ввиду редкой сети гидрометеорологических наблюдений в бассейне р. Алазеи для исследования связей величины стока и факторов, его обуславливающих, применялся метод регрессионного (корреляционного) анализа. Коэффициент корреляции связи величины стока и зимних осадков составляет 0,22, летних – 0,51, что показывает значительно большее влияние на сток летних осадков. При этом вариация осадков за теплый период года значительно выше вариации осадков за холодный период.

Гидрохимический режим реки. Территория бассейна р. Алазеи является одним из труднодоступных арктических регионов Северо-Восточной Якутии с естественными природными комплексами, Химический

состав речных вод бассейна Алазеи определяется почвенно-биоклиматическими особенностями и составом горных пород. Основными источниками питания природных вод служат атмосферные осадки (237 мм/год) и подземные льды деятельного слоя и многолетнемерзлых пород. Антропогенная составляющая стока минимальна при практическом отсутствии урбанизации и низкой плотности населения. В бассейне реки проживает около 2,5 тыс. чел., занятых в основном в сельском хозяйстве (табл. 1).

Таблица 1
Численность населения и экономика
в бассейне р. Алазеи

Село	Население, чел.	Экономика
Андрюшкино	732	Сельское хозяйство (скотоводство, коневодство, оленеводство, звероводство, рыболовство, пушной промысел)
Аргахта	502	
Сватай	534	
Эбях	486	

Минерализация атмосферных осадков очень мала – 6–11 мг/л и составляет 20–30% солевого состава поверхностных вод. Хлоридно-гидрокарбонатные преимущественно натриевые по составу катионов атмосферные осадки приносят основную массу морских солей – хлоридов натрия в поверхностный сток.

Ископаемые льды и грунтовые надмерзлотные воды близки по химическому составу к слабоминерализованным гидрокарбонатным, преимущественно магниевые, слабокислые, с низкими значениями окислительно-восстановительного потенциала и высоким содержанием аммония и железа. Существенное влияние на химический состав надмерзлотных вод: повышение роли марганца и аммония, заметный сдвиг значений Eh в сторону восстановительных значений оказывают процессы криогенеза.

Выщелачивание горных пород и значительные массы воды, которые содержатся в озерах и деятельном слое, определяют химический состав речных вод бассейна р. Алазея. Роль подземного стока в формировании солевого состава речных вод незначительна.

На всем протяжении вода р. Алазеи остается маломинерализованной (23–38 мг/л), гидрокарбонатной, смешанной по составу катионов с некоторым преобладанием каль-

ция, слабокислой, очень мягкой (0,4–0,7 мг-экв), с высокими значениями величины Eh (в среднем 519 мВ) и повышенным содержанием Fe и тяжелых металлов (Cu и Mn).

Результаты исследования и их обсуждение

Ионный сток является одной из составляющих геостока [16] и качественной характеристикой гидрологических, геохимических и геоэкологических процессов в речных бассейнах.

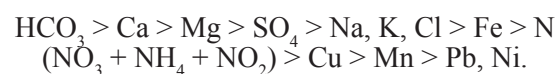
Ионный сток р. Алазеи практически не зависит от антропогенного влияния (при плотности населения около 0,033 чел/км²) и определяется природными факторами: геохимическими свойствами элементов, литологическими особенностями пород и составом почв бассейна реки, климатическими условиями, растительностью.

Величина ионного стока макро- и микрокомпонентов и характер изменения этих показателей от верхнего течения р. Алазеи до устья приведены в табл. 2.

Ежегодно с территории бассейна Алазеи процессами флювиальной денудации удаляется в Восточно-Сибирское море 0,5 млн т растворенного веществ. Модуль ионного стока очень низкий – 6,8 т/км² [17], характерен для равнинных рек арктических регионов. Минимальные значения стока обусловлены арктическими климатическими и ландшафтными параметрами, влияющими на интенсивность химического выветривания горных пород.

С территории бассейна Алазеи (табл. 2) в растворенном виде ежегодно удаляется около 0,5 млн. т веществ. В составе растворимых продуктов денудационного происхождения основным анионом на всем протяжении реки является гидрокарбонат-ион (66%). Среди катионов главная роль принадлежит кальцию (14%) и магнию (7%). Вклад остальных макрокомпонентов в растворимый сток составляет в сумме около 13%. Довольно значительна роль в стоке мезокомпонентов природных вод: железа – около 1% и соединений азота – 0,5%. Модуль ионного стока тяжелых металлов (Cu, Mn, Pb, Ni) в пределах $n \cdot 10^{-3}$ т/год км².

По уменьшению величины ионного стока химические компоненты группируются в следующий ряд:



Небольшая величина модуля ионного стока р. Алазеи – 6,81 т/км²·год, характерна

для равнинных рек субарктической зоны, зоны очень слабой химической денудации. Минимальные значения стока растворенных веществ обусловлены положением бассейна реки в холодной и влажной тундре, широким распространением в пределах Колымской низменности малорастворимых терригенных отложений, климатическими и ландшафтными параметрами арктического района, сплошным распространением многолетнемерзлых пород, ограничивающим подземный сток.

Химический сток реки на её протяжении далеко не одинаков. От верхнего течения

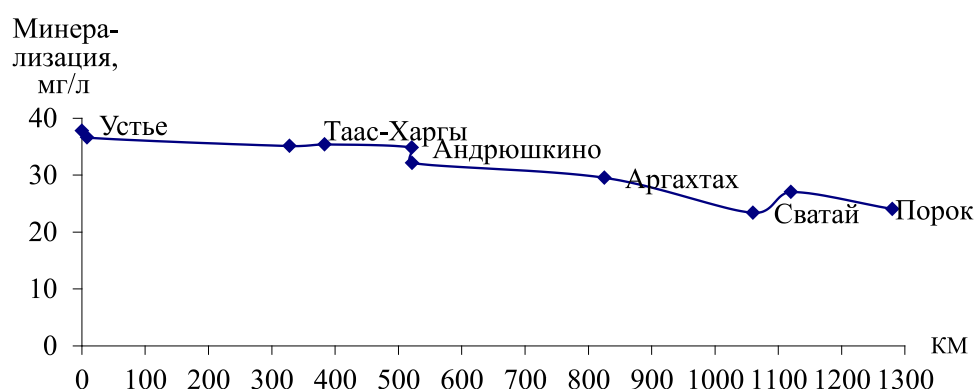
к устью он увеличивается, и максимальная минерализация воды и наиболее интенсивный вынос химических элементов наблюдается в устье Алазеи (рисунок).

Наблюдается пространственное изменение величины ионного стока, отражающее особенности геологического строения бассейна Алазеи. Основным источником растворенных веществ в верхнем течении реки – девон-карбоновые карбонатные породы и верхнемеловые липарты и дациты Алазейского плоскогорья, что определяет заметную роль в стоке сульфатов, магния и железа (табл. 2).

Таблица 2

Ионный сток р. Алазея (Порок – Андрюшкино – устье)

Компоненты	Ионный сток, т/сут						Модуль стока, т/год км ² (%)
	Расстояние от устья, км					Устье реки	
	1272	1060	825	521	46		
Ионный сток (½ НСО ₃ ⁻)	108,9	116,6	414,1	788,1	796,4	1376,8	6,81
НСО ₃ ⁻	53,6	60,2	202,6	363,0	355,8	612,4	5,29 (66)
Сl ⁻	3,2	3,5	16,8	22,6	25,3	44,3	0,19 (2)
SO ₄ ²⁻	7,5	8,4	23,2	18,3	17,1	95,7	0,29 (4)
Ca	22,7	15,0	62,3	128,1	132,8	234,9	1,14 (14)
Mg	12,1	16,9	43,2	68,8	70,4	115,2	0,58 (7)
Na	2,2	1,7	12,6	27,1	25,3	50,8	0,25 (3)
K	0,9	1,7	12,6	16,2	25,3	45,2	0,22 (3)
Fe	0,91	1,80	4,21	9,05	21,08	36,95	0,05 (1)
NH ₄ ⁺	0,33	0,42	1,03	1,64	6,53	8,27	0,012
NO ₃ ⁻	0,37	0,48	1,17	1,86	7,37	9,33	0,013
N	0,7	0,9	2,2	3,5	13,9	17,6	0,025
Cu	0,030	—	—	0,161	0,152	0,266	1,089·10 ⁻³
Mn	0,014	—	—	0,113	0,118	0,207	0,504·10 ⁻³
Pb	0,007	—	—	0,074	0,038	0,066	0,260·10 ⁻³
Ni	0,007	—	—	0,063	0,044	0,037	0,244·10 ⁻³



Изменение минерализации воды р. Алазеи от верхнего течения (Порок) до устья

В среднем и нижнем течении Алазея дренирует верхнечетвертичные и современные терригенные отложения, представленные песками, галечниками, супесями, суглинками, торфом, подземными льдами. Здесь река протекает по заболоченной тундре, равнине, насыщенной органикой. Обилие органического вещества (торф, растительные остатки) и застойный режим обеспечивают слабо восстановительную среду. На этом участке реки возникает своеобразный «тундровый» геохимический барьер: органический и, возможно, механический (связанный с незначительным уменьшением скорости течения реки). Воздействие тундрового барьера влияет на понижение ионного стока ряда макро- и микрокомпонентов, и наиболее интенсивное для тяжелых металлов – свинца и никеля, и минимальное для гидрокарбонатов (в скобках величина снижения ионного стока на геохимическом барьере, %):

$Pb(49) > Ni(30) > SO_4^{2-}(7) > Cu(6) > HCO_3^-(2)$.

Выводы

Ионный сток Алазеи практически не зависит от антропогенного влияния (при плотности населения около 0,033 чел/км²) и определяется природными факторами: геохимическими свойствами элементов, литологическими особенностями пород и составом почв бассейна реки, климатическими условиями, растительностью.

Минимальные значения стока растворенных веществ обусловлены положением бассейна реки в холодной и влажной тундре, широким распространением в пределах Колымской низменности малорастворимых терригенных отложений, климатическими и ландшафтными параметрами арктического района, сплошным распространением многолетнемерзлых пород, ограничивающим подземный сток. От верхнего течения к устью химический сток реки Алазея увеличивается и максимальная минерализация воды и наиболее интенсивный вынос химических элементов наблюдается в устье.

Список литературы / References

1. Brittain J.E., Bogen J., Khokhlova L.G., Melvold K., Stenina A.S., Gislason G.M., Brors S., Kochanov S.K., Olafsson J.S., Ponomarev V.I., Jensen A.J., Kokovkin A.V., Pettersson L.-E. Arctic Rivers. Rivers of Europe. 2009. Chapter 9. P. 337–379.
2. Gudmestad O.T. Hydrology of Arctic Rivers. Ecology and Environment. River Basin Management YII 225. 2015. P. 225–234. DOI: 10.2495/RM150201.
3. Брызгалов В.А., Третьяков М.В., Румянцев Е.В., Шестакова Е.Н., Муждаба О.В. Реки опорных зон Российской Арктики и их современное состояние // Проблемы Арктики и Антарктики. 2018. Т. 64. № 4. С. 365–379. DOI: 10.30758/0555-2648-2018-64-4-365-379.
4. Брызгалов В.А., Третьяков М.В., Румянцев Е.В., Шестакова Е.Н., Муждаба О.В. Rivers of the stronghold area of the Russian Arctic and their current state // Arctic and Antarctic Research. 2018. Vol. 64. № 4. P. 365–379 (in Russian).
5. Ушаков М.В. Ионный сток рек Северного Приохотоморья // Вода: химия и экология. 2012. № 10. С. 17–20.
6. Ushakov M.V. Ion sink of the rivers associated with north part of the Okhotsk sea // Water: Chemistry and Ecology. 2012. № 10. P. 17–20 (in Russian).
7. Таиров А.З. Об изучении ионного стока реки Сырдарьи в ее нижнем течении // Вопросы географии и геоэкологии. 2015. № 1. С. 67–71.
8. Tairov A.Z. About Study of Ionic Flow of Syrdarya River in its Lower Part // Voprosy geografii i geoekologii. 2015. № 1. P. 67–71 (in Russian).
9. Савичев О.Г. Ионный сток Средней Оби и ее крупных притоков // Известия Томского политехнического университета. 2004. Т. 307. № 6. С. 40–44.
10. Savichev O.G. Ionic flow of the Middle Ob and its major tributaries // Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. 2004. T. 307. № 6. P. 40–44 (in Russian).
11. Кольмакова Е.Г. Особенности процессов трансформации ионного стока рек бассейна Немана в условиях антропогенной нагрузки. [Электронный ресурс]. URL: <http://elib.bsu.by/handle/123456789/178811> (дата обращения: 30.07.2019).
12. Kolmakova E.G. Features of the processes of transformation of the ion flow of the rivers of the Neman River basin under conditions of anthropogenic load. [Electronic resource]. URL: <http://elib.bsu.by/handle/123456789/178811> (date of access: 30.07.2019) (in Russian).
13. Парфенова Г.К. Антропогенные изменения гидрохимических показателей качества вод. Томск: Аграф-пресс, 2010. 203 с.
14. Parfenova G.K. Anthropogenic changes in hydrochemical indicators of water quality. Tomsk: Agraf Press, 2010. 203 p. (in Russian).
15. Кирста Ю.Б., Пузанов А.В. Системно-аналитическое моделирование ионного стока горных рек // Ползуновский альманах. 2018. № 4. С. 113–116.
16. Kirsta Yu.B., Puzanov A.V. System-analytical modeling of the ion flow of mountain rivers // Polzunovsky Almanac. 2018. № 4. P. 113–116 (in Russian).
17. Наставление гидрометеорологическим станциям и постам. Вып. 6. Ч. 1. Л.: Гидрометеоиздат, 1978. 384 с.
18. Manual to hydrometeorological stations and posts. Issue. 6. Part 1. L.: Gidrometeoizdat, 1978. 384 p. (in Russian).
19. Наставление гидрометеорологическим станциям и постам. Вып. 6. Ч. 2. Л.: Гидрометеоиздат, 1972. 251 с.
20. Manual hydrometeorological stations and posts. Issue 6. Part 2. L.: Gidrometeoizdat, 1972. 251 p. (in Russian).
21. Готовцев С.П., Копырина А.П., Ефимова А.П., Захарова В.И., Ноговицын Д.Д., Порядина Л.Н., Заболотник П.С., Сыромятников И.И., Иванова А.З., Егоров Н.Н., Десяткин Р.В., Охлопков И.М., Иванова Е.И., Михалева Л.Г., Кириллин Е.В., Габышева О.И., Салова Т.А., Кильманинов В.В. Криоэкосистемы бассейна реки Алазеи. Новосибирск: Гео, 2018. 211 с.
22. Gotovtsev S.P., Kopyrina A.P., Efimova A.P., Zakharova V.I., Nogovitsyn D.D., Poryadina L.N., Zabolotnik P.S., Syromyatnikov I.I., Ivanova A.Z., Egorov N.N., Desyatkin R.V., Okhlopkov I.M., Ivanova E.I., Mikhaleva L.G., Kirillin E.V., Gabysheva O.I., Salova T.A., Kilmyaninov V.V. Cryo-ecosystems of the Alazei river basin. Novosibirsk: Geo, 2018. 211 p. (in Russian).
23. Ресурсы поверхностных вод. Гидрологическая изученность. Т. 17. Лено-Инди́гирский район. Вып. 7. Л.: Гидрометиздат, 1966. 328 с.
24. Surface water resources. Hydrological knowledge. V. 17. Leno-Indigirsky District. Issue 7. L.: Gidrometizdat, 1966. 328 p. (in Russian).
25. Аржакова С.К., Жирков И.И., Кусатов К.И., Андросов И.М. Реки и озера Якутии: краткий справочник. Якутск: Бичик, 2007. 133 с.

Arzhakova S.K., Zhirkov I.I., Kusatov K.I., Androsov I.M. Rivers and lakes of Yakutia: short right. Yakutsk: Bichik. 2007. 133 p. (in Russian).

15. Макаров В.Н., Ноговицын Д.Д., Кильмянинов В.В. Гидрология и гидрохимия реки Алазея // Наука и образование. 2010. № 1. С. 84–90.

Makarov V.N., Nogovitsyn D.D., Kilmyaninov V.V. Hydrology and hydrochemistry of the Alazey River // Science and Education 2010. № 1. P. 84–90 (in Russian).

16. Паромов В.В., Савичев О.Г., Шантыкова Л.Н., Тор-гашева Т.А. Ионный сток и химический состав вод ледни-вой реки Актру // Вестник Томского государственного уни-верситета. 2014. № 383. С. 227–231.

Paromov V.V., Savichev O.G., Shantyikova L.N., Torgashe-va T.A. Ionic flow and chemical composition of the waters of the glacier river Aktru // Bulletin of Tomsk State University. 2014. № 383. P. 227–231 (in Russian).

17. Макаров В.Н. Ионный сток арктической реки Ала-зея // Третьи виноградовские чтения. Грани гидрологии. Сборник докладов Международной научной конференции памяти выдающегося гидролога Юрия Борисовича Вино-градова. Под редакцией О.М. Макарьевой. 2018. С. 86–91.

Makarov V.N. Ionic flow of the Arctic River Alazey // Tret'i vinogradovskiye chteniya. Grani gidrologii. Sbornik dokladov mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii pamyati vyd-ayushchegosya gidrologa Yuriya Borisovicha Vinogradova. Pod redaktsiyey O.M. Makar'yevoy. 2018. P. 86–91 (in Russian).

УДК 911.5/9:66

**УЧЕТ ВЛИЯНИЯ РЕЛЬЕФА МЕСТНОСТИ В МЕТОДИКЕ РАСЧЕТА
ЗОН ВОЗМОЖНОГО ХИМИЧЕСКОГО ЗАРАЖЕНИЯ****Муравьева Е.В., Афанасьев В.М., Сайфутдинова И.Х., Хисматова А.Т.***ФГБОУ ВО «Казанский исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева – КАИ»,
Казань, e-mail: elena-kzn@mail.ru*

В данной статье авторами были проанализированы существующие методики прогнозирования параметров зон возможного химического заражения, такие как РД 52.04.253 – 90, «Токси», графоаналитический метод, и проведены повторные расчеты этих параметров. Особенности новых расчетов является учёт влияния рельефа местности, что не предусмотрено в утвержденных и используемых нормативных документах по расчету зон возможного химического заражения. Работа была проведена на примере химически опасного объекта ПАО «Нижнекамскнефтехим», расположенного по адресу: г. Нижнекамск, Республика Татарстан. Данный объект был выбран, так как он находится в непосредственной близости к трем значимым городам Республики: Нижнекамску, Набережным Челнам и Елабуге. В ходе работы авторы выяснили, что существующая методика даёт значительную погрешность в расчёте глубины зоны возможного химического заражения. Это влечёт за собой ошибки при разработке Плана Гражданской обороны и Плана действий по предупреждению и ликвидации ЧС природного и техногенного характера. Ошибки при разработке данных документов повлекут за собой значительный материальный ущерб и рост человеческих жертв. Во избежание таких последствий авторы предлагают внести изменения в существующие методики расчёта параметров зоны возможного химического заражения, дополнив их данными о рельефе местности в местах расположения химически опасных объектов и близлежащих населённых пунктов и в местах проживания населения на территориях, прилегающих к химически опасным объектам. Сокращение глубины зоны возможного химического заражения позволит органам местного самоуправления снизить затраты на приобретение средств индивидуальной защиты для неработающего населения и учащихся, повысить точность и объективность зоны возможного химического заражения; уточнить количество нуждающихся в медицинской помощи и укрытия.

Ключевые слова: аварийно-химически опасные вещества, заражение местности, паспорт безопасности, прогнозирование чрезвычайных ситуаций, техносфера, чрезвычайная ситуация, химически опасный объект

**CONSIDERATION OF THE INFLUENCE OF THE TERRAIN
IN THE METHODOLOGY FOR CALCULATING AREAS
OF POSSIBLE CHEMICAL CONTAMINATION****Muraveva E.V., Afanasev V.M., Sayfutdinova I.Kh., Khismatova A.T.***Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev – KAI, Kazan,
e-mail: elena-kzn@mail.ru*

In this article, the authors analyzed the existing methods for predicting the parameters of zones of possible chemical contamination, such as RD 52.04.253 – 90, «Toksi», the graphoanalytical method, and repeated calculations of these parameters. The peculiarities of the new calculations are taking into account the influence of the terrain, which is not provided for in the approved and used regulatory documents on the calculation of areas of possible chemical contamination. Key words: emergency chemical substances, contamination of the area, safety data sheet, forecasting of emergency situations, technosphere, emergency situation, chemically dangerous object. The work was carried out on the example of a chemically hazardous facility of PJSC «Nizhnekamskneftekhim», located at the address: Nizhnekamsk, Republic of Tatarstan. This object was chosen because it is located in close proximity to three significant cities of the Republic: Nizhnekamsk, Naberezhnye Chelny and Elabuga. In the course of the work, the authors found out that the existing method gives a significant error in calculating the depth of the zone of possible chemical contamination. This entails mistakes in the development of the Civil Defense Plan and the Action Plan for the prevention and elimination of natural and man-made emergencies. Errors in the development of these documents will entail significant material damage and an increase in human victims. In order to avoid such consequences, the authors propose to make changes to the existing methods of calculating the parameters of the possible chemical contamination zone, adding them with data on the terrain in the locations of chemically hazardous objects and nearby settlements and in areas inhabited by the population in the areas adjacent to chemically hazardous objects. Reducing the depth of the zone of possible chemical contamination will allow local governments to reduce the cost of purchasing personal protective equipment for non-working people and students, and will increase the accuracy and objectivity of the zone of possible chemical contamination; specify the number of people in need of medical care and shelter.

Keywords: emergency chemical substances, contamination of the area, safety data sheet, forecasting of emergency situations, technosphere, emergency situation, chemically dangerous object

Наш современный мир уже невозможно представить без быстрых темпов роста промышленного производства, вслед за ростом которых возрастает доля опасностей, исходящих от техносферы. Технологические

аварии на производстве являются одной из наиболее опасных техногенных катастроф. Наибольший рост числа среди аварий на промышленных объектах, получили химически опасные объекты. Аварии на ХОО

актуальны как в мирное, так и в военное время. Ведь в большинстве случаев они приводят к отравлению и гибели людей, тяжёлым экологическим последствиям.

Потенциальная опасность объектов отражается в паспортах безопасности объектов, муниципальных районов, декларациях промышленной безопасности. Решения по защите населения указываются в первых разделах планов гражданской обороны (ГО) и планов действий по предупреждению и ликвидации последствий ЧС природного и техногенного характера. В них отдельной строкой указывается наличие химически опасных объектов и возможная обстановка в случае возникновения аварии на них.

Под химической обстановкой понимают совокупность последствий химического заражения местности АХОВ, оказывающих влияние на жизнедеятельность людей и работу хозяйственных объектов. Химическая обстановка может возникнуть в результате разлива (выброса) АХОВ или при транспортировке АХОВ [1].

Основными параметрами аварии с АХОВ являются глубина и площадь зоны химического заражения.

Различают фактическую химическую обстановку, выявленную по данным разведки с использованием объективных средств контроля – различных газоанализаторов, и возможную химическую обстановку, выявленную методом прогнозирования, основанным на модельных представлениях и вероятностных расчетах. Фактическая обстановка выявляется после аварии и образования зоны заражения. Химическая обстановка, выявленная методом прогноза, дает только приближенные характеристики химического заражения. Однако она обладает неоспоримым преимуществом – быстротой получения данных о возможном заражении, что обеспечивает своевременное принятие мер по организации защиты людей, помогает выбрать наиболее целесообразные способы действий [2].

Целями прогнозирования ЧС являются заблаговременное получение качественной и количественной информации о возможном времени и месте возникновения ЧС, характере и степени связанных с ними опасностей для населения и территорий и оценка социально-экономических последствий ЧС.

Правильное прогнозирование величины глубины и площади возможного химического заражения имеет важное экономическое

и социальное значение при планировании мероприятий по защите населения и территорий от чрезвычайных ситуаций техногенного и военного характера.

Материалы и методы исследования

Анализ методик и методов прогнозирования параметров зон возможного химического заражения (методики РД 52.04.253 – 90, «Токси», графоаналитический метод) показывает, что наряду с множеством исходных данных и условий, при которых рассчитываются эти параметры, не учитывается такой существенный, на наш взгляд, фактор, как рельеф местности в районах расположения химически опасных объектов и близлежащих населенных пунктов, а также на всей глубине распространения облака, зараженного АХОВ (методика «Токси» учитывает только шероховатость поверхности). При этом предполагается, что облако зараженного воздуха распространяется по горизонтали в направлении воздушного потока [3, 4].

В процесс перемещения разнородных молекул в воздухе на молекулы АХОВ действует целая система сил, в том числе сила веса, подъемная сила и сила давления потока воздуха [5].

Результаты исследования и их обсуждение

Учитывая, что молекулы АХОВ имеют молекулярную массу, отличную от молекулярной массы воздуха, под действием системы сил они будут стараться распространяться или выше плоскости горизонта (аммиак), или ниже данной плоскости (хлор) (рис. 1, 2) [6].

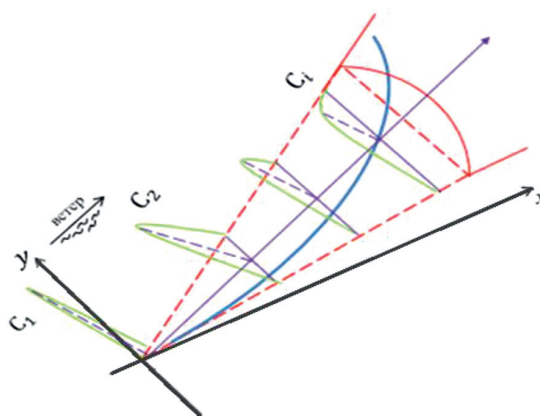


Рис. 1. Схема распространения облака, зараженного аммиаком (а), и изменение его приземной концентрации (C_i)

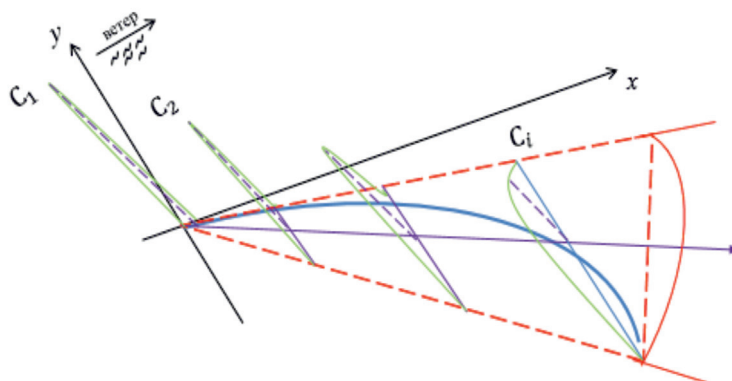


Рис. 2. Схема распространения облака, зараженного хлором (б), и изменение его приземной концентрации (C_i)

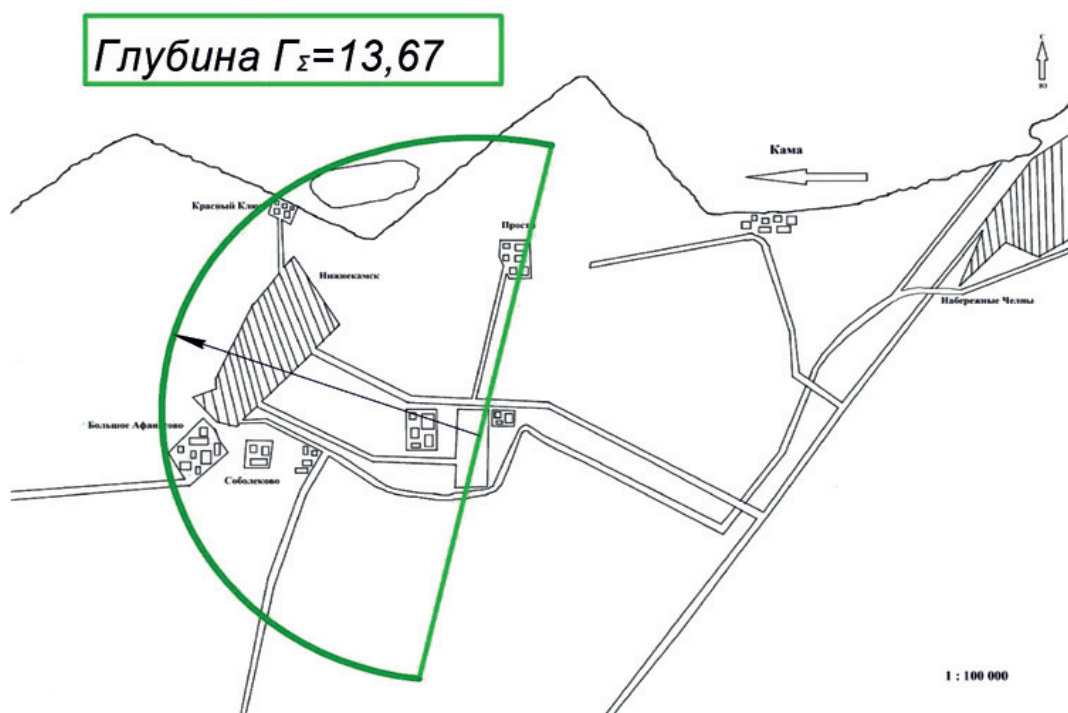


Рис. 3. Зона химического заражения при аварии с проливом хлора

Учёт влияния рельефа местности при расчете зон возможного химического заражения при аварии на химически опасном объекте покажем на примере прогнозирования параметров зоны возможного химического заражения при аварии на ПАО «Нижнекамскнефтехим».

Промышленная площадка ПАО «Нижнекамскнефтехим» отделена от территории г. Нижнекамска 7-километровой санитарно-гигиенической зоной, при

этом наивысшая точка города составляет высоту 135 м над уровнем моря по Балтийской системе, а промышленной площадки – 215 м.

Среднее количество хлора, используемого в технологических процессах на ПАО «Нижнекамскнефтехим», составляет 100 т.

Глубина зоны распространения возможного химического заражения при аварии с выбросом хлора на ПАО «Нижнекамскнефтехим» составит 13,67 км (рис. 3).

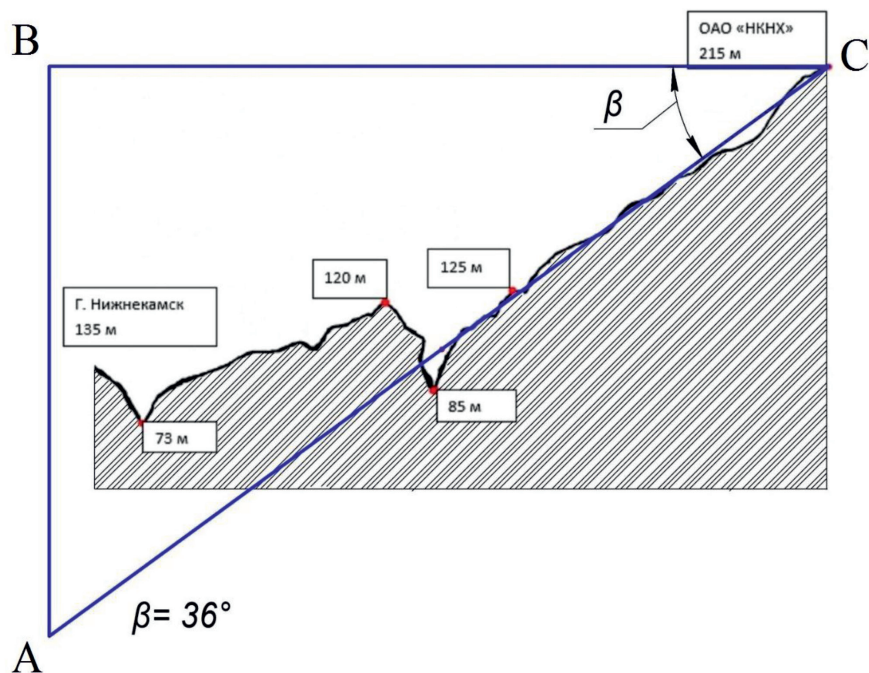
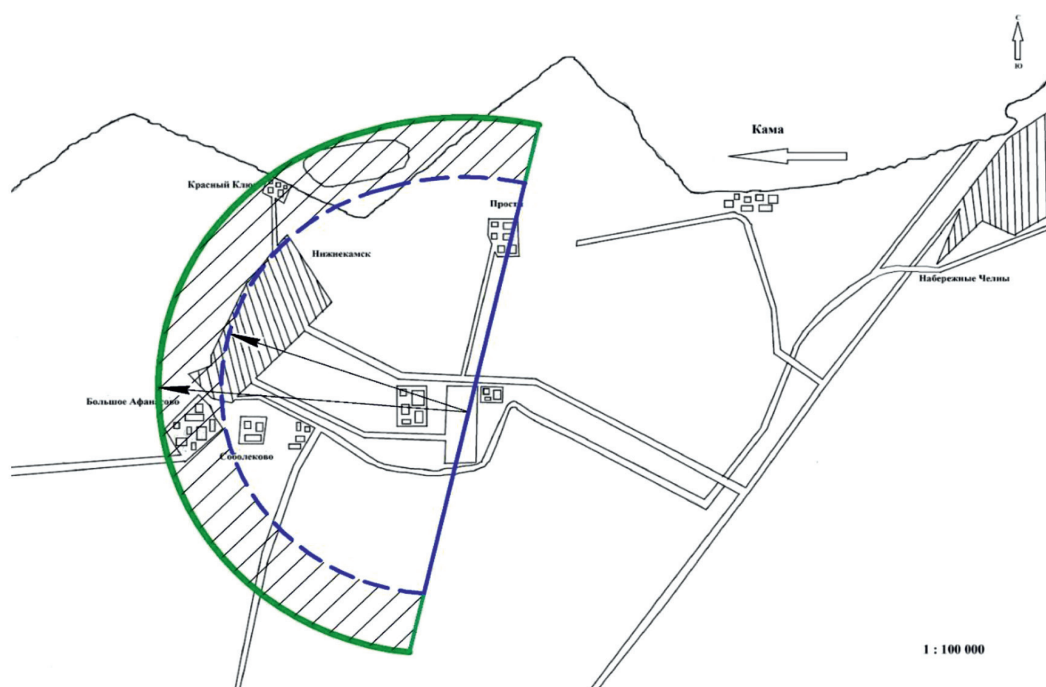


Рис. 4. Определение горизонтальной составляющей распространения облака зараженного воздуха



--- Глубина $\Gamma_{\Sigma}=10,62$

— Глубина $\Gamma_{\Sigma}=13,67$

Рис. 5. Сравнение зон возможного химического заражения при аварии на химически опасном объекте, рассчитанных с учетом и без учета рельефа местности

Наложение величины рассчитанной глубины зоны возможного химического заражения (АС) на профиль рельефа местности и использование тригонометрической формулы $a = c \cdot \cos \beta$ (рис. 4) позволяет определить величину горизонтальной составляющей (ВС) распространения облака зараженного воздуха по направлению к г. Нижнекамску, равную 10,62 км.

Наложение прогнозируемых зон возможного химического заражения без учета рельефа местности и с учетом рельефа на схему взаимного расположения промышленной площадки ПАО «Нижнекамскнефтехим» и г. Нижнекамска (рис. 5) подтверждает правомочность принципа учета рельефа местности при расчете зон возможного химического заражения при аварии на химически опасном объекте [7].

Глубина зоны возможного химического заражения, рассчитанная с учётом рельефа местности, на 3,05 км меньше, чем при традиционном методе расчёта.

Заключение

Сокращение глубины зоны возможного химического заражения позволит органам местного самоуправления снизить затраты на приобретение средств индивидуальной защиты для неработающего населения и учащихся, повысить точность и объективность зоны возможного химического заражения; уточнить количество нуждающихся в медицинской помощи и укрытия; использовать дополнительную «чистую» территорию для размещения элементов РСЧС и ГО [8].

Таким образом, мы считаем, что необходимо внести изменения в существующие методики расчёта параметров зоны возможного химического заражения, дополнив их данными о рельефе местности в местах расположения ХОО и близлежащих населенных пунктов и в местах проживания населения на территориях, прилегающих к ХОО.

Список литературы / References

1. Исаев В.С. Аварийно-химически опасные вещества (АХОВ). Методика прогнозирования и оценки химической обстановки: учебное пособие. М.: Военные знания, 2012. 56 с.
- Isaev V.S. Emergency chemically hazardous substances (АНОВ). Methods of forecasting and evaluating the chemical environment: the textbook. М.: Voennoye znaniya, 2012. 56 p. (in Russian).
2. Соболев А.А., Мельников П.А., Тютюнник А.О. Движение частиц в воздушном потоке // Вектор науки ТГУ. 2011. № 3 (17). С. 82–86.
- Sobolev A.A., Melnikov P.A., Tyutyunnik A.O. The movement of particles in the air stream // Vektor nauki TGU. 2011. № 3 (17). P. 82–86 (in Russian).
3. РД 52.04.253 – 90. Методика прогнозирования масштабов заражения сильнодействующими ядовитыми веществами при авариях (разрушениях) на химически опасных объектах и транспорте. [Электронный ресурс]. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200007358> (дата обращения: 18.06.2019).
4. Методика оценки последствий химических аварий. Методика «Токси» // Методики оценки последствий аварий на опасных производственных объектах: Сборник документов. Серия 27. Выпуск 2. М.: ЗАО «Научно-технический центр исследований проблем промышленной безопасности», 2010. 208 с.
- Methodology for assessing the consequences of chemical accidents. Methods «Toxis» // Metodiki otsenki posledstviy avarii na opasnykh proizvodstvennykh ob'yektakh: Sbornik dokumentov. Seriya 27. Vypusk 2. М.: ЗАО «Nauchno-tehnicheskii tsentr issledovaniy problem promyshlennoy bezopasnosti», 2010. 208 p. (in Russian).
5. Муравьева Е.В., Романовский В.Л. Прикладная техносферная рискология. Экологические аспекты. Казань, 2007. 354 с.
- Muravieva E.V., Romanovskiy V.L. Excludes tier region. Environmental aspects. Kazan, 2007. 354 c. (in Russian).
6. Философский энциклопедический словарь / Гл. ред. Л.Ф. Ильичев, П.Н. Федосеев, С.М. Ковалев. М.: Сов. энциклопедия, 1983. 840 с.
- Philosophical Encyclopedic Dictionary / Gl. red. L.F. Il'ichev, P.N. Fedoseyev, S.M. Kovalev. М.: Sov. Entsiklopediya, 1983. 840 p. (in Russian).
7. Muraveva E.V., Biktemirova E.I., Mironova M.A., Sibgatova K.I., Yusupov R.A., Lenzon V.M. College Students' Ecological Education as a Strategy of Ecological Crisis Overcoming. Life Science Journal. 2014. № 11. P. 486–491.
8. Сумина Е.В., Чалкин Т.А. Роль научно-технического творчества молодежи в построении инновационной инфраструктуры // Вестник Сибирского государственного аэрокосмического университета им. Академика М.Ф. Решетова. 2010. № 6. С. 194–198.
- Sumina E.V., Chalkin T.A. The role of scientific and technical creativity of youth in building the innovation infrastructure // Vestnik Sibirskogo gosudarstvennogo aerokosmicheskogo universiteta im. Akademika M.F. Reshetova. 2010. № 6. P. 194–198 (in Russian).

УДК 550.8:66.022.51:666.965(571.52)

ПОЛУЧЕНИЕ СИЛИКАТНОГО СТЕНОВОГО МАТЕРИАЛА НА ОСНОВЕ ВСКРЫШНОЙ ГОРЕЛОЙ ПОРОДЫ УГЛЕДОБЫЧИ НА ПРИМЕРЕ МЕСТОРОЖДЕНИЙ РЕСПУБЛИКИ ТЫВА

¹Сапелкина Т.В., ²Кара-сал Б.К., ²Стрельников А.Н.¹ФГБУ «Тувинский институт комплексного освоения природных ресурсов» СО РАН,
Кызыл, e-mail: sapelkina_geotom@mail.ru;²Тувинский государственный университет, Кызыл, e-mail: silikat-tgu@mail.ru

В условиях рыночной экономики значительное подорожание тарифов на перевозку качественных сырьевых материалов и энергоресурсов на технологические нужды требует разработки более экономичных и экологически чистых стеновых материалов массового применения. Вместе с тем в стране остро возникает вопрос, связанный с дефицитом природного минерального сырья, используемого для данного вида производства строительных материалов. Решением этой проблемы может стать вовлечение в сырьевую базу минеральных промышленных отходов, а также нетрадиционных материалов природной и техногенной основы. Показана возможность получения силикатного стенового материала неавтоклавного твердения на основе вскрышной горелой породы угледобычи и извести месторождений Республики Тыва. Вскрышные горелые породы угледобычи (глиежи) Чаданского угольного разреза представлены плотными породами аргиллит-алевролитового происхождения, по составу близки к алюмосиликатному сырью с высоким содержанием оксидов кремния и алюминия. В качестве вяжущего использована воздушная известь, полученная обжигом местного известняка – месторождение Хайыраканское, которая относится к первому сорту по содержанию оксида кальция CaO более 90%. Выявлено влияние различных технологических факторов на свойства получаемого материала – оптимальное содержание вяжущего в составе смеси, влажность состава смеси, величина давления прессования и условия твердения получаемых изделий. Установлено, что в зависимости от химико-минералогического и гранулометрического состава сырьевой смеси силикатный стеновой материал с улучшенными свойствами (прочность более 15 МПа) получается при содержании извести 30% с прессованием сырья (30 МПа) и последующим твердением во влажной среде с тепловлажностной обработкой.

Ключевые слова: горелые вскрышные породы, глиежи, известь, технологические факторы, свойства

PRODUCTION OF SILICATE WALL MATERIAL BASED ON OF OVERBURDEN BREEDS ROCKS OF COAL MINING ON THE EXAMPLE OF REPUBLIC TUVA DEPOSIT

¹Sapelkina T.V., ²Kara-sal B.K., ²Strelnikov A.N.¹Tuvianian Institute for Exploration of Natural Resources SB RAS, Kyzyl, e-mail: sapelkina_geotom@mail.ru;²Tuvan State University, Kyzyl, e-mail: silikat-tgu@mail.ru

In a market economy, a significant increase in prices for the transportation of high-quality raw materials and energy resources for technological needs requires the development of more economical and environmentally friendly wall materials for mass use. At the same time, in the country there is an acute question related to the deficit of needs of natural mineral raw materials used for this type of production of building materials. The solution to this problem can be to the involvement of mineral industrial waste as well as non-traditional materials of natural and man-made bases in the raw material base. The possibility of receiving silicate wall material of not autoclave curing on the basis of overburden burned breed of coal mining and lime of fields of the Republic of Tuva is shown. Overburden burnt rocks of coal mining (gliese) of the Chadan coal mine are represented by dense rocks of argillite-siltstone origin in composition close to aluminosilicate raw materials with a high content of silicon and aluminum oxides. The binder was air lime, obtained by calcining local limestone Hairakan deposit, which belongs to the first grade with a calcium oxide content of CaO of more than 90%. Influence of various technology factors on properties of the received material – optimum contents knitting as a part of mix, humidity of composition of mix, size of pressure of pressing and a condition of curing of the received products is revealed. It was established that, depending on the chemical-mineralogical and granulometric composition of the raw mix, silicate wall material with improved properties (strength more than 15 MPa) is obtained at a 30 % lime content with raw pressing (30 MPa) and subsequent hardening in moist environment with the use of heat moist treatment.

Keywords: overburden breeds, gliese, lime, technological factor, properties

В условиях рыночной экономики значительное подорожание тарифов на перевозку качественных сырьевых материалов и энергоресурсов на технологические нужды требует разработки более экономичных и экологически чистых стеновых материалов массового применения. Вместе с тем в стране остро возникает вопрос,

связанный с дефицитом нужд природного минерального сырья, используемого для данного вида производства строительных материалов [1, 2]. Перспективным направлением решения этой проблемы является разработка технологий получения качественной и конкурентоспособной продукции с использованием побочных продуктов

промышленности, что является актуальной научно-технической задачей, решение которой позволит не только увеличить сырьевую базу стройиндустрии, но и решить экологическую проблему.

Одним из перспективных направлений в данной области является производство силикатных изделий неавтоклавного твердения на основе промышленных отходов различного генезиса [3–5].

Силикатные материалы становятся в последнее время более привлекательными для производителей в связи с потенциальными возможностями технологии производства, реализация которых позволит не только снизить себестоимость продукции, но и расширить сырьевую базу стройиндустрии.

Целью данной работы является получение силикатного стенового материала неавтоклавного твердения на основе отходов угледобычи и извести.

При выполнении работы использованы местные сырьевые материалы Республики Тыва, что позволяет получить дешевый и экологически чистый стеновой материал.

В данной работе объектом исследования принята вскрышная горелая порода угледобычи (глиежи) Чаданского угольного разреза, которая не нашла практического применения, а объемы отвалов ежегодно растут, занимая огромные площади земель и загрязняя окружающую среду.

В качестве вяжущего использована воздушная известь, полученная обжигом местного известняка – месторождение Хайыраканское.

Материалы и методы исследования

Исследованная горелая порода имеет розовый, красный и красно-коричневый цвет, структура плотная. Она образована в результате подземного самовозгорания углесодержащих пород, с последующей гидратацией и цементацией различных минералов.

Горелая порода имеет следующие физико-механические свойства: объемная масса щебенистой фракции (10–40 мм) равна 1520 кг/м³, плотность 2610 кг/м³, водопоглощение кускового материала 4,8–5,7%, предел прочности при сжатии 54,3–54,7 МПа. Коэффициент размягчения равен 0,84.

Анализ химического состава глиежей, представленного в табл. 1, показывает, что содержание основных оксидов характерно для алюмосиликатного природного сырья.

Содержание основного оксида кремния, участвующего в образовании силикатов, более 76% оценивается как среднее значение. Местные глиежи отличаются повышенным содержанием железистых соединений. Поэтому данные породы можно отнести к кремнеземисто-железистым группам. Доля Al₂O₃ менее 13% – и сырье относится к кислым породам. Концентрация щелочеземельных оксидов (CaO и MgO) является низкой, до 2%.

Рентгенофазовым анализом, выполненным на дифрактометре ДРОН – 4 и методом электронной микроскопии (Hitachi TM-1000) в составе вскрышной горелой породы обнаружены следующие минералы: кварц (d/n = 4,25; 3,34; 2,46; 2,28; 2,24; 2,13; 1,98; 1,92; 1,67 Å); ортоклаз (d/n = 6,75; 6,60; 3,90; 3,25 Å) и слюда с низким содержанием (d/n = 9,95; 5,00; 4,48; 2,56; 1,99 Å). Связующая масса состоит из изотропной стеклофазы и бурых железистых соединений – гематита (d/n = 3,68; 2,70; 2,51; 2,20; 1,84; 1,69; 1,48 Å). О высокой степени самообжига породы свидетельствует низкая потеря массы при прокаливании (1,82–2,41%).

Определение остатков угольных частиц методом изменения цвета обрабатываемого раствора согласно методике в работе [6] показало, что содержание углистых примесей в породе составляет менее 1,5%, так как окраска раствора остается без изменений в течение суток. Данные выводы подтверждены и результатами дифференциально-термического анализа (рис. 2), где на кривой ДСК не отмечены температурные пики, что свидетельствует о термической инертности горелой породы, а процесс потери массы (кривая ТГ) связан с удалением кристаллизационной воды из структуры минерала, который наиболее интенсивно протекает до 600 °С.

Использованная местная известь по содержанию оксида кальция относится к первому сорту, где содержание CaO по ГОСТ 9179-79 более 90%.

Таблица 1

Химический состав глиежей

SiO ₂	Al ₂ O ₃	TiO ₂	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	P ₂ O ₅	MnO
76,25	7,02	1,67	10,98	1,03	0,49	1,86	0,39	0,25	0,06

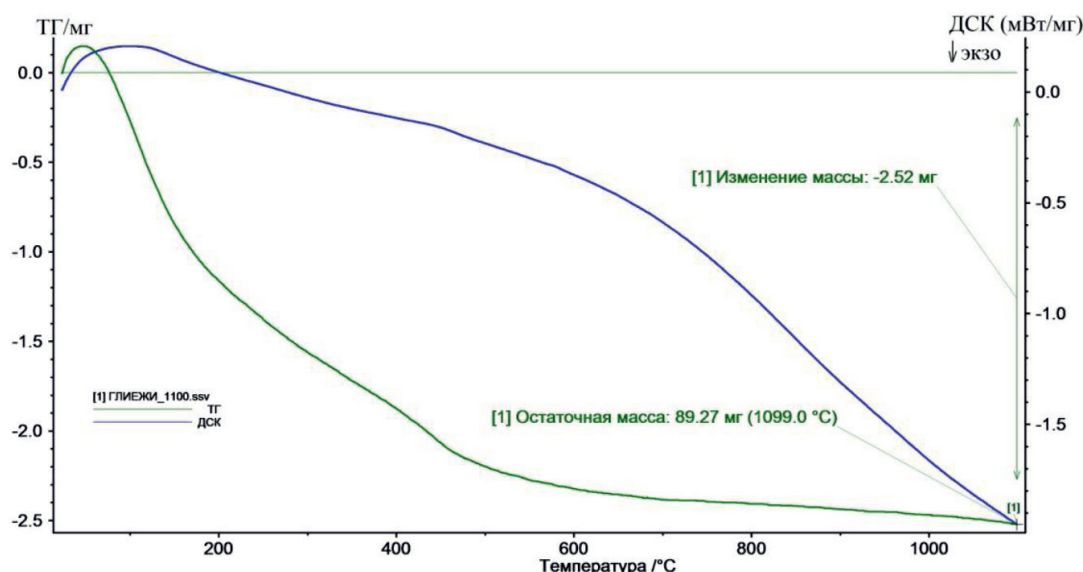


Рис. 2. Кривые ДСК-ТГ горелой породы

По данным химического состава извести – пушонки, представленного в табл. 2, содержание СаО равно 98,04%, что свидетельствует о высокой степени чистоты местных известняков.

Таблица 2

Химический состав извести

Массовое содержание оксидов, %						
SiO ₂	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	MnO
0,91	0,11	98,04	0,30	0,33	0,30	0,01

Работа выполнялась по следующей методике. Порода глиежей подвергалась дроблению в щековой дробилке и просеивалась через сито 0,31 мм.

Обожженная при 1000 °C и гашеная известь, после сушки и измельчения просеяна через сито с размерами ячейки 0,14 мм. Для приготовления известково-глиежевой смеси содержание извести изменялось от 10 до 40 % по массе.

Из увлажненной смеси измельченной горелой породы и извести влажностью 10 % изготовлены образцы – цилиндрики диаметром и высотой 50 мм при различных давлениях прессования. Твердение образцов проводилось в естественных условиях на воздухе, во влажной среде (над водой) и при тепловлажностной обработке. Определение физико-механических свойств полученных образцов проводилось согласно общепринятым методикам [7].

Результаты исследования и их обсуждение

При получении силикатного стенового материала неавтоклавного твердения сначала выявлено оптимальное содержание извести в составе смеси. В табл. 3 приведены физико-механические свойства образцов в зависимости от количества вяжущего вещества.

Необходимо отметить, что образцы изготовлены из смеси влажностью 10% при давлении 1 МПа. Твердение изделий проводилось в естественных условиях – на открытом воздухе.

Выявлено, что с увеличением количества извести в составе смеси объемная масса образцов постепенно изменяется с 1,51 г/см³ при 10% вяжущего до 1,36 г/см³ – когда доля извести составляет 40%. Установлено, что чем больше содержание извести, тем прочнее получаемые изделия. Если предел прочности при сжатии образцов с содержанием 10% извести равен 1,04 МПа, то с увеличением доли вяжущего до 30 и 40% прочность изделий достигает 2,31–2,46 МПа соответственно. В данном случае повышение прочности образцов связано с твердением известково-глиежевой смеси за счет кристаллизации гидроксида кальция из насыщенного раствора Са(ОН)₂ и частичной карбонизации гидроксида кальция с углекислым газом воздуха и образованием карбоната кальция СаСО₃.

Таблица 3

Свойства образцов в зависимости от содержания извести ($P = 1$ МПа)

№ п/п	Состав смеси	Объемная масса, г/см ³	Водопоглощение, %	Прочность при сжатии, МПа
1	глиеж – 90% известь – 10%	1,51	19,8	1,04
2	глиеж – 80% известь – 20%	1,46	18,6	1,89
3	глиеж – 70% известь – 30%	1,41	17,7	2,31
4	глиеж – 60% известь – 40%	1,36	17,2	2,46

Таблица 4

Свойства образцов в зависимости от давления прессования

Давление	Объемная масса, г/см ³	Водопоглощение, %	Прочность при сжатии, МПа
1	1,41	17,7	2,31
10	1,54	16,2	10,4
20	1,58	15,3	14,1
30	1,62	14,5	17,9
40	1,64	14,1	18,4

С повышением количества извести в смеси постепенно уменьшается водопоглощение образцов, что связано с увеличением доли новообразований (гидроксида кальция и карбоната кальция) и уменьшением объема межзерновых пустот.

Оптимальным содержанием извести в составе смеси следует считать 30 % так как, когда доля вяжущего составляет 40 %, существенного роста прочности не наблюдается и снижается водопоглощение изделий.

Как известно, силикатные стеновые материалы в основном получают путем прессования сырьевой смеси при определенном давлении. Изучение влияния величины давления на свойства получаемых изделий показало, что с ростом удельного давления прессования повышается объемная масса и прочность изделий, а водопоглощение образцов постепенно снижается.

Как видно из табл. 4, повышение величины удельного давления прессования с 1 до 20, 30 и 40 МПа вызывает увеличение средней плотности (объемная масса) образцов с 1,41 до 1,58; 1,62 и 1,64 г/см³ соответственно, а предел прочности при сжатии изделий достигает от 2,31 МПа до 14,1; 17,9 и 18,4 МПа соответственно.

Повышение прочности образцов при прессовании происходит за счет смещения твердых частиц в смеси относительно друг друга и их сближением. При этом на начальном этапе из смеси удаляется воздух и наблюдается максимальный рост де-

формаций с уплотнением при увеличении давления прессования. С возрастанием давления вязкая известковая связка заполняет межзерновое пространство и увеличивает контактную поверхность между частицами. Соответственно, при твердении в уплотненной известковой связке между твердыми частицами образуются большие кристаллы гидроксида кальция и карбоната кальция, обеспечивающие прочность стенового материала.

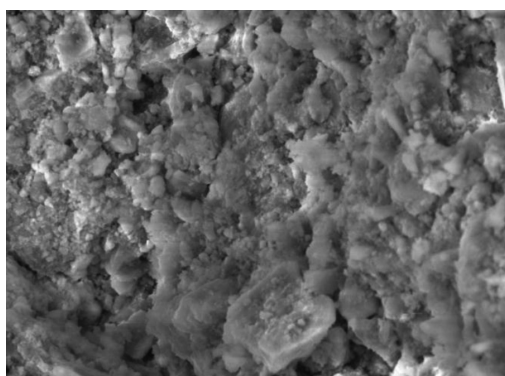
С учетом характера изменения основных характеристик затвердевшего силикатного материала оптимальной величиной удельного давления прессования для данной известково-глиежевой смеси является 30 МПа. Дальнейшее повышение давления до 40 МПа не вызывает существенного уплотнения и роста прочности материала.

Исследование условий твердения изделий на основе известково-глиежевой смеси показало, что тепловлажностная обработка сырца способствует формированию более плотной структуры и повышению прочности силикатного материала [8, 9]. Анализ физико-механических свойств образцов, затвердевших в различных условиях, показал (табл. 5), что изделия подвергнутые к тепловлажностной обработке при температуре 90–95 °С в течение 8 ч более плотные (объемная масса 1,66 г/см³) и прочные (27,4 МПа) по сравнению с аналогами затвердевших на воздухе и во влажной среде (над водой в эксикаторе).

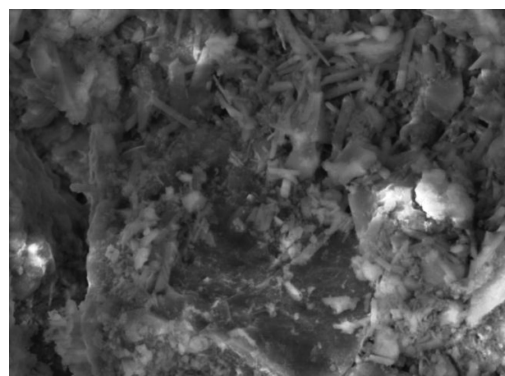
Таблица 5

Свойства образцов в зависимости от условий твердения ($P = 30$ МПа)

Условия твердения	Объемная масса, г/см ³	Водопоглощение, %	Прочность при сжатии, МПа
На воздухе	1,62	14,5	17,9
Во влажной среде	1,63	13,1	19,8
Тепловлажностная обработка	1,66	11,8	27,4



а)



б)

Рис. 3. Микроструктура образцов, затвердевших:
а – после тепловлажностной обработки; б – при нормальных условиях

Повышенная прочность образцов, прошедших тепловлажностную обработку, связана с образованием низкоосновных гидросиликатов кальция за счет извести и тонкодисперсного кварца, что обеспечивает водостойкость и гидравлические свойства изделиям.

Изучение микроструктуры образцов показало, что при тепловлажностной обработке с последующим твердением в структуре изделий наблюдается в значительном количестве цементирующая связка между твердыми зёрнами, что обеспечивает их прочное сцепление между собой с уменьшением объема внутренней пористости материала (рис. 3, а).

В структуре образцов затвердевших в нормальных условиях наблюдаются отдельные твердые зёрна и их микроагрегаты, недостаточно сцементированные между собой (рис. 3, б).

Заключение

Таким образом, на основе отходов угледобычи – глиежей с известью без традиционной автоклавной обработки получен силикатный стеновой материал. Использованное сырье, ранее подвергнутое самовозгоранию

и после механообработки, приобретает тонкодисперсное и частично аморфное состояние, активно взаимодействует с известью в условиях тепловлажностной обработки при 90–95 °С с образованием низкоосновных гидросиликатов кальция, что приводит к получению материала плотной структуры и прочностью более 15 МПа. При прессовании смеси обеспечивается плотная упаковка твердых зёрен и между ними в гелевидной известковокремнеземистой связке образуются низкоосновные гидросиликаты кальция, обладающие гидравлическими свойствами.

Применение вскрышной горелой породы угледобычи расширяет сырьевую базу для производства силикатных стеновых материалов, но и решает проблему утилизации отходов промышленности.

Список литературы / References

1. Майдукова С.С. Экономическая целесообразность использования ресурсного потенциала минеральной составляющей отходов угольного производства // *Економічний вісник*. 2013. № 3. С. 145–153.
2. Maydukova S.S. The economic feasibility of using the resource potential of mineral component of coal production wastes // *Ekonomichnyi visnik*. 2013. № 3. P. 145–153 (in Russian).
3. Буравчук Н.И. Ресурсосбережение в технологии строительных материалов: учебное пособие. Ростов н/Д.: Изд-во ЮФУ, 2009. 224 с.

Buravchuk N.I. Resource conservation in the technology of building materials: a training manual. Rostov n/D.: Izd-vo YUFU 2009, 224 p. (in Russian).

3. Шинкевич Е.С., Луцкий Е.С. Технологические особенности производства силикатных изделий неавтоклавного твердения // Строительные материалы. 2008. № 11. С. 54–56.

Shinkevich E.S., Lutskin E.S. Technological features of the production of non-autoclaved silicate products // Stroitel'nyye materialy. 2008. № 11. P. 54–56 (in Russian).

4. Урханова Л.А. Повышение эффективности производства силикатных материалов и изделий использованием механохимической активации известково-кремнеземистых вяжущих // Техника и технология силикатов. 2011. Т. 18. № 2. С. 2–6.

Urkanova L.A. Increasing of effectiveness production silicate materials and wares by using of mechanochemical activation of lime-silica binders // Tekhnika i tekhnologiya silikatov. 2011. V. 18. № 2. P. 2–6. (in Russian).

5. Фролова М.А., Морозова М.В., Айзенштадт А.М., Тутыгин А.С. Алюмосиликатное вяжущее на основе сапунитсодержащих отходов алмазодобывающей промышленности // Строительные материалы. 2017. № 7. С. 68–70.

Frolova M.A., Morozova M.V., Ayzenshtadt A.M., Tutigin A.S. An Aluminum-Silicate Binder on the Basis of Sap-

onite-Containing Waste of Diamond Industry // Stroitel'nyye materialy. 2017. № 7. P. 68–70 (in Russian).

6. Книгина Г.И. Строительные материалы из горелых пород. М.: Стройиздат, 1966. 207 с.

Knigina G.I. Burned building materials. M.: Stroyizdat, 1966. 207 p. (in Russian).

7. Попов Л.Н. Лабораторные испытания строительных материалов и изделий. М.: Высш. школа, 1984. 168 с.

Popov L.N. Laboratory tests of building materials and products. M.: Vyssh. Shkola, 1984. 168 p. (in Russian).

8. Тихомирова И.Н., Макаров А.В. Механизм фазообразования и твердения механоактивированных известково-кварцевых смесей при тепловлажностной обработке // Строительные материалы. 2013. № 1. С. 44–49.

Tikhomirova I.N., Makarov A.V. The mechanism of phase formation and hardening of mechanically activated lime-quartz mixtures during heat-moisture treatment // Stroitel'nyye materialy. 2013. № 1. P. 44–49 (in Russian).

9. Котляр В.Д., Явруян Х.С. Стеновые керамические изделия на основе тонкодисперсных продуктов переработки терриконов // Строительные материалы. 2017. № 4. С. 38–41.

Kotlyar V.D., Yavruyan Kh.S. Wall Ceramic Articles on the Basis of Fine-Disperse Products of Waste Pile Processing // Stroitel'nyye materialy. 2017. № 4. P. 38–41 (in Russian).

УДК 911.3:331.556.2

ПОДВИЖНОСТЬ НАСЕЛЕНИЯ КАК ТРАНСПОРТНО-ГЕОГРАФИЧЕСКАЯ ПРОБЛЕМА

Семина И.А.

ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Мордовский государственный университет имени Н.П. Огарева», Саранск, e-mail: Isemina@mail.ru

Среди исследовательских проблем выделяется по общегеографическому значению проблема подвижности населения. Подвижность населения – один из главных параметров в транспортном планировании. Изучение факторов и закономерностей, определяющих размер, пространственную дифференциацию и размещение пассажирооборота, – основная цель исследования. Задачами явились: региональный анализ подвижности населения, выявление факторов влияющих на нее, проведение исследования на примере Республики Мордовия и регионов России. Применялись методы: сравнительно-географический, статистический, картографический, а также проблемный, системный, комплексный и полимасштабный подходы. Подвижность населения зависит от общего уровня экономического развития и хозяйственной структуры региона, системы пространственно-экономических связей, жизненного уровня населения и его культуры, расселения – плотности населения, его распределения между населенными пунктами различной плотности и типов, их взаимного расположения. Большое влияние на величину подвижности населения оказывают транспортные условия: скорость сообщения, пассажирские тарифы, частота расписания движения, надежность и безопасность сообщения, удобства для пассажиров. Транспортно-географическая проблема в изучении подвижности населения заключается в разнообразии факторов и условий, влияющих на нее, мозаичности территорий перемещения и пространственной дифференциации регионов Российской Федерации, которые имеют различные социально-экономические условия хозяйствования и жизнедеятельности людей. Исследование проводилось по регионам России, рассчитывалась подвижность населения автомобильным и железнодорожным транспортом, более подробно материал дифференцировался и картографировался по административным районам Республики Мордовия. Временной период составил 27 лет – с 1990 г. по 2017 г., промежуточным явился 2007 г.

Ключевые слова: подвижность населения, пассажирооборот, автомобилизация, факторы, условия жизни, транспорт

THE MOBILITY OF THE POPULATION AS TRANSPORT AND GEOGRAPHICAL PROBLEM

Semina I.A.

*Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education
«National Research Ogarev Mordovia State University», Saransk, e-mail: Isemina@mail.ru*

Among the research issues highlighted at the General value problem of the mobility of the population. Population mobility is one of the main parameters in transport planning. The main purpose of the study is to study the factors and laws that determine the size, spatial differentiation and placement of passenger traffic. The objectives were: regional analysis of population mobility, identification of factors affecting it. Methods were used: comparative-geographical, statistical, cartographic, as well as problematic, systematic, integrated and multi-scale approaches. The mobility of the population depends on the General level of economic development and economic structure of the region, the system of spatial and economic relations, living standards of the population and its culture, settlement – population density, its distribution between settlements of different population and types, their mutual location. Transport conditions have a great influence on the mobility of the population: the speed of communication, passenger tariffs, frequency of the schedule, reliability and safety of communication, convenience for passengers. Transport and geographical problem in the study of population mobility is a variety of factors and conditions affecting it, the mosaic of territories of movement and spatial differentiation of the regions of the Russian Federation, which have different socio-economic conditions of management and human activity. The study was conducted in the regions of Russia, the material was differentiated and mapped in more detail in the administrative regions of the Republic of Mordovia. The time period was 27 years – from 1990 to 2017, the intermediate was 2007.

Keywords: mobility of the population, passenger traffic, motorization, factors, living conditions, transport

Среди исследовательских проблем географии транспорта выделяется по своему общегеографическому значению проблема подвижности населения. Она изучается в географии пассажирских перевозок и социальной географии транспорта [1, 2], представляет собой сложное общественное явление, зависящее от ряда общеэкономических и социально-культурных факторов [3–5].

Обычно в литературе утверждается, что транспортная подвижность населения зависит от следующих факторов: демографический и социальный состав населения [6, 7], уровень его доходов, культурный уровень, ценностная ориентация [8–10], стиль и темп жизни. С этим можно согласиться, но следует подчеркнуть, что значимость приведенных факторов неодинакова. Так, влияние культурного уровня на подвижность насе-

ния определяется как большая потребность бывать в театрах, музеях и так далее. Но согласно статистическим данным в 2016 г. на одного жителя страны пришлось по 4,87 посещений театров и 0,84 посещений музеев [11], что не могло оказать ощутимого влияния на подвижность населения.

На уровень потребления транспортных услуг оказывают влияние стиль и темп жизни (индивидуальные склонности, круг интересов, наличие детей в семье), степень занятости и, соответственно, наличие времени на совершение передвижений [12, 13]. Рассмотренную группу факторов можно назвать факторами спроса на услуги пассажирского транспорта, который включает в себя как удовлетворенный, так и неудовлетворенный (предъявленный и непредъявленный) спрос.

Другая группа факторов – это факторы предложения услуг пассажирского транспорта (чисто транспортные факторы) [7, 13, 14]. Часто данные факторы сводят только к качественной стороне транспортного обслуживания населения (скорость, регулярность, надежность, безопасность, комфорт и т.д.).

Подвижность населения – один из главных параметров в географии транспорта и транспортном планировании. Изучение факторов и закономерностей, определяющих размер, пространственную дифференциацию и размещение пассажирооборота – основная цель данного исследования. Задачами явились: региональный анализ подвижности населения, выявление факторов влияющих на неё, проведение исследования на примере Республики Мордовия и регионов России.

Материалы и методы исследования

При изучении подвижности населения на примере регионов России применялись методы: сравнительно-географический, статистический, картографический, а также системный, комплексный и полимасштабный подходы при пространственном анализе на региональном и муниципальном уровнях.

Исследование проводилось по регионам России, где особый интерес представляла группа проблемных послекризисных регионов, и более подробно материал дифференцировался и картографировался по административным районам Республики Мордовия. Временной период составил 27 лет – с 1990 по 2017 г., промежуточным явился 2007 г. Автором была рассчитана транспортная подвижность населения по

регионам России, которая представляла собой:

1) среднее число поездок, совершаемых жителем железнодорожным транспортом общего пользования в год в 1990, 2007 и 2017 гг.

2) среднее число поездок, совершаемые жителем автобусами общего пользования в год в 1990, 2007 и 2017 гг.

Рассчитывалась подвижность населения по каждому региону, включенному в список статистики на данный год. Показатель перевозки пассажиров делился на численность населения, получалось в результате среднее число поездок, приходящееся на одного жителя в год. Региональный анализ специфики перевозок пассажиров и формирования пассажирооборота позволил выявить факторы, влияющие на транспортную подвижность населения.

Комплексный подход применялся с учетом видов транспорта, проблемный подход – при исследовании особой группы проблемных регионов. Полимасштабный подход позволил рассмотреть проблему транспортной подвижности населения на региональном и муниципальном уровнях.

Результаты исследования и их обсуждение

На основе полученных расчетов была составлена группировка регионов России по показателю транспортной подвижности населения, обслуживаемого железнодорожным транспортом общего пользования в 1990, 2007 и 2017 гг. В 1990 г. большинство российских регионов вошли в группу, где в среднем на одного жителя приходилось 12 и более поездок в год. Наименьшее количество поездок (до 2) совершалось в таких регионах, как Республика Адыгея, Карачаево-Черкессия, Кабардино-Балкария, Дагестан.

В 2007 г. и 2017 г. российские регионы утратили свои позиции в сторону уменьшения анализируемого показателя по сравнению с 1990 г. (таблица). Исключение не составили и г. Москва, г. Санкт-Петербург, Ленинградская и Московская области. Свои позиции сохранили в проблемных регионах по транспортной подвижности с 2007 г. по 2017 г. ЕАО, Ивановская область. Для этого типа регионов наибольшее число поездок отмечалось в Брянской области, Приморском крае, Владимирской области, Ставропольском крае, Иркутской области, Алтайском крае. Наименьшее число поездок было совершено в республиках Карачаево-Черкессии, Кабардино-Балкарии, Дагестане,

Адыгее. Число поездок в регионах этого типа на данный год – не более 22.

Анализ транспортной подвижности населения, обслуживаемого железнодорожным транспортом в 2007 г., показал, что число поездок уже составляет не более 12. Брянская область уступила место Иркутской области (11,9 поездок), за ней следовали ЕАО (10,4 поездок), Владимирская область (8,2 поездки), Алтайский край (7,8 поездок), Кировская область (7,2 поездки). Наименьшее количество поездок (менее одной на жителя в год) было характерно для республик Карачаево-Черкессии, Дагестана, Адыгеи, Кабардино-Балкарии. В 2017 г. этот показатель продолжал снижаться по всем регионам страны в «разбеге» – максимум 39,9 поездок в Московской области и минимум менее одной поездки в год (таблица). Термин проблемный регион утратил свою значимость, ввиду позитивного позиционирования регионов в социально-экономическом пространстве страны, но ситуация для этих территорий сохранилась на уровне ниже общероссийского и составила в среднем одну поездку в год (Ульяновская, Ивановская области и др.).

Изменение показателя транспортной подвижности населения, обслуживаемого железнодорожным транспортом общего пользования на примере регионов России с 1990 по 2017 г.

Регионы России	1990 г.	2007 г.	2017 г.
Ульяновская область	3,2	1,7	0,8
Ивановская область	3,8	2,5	0,9
Республика Мордовия	7,0	2,9	1,1
Ставропольский край	14,3	4,0	1,9
Брянская область	21,9	6,6	5,1
Ленинградская область	129,0	23,0	14,8
Московская область	88,0	34,0	39,9

Анализ данных транспортной подвижности населения обслуживаемого автобусами общего пользования в регионах России показал, что в 2017 г. по сравнению с 1990 г. произошло общее снижение транспортной подвижности населения автобусами в среднем в 3,5 раза. Наибольшее число поездок в 1990 г. было совершено в регионах: Курганской области, республиках Кабардино-Балкария, Марий Эл и Амурской области. Наименьшее число поездок характерно для Республики Адыгея, Читинской области, республик Карачаево-Черкессия и Дагестан.

В 2007 г. число поездок автобусами на одного жителя в проблемных регионах составило не более 70. Наибольшее их число характерно для Республики Марий Эл,

Брянской, Курганской, Владимирской областей. Наименьшее количество поездок приходилось на республики Дагестан и Адыгея, Ульяновскую область.

В 2017 г. практически все регионы имели среднее число поездок на одного жителя менее 100, за исключением г. Москвы, г. Санкт-Петербурга, Курской, Омской, Тюменской, Нижегородской областей, Пермского края. В то время как в 1990 г. это число составляло для проблемных регионов не более 250 поездок на одного жителя, для других – значительно больше.

Проведенный анализ показал, что в Российской Федерации произошло существенное снижение транспортной подвижности населения обслуживаемого как железнодорожным транспортом, так и автобусами общего пользования. Снижение потребления транспортных услуг связано с растущей безработицей и уменьшением доходов населения в большинстве российских регионов сразу после кризиса 1990-х гг., а в 2017 г. – с постоянно растущей автомобилизацией населения и развитостью торговых услуг.

На примере Республики Мордовия был рассчитан коэффициент подвижности населения, обслуживаемого автобусным транспортом, по административным районам, который также отражает среднее число поездок, совершаемое жителем района за год (рисунок). Поездки, в которых в Мордовии ежедневно участвует большое количество людей, формируются и развиваются как своеобразная реакция населения на несбалансированность и некомплектность среды жизнедеятельности и социально-экономического развития в местах постоянного обитания, особенно это проявляется в сельской местности, где не развиты с учетом потребностей населения, прежде всего, образовательные и медицинские услуги. Применение системного подхода и комплексное рассмотрение данной проблемы позволило выявить пространственные различия на территории современной Мордовии в транспортной подвижности населения. Практически в каждом районе Республики Мордовия пассажирские связи генерируются, прежде всего, основными промышленными и административно-культурными центрами и носят маятниковый характер. Общий уровень подвижности (по частоте поездок в пригородном сообщении) более высок в ареалах, формирующихся вокруг административных центров.

При выявлении факторов, влияющих на подвижность населения в Республике Мордовия, было установлено, что особое значе-

ние имеет количественная сторона предложения транспортных услуг. И это относится не только к изучению влияния общественного транспорта, но и к личным средствам транспорта. В семьях, имеющих автомобиль личного пользования, подвижность выше, чем в семьях без автомобиля [13]. Сказывается сильное влияние экономического фактора, когда автомобилизация населения в регионах страны неуклонно возрастает, и автомобиль становится не роскошью, а средством передвижения. Чем выше достаток, тем больше обеспеченность личным транспортом, выше подвижность людей, ниже подвижность населения использующего общественный транспорт. Эта тенденция усложняет процесс исследования, проявляется многоплановость проявления разнообразных факторов, что делает подвижность населения проблематичным компонентом в географии транспорта и усиливает значимость решаемых задач. Социальный фактор наряду с экономическим имеет место быть – среди некоторых групп населения наличие автомобиля повышает статус человека, а также, делает его более мобильным. Не менее важный фактор – потребительский.

В Республике Мордовия экономический фактор играет решающую роль, сильно влияние потребительского и социального факторов [7, 13, 14]. В то время как в Республике Башкортостан решающими условиями выступают потребительский и социальный факторы, в Самарской области к таковым добавляется и географическое положение [7].

Рисунок показывает транспортную подвижность населения административных районов Мордовии. Среди всех районов республики выделяются Рузаевский и Инсарский. По количеству единиц пассажирского автотранспорта по автотранспортным предприятиям – Рузаевский, Чамзинский, Атяшевский, Ардатовский, Темниковский, Краснослободский, Ковылкинский районы Республики Мордовия. Это районы, выделяющиеся по численности населения и величине населенных пунктов более крупного размера с очагами экономической деятельности, что в большей степени определяет подвижность населения в отличие от количества единиц пассажирского транспорта.

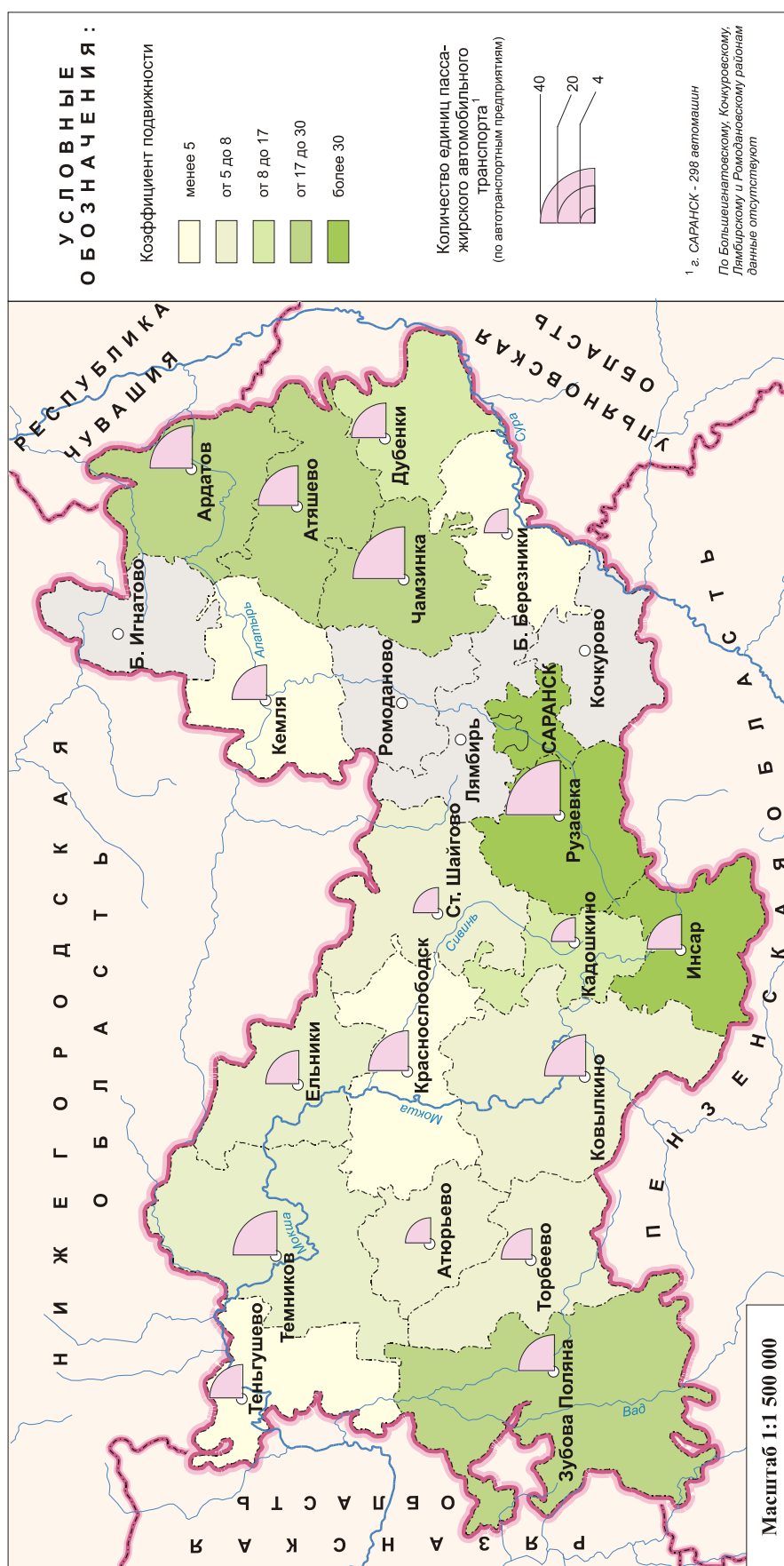
Заключение

Подвижность населения можно считать индикатором сложившейся территориальной организации и специализации места деятельности людей. Моноотраслевая экономика углубила кризисные явления сразу после

1990-х гг. и значительно снизила подвижность населения, в то время как диверсифицированное хозяйство, например, в таких регионах, как Ленинградская и Московская области, стабилизировало социально-экономическую ситуацию (таблица). На уровень потребления транспортных услуг влияет степень занятости, уровень доходов населения и развитость сферы услуг. В регионах России проблемного типа подвижность населения ниже, чем в развитых и относительно развитых. Поскольку экономический фактор приоритетно влияет на транспортную подвижность населения, то он ограничивает и мобильность людей. Социальный и потребительский факторы проявляются больше в регионах с уровнем социально-экономического развития выше среднего. В Республике Мордовия периферийные районы имеют меньшую мобильность населения, нежели районы с развитым промышленно-аграрным комплексом и большей численностью населения.

Таким образом, подвижность населения существенно зависит от общего уровня экономического развития и хозяйственной структуры региона и района (или населенного пункта), от системы пространственно-экономических связей в пределах изучаемой территории и между нею и другими районами и пунктами; от жизненного уровня населения и его культуры (не только в среднем, но и дифференцированных по составу); от расселения – плотности населения, его распределения между населенными пунктами различной людности и типов, их взаимного расположения. Экономический, социальный, технический и потребительский факторы приоритетно определяют подвижность населения в регионах России.

Большое влияние на величину подвижности населения также оказывают транспортные условия: скорость сообщения, пассажирские тарифы (не только средний уровень тарифов, но и их дифференциация по дальности, скорости сообщения, направлениям и т.д.), частота расписания движения, надежность и безопасность сообщения, удобство для пассажиров. Виды транспорта конкурируют между собой за выбор их населением, предлагая различные маршруты и совершенствуя подвижной состав, но доходность становится главным критерием для организаторов транспортного обслуживания и получателя услуг пассажирского транспорта – населения. Нормативность современного обслуживания людей транспортом стремится к рациональности данного процесса, что не всегда удовлетворяет спрос на услуги транспорта, особенно в сельской местности.



Транспортная подвижность населения административных районов Республики Мордовия, 2017 г. Примечание. Выполнено при помощи студентов направления подготовки «Картография и геоинформатика» и преподавателей кафедры геодезии, картографии и геоинформатики ФГБОУ ВО «МГУ им. Н.П. Огарева»

Транспортно-географическая проблема в изучении подвижности населения заключается в разнообразии условий и факторов, влияющих на нее, мозаичности территорий перемещения и пространственной дифференциации регионов Российской Федерации, которые имеют различные социально-экономические условия хозяйствования и жизнедеятельности людей.

Список литературы / References

1. Пухова А.Г., Беляева Т.К. Анализ современной демографической ситуации в Нижегородской области // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2015. № 12–10. С. 1893–1895.
1. Pukhova A.G., Belyaeva T.K. Analysis of the present demographic situation in the Nizhny Novgorod region // International journal of applied and fundamental research. 2015. № 12–10. P. 1893–1895 (in Russian).
2. Крылов П.М. Роль транспортной инфраструктуры в устойчивом развитии и территориальном планировании региона (транспортно-географический аспект) // Вестник Московского государственного областного университета. Серия: Естественные науки. 2017. № 2. С. 50–58. DOI: 10.18384/2310-7189-2017-2-50-58.
2. Krylov P.M. Role of transport infrastructure in sustainable development and territorial planning of the region (transport and geographical aspect) // Bulletin of the Moscow Region State University. Series: Natural Sciences. 2017. № 2. P. 50–58 (in Russian).
3. Крылов П.М. Транспортная уязвимость населения России в начале XXI в. // Известия Российской академии наук. Серия географическая. 2012. № 1. С. 26–35.
3. Krylov P.M. Transport vulnerability of the Russian population in the early XXI century // Proceedings of the Russian Academy of Sciences. Series geographical. 2012. № 1. P. 26–35 (in Russian).
4. Тархов С.А. Изменение связности пространства России (на примере авиапассажирского сообщения). Москва, Смоленск: Ойкумена, 2015. 154 с.
4. Tarkhov S.A. Spatial connectivity of Russia: air passengers flow's case. Moscow, Smolensk: Oykumena, 2015. 154 p. (in Russian).
5. Тархов С.А. Эволюция транспортных сообщений между Москвой и Санкт-Петербургом // Экономический журнал. 2015. № 1 (37). С. 177–188.
5. Tarkhov S.A. Evolution of transport links between Moscow and St. Petersburg // Economic journal. 2015. № 1 (37). P. 177–188 (in Russian).
6. Салькаева Д.Ф. К вопросу о развитии третичного сектора экономики города (на примере г. Саранска) // XLIV Огаревские чтения. Материалы научной конференции. в 3-х частях: Естественные науки / отв. за вып. В.П. Сенин. Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 2016. С. 350–354.
6. Saltaeva D.F. On the development of the tertiary sector of the economy of the city (by the example of Saransk) // XLIV Ogarevskiy chteniye. Materialy nauchnoy konferentsii. v 3-kh chastyakh: Yestestvennyye nauki / otv. za vyp. V.P.Senin. Saransk: Izd-vo Mordov. un-ta, 2016. P. 350–354 (in Russian).
7. Семина И.А., Носонов А.М., Куликов Н.Д., Федотов Ю.Д., Фоломейкина Л.Н. Территориальная организация третичного сектора экономики: монография / Под ред. д.г.н. А.М. Носонова, к.г.н. И.А. Семиной. Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 2017. 208 с.
7. Semina I.A., Nosonov A.M., Kulikov N.D., Fedotov Yu.D., Folomeykina L.N. Territorial organization of the economy's tertiary sector: monography / edited by. A.M. Nosonova, I.A. Semina. Saransk: Izd-vo Mordov. un-ta, 2017. 208 p. (in Russian).
8. Фоломейкина Л.Н., Хохлова Е.Э. Территориальные различия в доступности рыночных услуг // «Студенческий научный поиск – науке и образованию XXI века»: материалы VIII-й Междунар. студенч. научн.-практ. конф., 22 апреля 2016 г. Современный технический университет, г. Рязань / под ред. А.Г. Ширяева, А.Д. Кувшинковой; Совр. техн. университет. Рязань, 2016. С. 261–265.
8. Folomeykina L.N., Khokhlova E.E. Territorial differences in the availability of non-market services // «Studencheskiy nauchnyy poisk – nauke i obrazovaniyu KHKNI veka»: materialy VIII-y Mezhdunar. studench. nauchn.-prakt. konf., 22 aprelya 2016 g. Sovremennyy tekhnicheskyy universitet, g. Ryazan' / pod red. A.G. Shiryayeva, A.D. Kuvshinkovoy; sovr. tekhnich. Universitet. Ryazan', 2016. P. 261–265 (in Russian).
9. Хохлова Е.Э. Субъективная оценка качества транспортного обслуживания населения г. Саранск // «Студенческий научный поиск – науке и образованию XXI века»: Материалы IX-й Междунар. студенч. научно-практ. конф., 21 апреля 2017 г., Современный технический университет, г. Рязань / под ред. А.Г. Ширяева, А.Д. Кувшинковой; Совр. техн. универ-т. Рязань, 2017. С. 271–275.
9. Khokhlova E.E. Subjective assessment of the quality of transport services to the population of Saransk // «Studencheskiy nauchnyy poisk – nauke i obrazovaniyu XXI veka»: Materialy IX-y Mezhdunar. studench. nauchno-prakt. konf., 21 aprelya 2017 g., Sovremennyy tekhnicheskyy universitet, g. Ryazan' / pod red. A.G. Shiryayeva, A.D. Kuvshinkovoy; Sovr. tekhn. univer-t. Ryazan', 2017. P. 271–275 (in Russian).
10. Семина И.А. Актуальные вопросы изучения третичного сектора экономики и организации городского общественного пространства: теория, опыт и проблематика // Успехи современного естествознания. 2017. № 11. С. 95–100.
10. Semina I.A. Actual questions of studying of the tertiary sector of economy and the organization of urban public space: theory, experience and problems. // Advances in current natural sciences. 2017. № 11. P. 95–100 (in Russian).
11. Статистика культуры 2016. Ежегодное справочное издание о состоянии культуры Российской Федерации в цифрах. М., 2017. 292 р.
11. Statistics of culture 2016. Annual reference publication on the state of culture of the Russian Federation in figures. M., 2017. 292 p. (in Russian).
12. Хохлова Е.Э., Фоломейкина Л.Н. Развитие сферы отдыха и развлечений в г. Саранск: субъективный подход // «Студенческий научный поиск – науке и образованию XXI века»: Материалы IX-й Междунар. студенч. научно-практ. конф., 21 апреля 2017 г., Современный технический университет, г. Рязань / под ред. А.Г. Ширяева, А.Д. Кувшинковой; Совр. техн. универ-т. Рязань, 2017. С. 275–279.
12. Khokhlova E.E., Folomeykina L.N. Development of the sphere of recreation and entertainment in Saransk: a subjective approach // «Studencheskiy nauchnyy poisk – nauke i obrazovaniyu XXI veka»: Materialy IX-y Mezhdunar. studench. nauchno-prakt. konf., 21 aprelya 2017 g., Sovremennyy tekhnicheskyy universitet, g. Ryazan' / pod red. A.G. Shiryayeva, A.D. Kuvshinkovoy; Sovr. tekhn. univer-t. Ryazan', 2017. P. 275–279 (in Russian).
13. Семина И.А. Транспорт Республики Мордовия: факторы, проблемы и перспективы развития // Вестник Мордовского университета. 2015. № 4. С. 102–111. DOI: 10.15507/0236-2910.025.201504.103.
13. Semina I.A. Transport of the Republic of Mordovia: factors, problems and development prospects // Vestnik Mordovskogo universiteta. 2015. Vol. 25. № 4. P. 102–111 (in Russian).
14. Фоломейкина Л.Н., Хохлова Е.Э. Формирование и развитие транспортной инфраструктуры Торбеевского района Республики Мордовия // Огарев-online. Раздел «Науки о Земле». 2015. № 7. [Электронный ресурс]. URL: <http://journal.mrsu.ru/arts/formirovanie-i-razvitie-transportnojj-infrastruktury-torbeevskogo-rajona-respubliki-mordoviya> (дата обращения: 26.05.2019).
14. Folomeykina L.N., Khokhlova E.E. Formation and development of transport infrastructure Torbeevskaya district of the Republic of Mordovia // Ogarev-online. Section «earth Sciences». 2015. № 7. [Electronic resource]. URL: <http://journal.mrsu.ru/arts/formirovanie-i-razvitie-transportnojj-infrastruktury-torbeevskogo-rajona-respubliki-mordoviya> (date of access: 26.05.2019) (in Russian).

УДК 911.3:338.4:332.135

АНАЛИЗ ГЕОДЕМОГРАФИЧЕСКОЙ И ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ СИТУАЦИИ ГОРОДСКИХ ТЕРРИТОРИЙ КЛЮЧЕВЫХ РЕГИОНОВ СТЕПНОЙ ЗОНЫ РОССИИ

Соколов А.А., Руднева О.С.*ФГБУН «Институт степи» УрО РАН, Оренбург, e-mail: SokolovAA@rambler.ru*

Цель исследования – анализ территориальной дифференциации геодемографического и экологического состояния городских территорий ключевых регионов степной зоны России. Для выявления особенностей территориальной дифференциации экологической и демографической ситуации на городских территориях ключевых природно-хозяйственных систем степной зоны был использован метод индикативного анализа следующих показателей: индекс объема выбросов загрязняющих веществ в атмосферу, коэффициент естественной смертности населения и младенческой смертности, миграционный прирост или убыль населения. Далее сформирован комплексный интегральный индекс как среднееарифметическое из всех вышеперечисленных компонентов. Вследствие этого выявлены существенные различия по основным показателям, которые были распределены по трем группам: благополучные, неблагополучные и кризисные. В результате проведенного анализа выявлено, что наиболее сложная, кризисная геодемографическая и экологическая обстановка наблюдается в небольших промышленных городах: Новочеркасске, Вольске, Медногорске и Балакове. В городах с неблагоприятной ситуацией, как правило, кризисные геодемографические условия компенсируются более благоприятной экологической обстановкой, а наиболее благоприятная геодемографическая и экологическая обстановка характерна для крупных агломераций, что и наблюдается в областных центрах и городах-спутниках. По итогам проведенного анализа был сделан среднесрочный прогноз о дальнейшем ухудшении основных демографических и экологических показателей и, как следствие, об углублении пространственной дифференциации региональной геодемографической экологической ситуации. При этом главными причинами ухудшения региональной геодемографической и экологической ситуации в большинстве городов ключевых регионов степной зоны России, как и прежде, будут неблагоприятные изменения в миграции, смертности и социально-экономической обстановке в целом.

Ключевые слова: степная зона, городские территории, устойчивое развитие, экология, демография

ANALYSIS OF DEMOGRAPHIC AND ECOLOGICAL SITUATION OF URBAN AREAS IN KEY REGIONS OF THE STEPPE ZONE OF RUSSIAN

Sokolov A.A., Rudneva O.S.*FGBIS Institute of steppe of the Ural Branch of Russian Academy of Sciences, Orenburg,
e-mail: SokolovAA@rambler.ru*

The aim of the study is to analyze the territorial differentiation of geodemographic and ecological state of urban areas of the key regions of the steppe zone of Russia. To identify the features of the territorial differentiation of ecological and demographic situation in urban areas of the key natural and economic systems of the steppe zone, the method of indicative analysis of the following indicators was used: the index of emissions of pollutants into the atmosphere, the coefficient of natural mortality and infant mortality, as well as migration increase or decrease in the population. Next, a complex integral index is formed as an arithmetic mean of all the above components. The investigation revealed significant differences in the main indicators, which were divided into three groups: prosperous, disadvantaged and crisis. The analysis revealed that the most complex, crisis geodemographic and ecological situation is observed in small industrial cities: Novocherkassk, Volsk, Mednogorsk and Balakovo. In cities with unfavorable situation usually geodemographic crisis conditions compensate more favorable environmental conditions and the most favorable geodemographic and environmental situation characteristic of large Metropolitan areas and are in the regional centers and satellite cities. Based on the results of the analysis, a medium-term forecast was made on the further deterioration of the main demographic and environmental indicators, and as a consequence, the deepening of the spatial differentiation of the regional geodemographic ecological situation. At the same time, the main reasons for the deterioration of the regional geodemographic and environmental situation in most cities of the key regions of the steppe zone of Russia, as before, will be adverse changes in migration, mortality and socio-economic situation in General.

Keywords: steppe zone, urban areas, sustainable development, ecology, demography

Исследование проблем общества в различных аспектах его взаимоотношений с окружающей средой с давних пор и по настоящее время остается привлекательным и чрезвычайно актуальным для исследователей самых различных областей знаний. Особый интерес представляют сведения о демографических процессах, а также о факторах их определяющих у жителей различных регионов и городов.

Особую сложность представляет проблема оценки причинно-следственных связей между характеристиками окружающей среды и демографическими процессами, что связано со сложностью и непредсказуемостью реакции населения на различные изменения экологической обстановки. В данном контексте устойчивое развитие территории можно охарактеризовать следующими эколого-демографическими инди-

каторами: наличием или отсутствием значимых экологических проблем (загрязнений), естественной смертностью населения (в том числе младенческой смертностью), а также миграционной убылью населения [1, 2].

Достоинством перечисленных индикаторов является то, что рассматриваемые показатели в состоянии отразить различные аспекты взаимосвязи между геодемографической и экологической ситуацией территории. При этом центр тяжести при решении эколого-демографических проблем должен быть перенесен на городские территории, окружающая среда и население которых ощущает на себе все последствия экологического, а следовательно, и социального неблагополучия.

Материалы и методы исследования

Степная зона России имеет очень сильную географическую дифференциацию. Поэтому на такой территории сложно достигнуть устойчивого развития без учета особенностей и специфических черт каждого отдельного территориального объекта. В качестве объекта исследования выбраны городские территории выделенных ключевых природно-хозяйственных систем европейской части степной зоны России:

Среднее Повуралье, Саратовское Поволжье и Ростовская агломерация [3].

Для диагностики экологической и демографической ситуации на городских территориях ключевых природно-хозяйственных систем степной зоны был использован метод индикативного анализа следующих показателей, отражающих состояние окружающей среды и реакцию социума: индекс объема выбросов загрязняющих веществ в атмосферу, коэффициент общей смертности населения, младенческой смертности, миграционный прирост или убыль населения (таблица). Для составления наиболее объективной картины ситуации показатели для дальнейших расчетов были определены как средние за 5 лет, период 2012–2017 гг. Далее сформирован комплексный интегральный индекс как среднеарифметическое из всех вышеперечисленных компонентов, приведенных к единому индексу путем сравнения с пороговыми значениями и среднерегionalными показателями. Информационную базу исследования составили материалы Государственного комитета Российской Федерации по статистике, данные отчетности областных комитетов государственной статистики, а также различных департаментов и комитетов городских администраций.

Показатели эколого-демографического состояния окружающей среды городов степной зоны России

	Миграционный прирост/убыль, ‰	Смертность, ‰	Млад. смертность, ‰	Загрязнение, т на чел.	Общий индекс
Ростов-на-Дону	4,1	11,9	4,9	0,04	2,27
Азов	–4,2	14,8	4,2	0,03	2,37
Батайск	15,9	11,8	6,9	0,01	2,55
Новочеркасск	–5,6	14,7	6,4	5,64	20,87
Новошахтинск	3,3	14,3	11,7	0,01	3,73
Таганрог	0,7	16,6	5,0	0,06	2,86
Шахты	–1,3	13,9	7,9	0,04	3,06
Саратов	3,7	13,3	4,3	0,03	2,34
Балаково	–2,9	13,5	6,9	1,13	8,36
Вольск	–1,3	15,4	7,7	1,40	10,06
Ершов	–12,0	17,5	14,9	0,01	4,72
Пугачев	–3,1	11,5	15,2	0,14	4,88
Хвалынский	–7,5	17,7	8,9	0,01	3,51
Энгельс	6,3	12,2	6,4	0,04	2,64
Оренбург	–0,2	11,4	7,9	0,02	2,65
Кувандык	–10,6	14,7	11,2	0,02	3,67
Медногорск	–4,2	19,8	11,0	5,11	8,89
Соль-Илецк	–9,9	12,9	7,9	0,01	2,80
Пороговые значения	0	10	5	Среднеобластной показатель	

В итоге комплексный географический анализ позволит выявить и изучить структуру геодемографической ситуации и осознать степень влияния экологической составляющей. В региональном разрезе сравнительный анализ выявит закономерности в развитии и структуре геодемографической ситуации, а также даст возможность изучить влияние экологических факторов на ее формирование.

Результаты исследования и их обсуждение

Важной экологической проблемой городских территорий степной зоны России является загрязнение атмосферного воздуха. Её первостепенное значение определяется тем, что атмосфера оказывает интенсивное воздействие на гидросферу, почвенно-растительный покров, геологическую среду, здания, сооружения и другие техногенные объекты. Среди антропогенных источников загрязнения приземной атмосферы к наиболее опасным относятся продукты сгорания различных видов топлива, бытовые и промышленные отходы, металлургия и горячая металлообработка, различные химические производства, в том числе переработка газа, нефти и угля. Свой вклад в загрязнение атмосферы городов вносят строительные объекты и автотранспортные хозяйства [4] (рис. 1).

Вследствие неравномерного развития промышленности городов ключевых регионов степной зоны России наблюдаются существенные различия в количестве загрязняющих веществ, отходящих от всех стационарных источников на одного человека в год от 0,006 т в г. Батайске до 5,6 т в г. Новочеркасске. Основной вклад в загрязнение окружающей среды вносят предприятия следующих городов: Новочеркасск (Новочеркасский электродный завод, Новочеркасский завод синтетических продуктов, Новочеркасская ГРЭС); Медногорск (Медногорский медно-серный комбинат); Вольск (заводы цементной промышленности); Балаково (Балаковская АЭС, Балаковская ТЭЦ, завод волоконных материалов). При этом в большинстве городов ключевых регионов степной зоны России выбросы в атмосферу незначительны и не превышают 0,1 т на человека.

Устойчивый рост смертности в конце XX – начале XXI вв. является важнейшей неблагоприятной тенденцией геодемографического развития городов ключевых регионов степной зоны России. Причин много – это старение населения, негативные процессы прошлых периодов, рост смертности пожилого населения, снижение качества здоровья, травматизм на производстве, ДТП, низкий уровень жизни и качество медицины, ухудшение экологической ситуации и пр. (рис. 2).

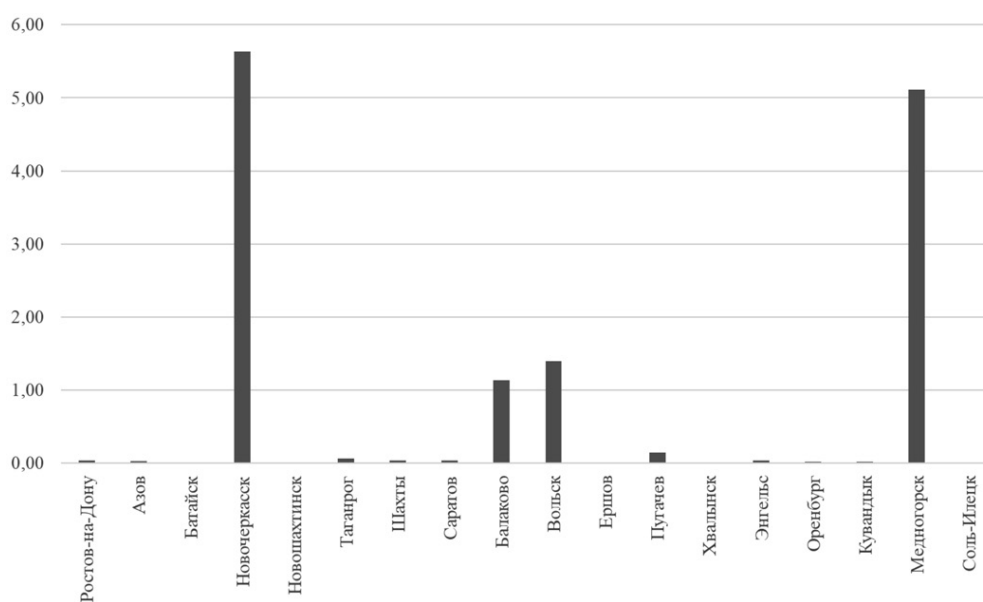


Рис. 1. Общее количество загрязняющих веществ, отходящих от всех стационарных источников (т/чел.)

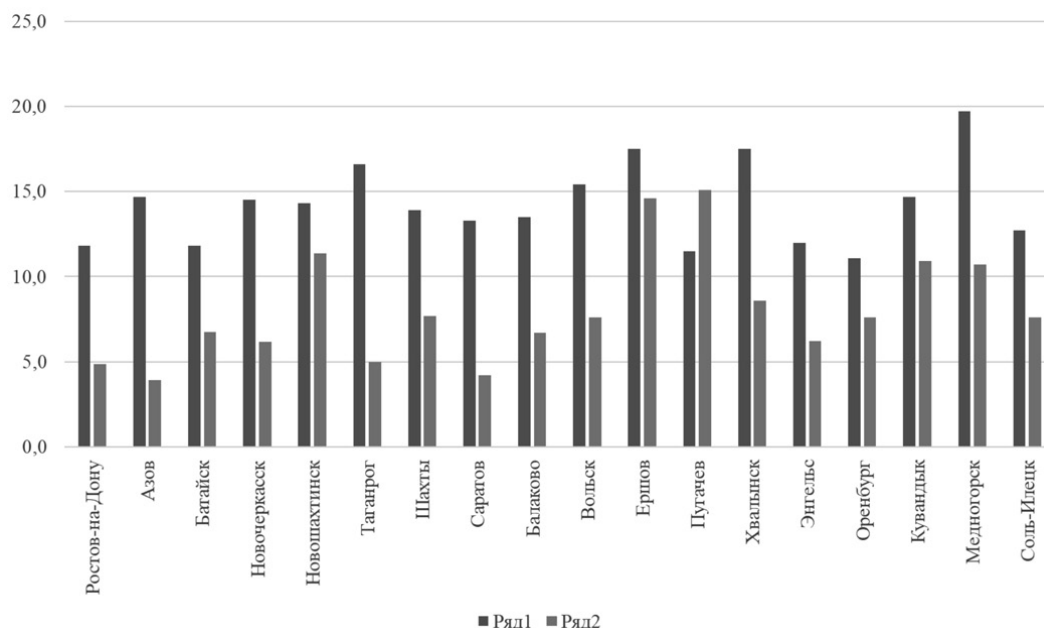


Рис. 2. Коэффициент естественной смертности населения: 1 – все население, 2 – младенческая смертность (на 1000 чел.)

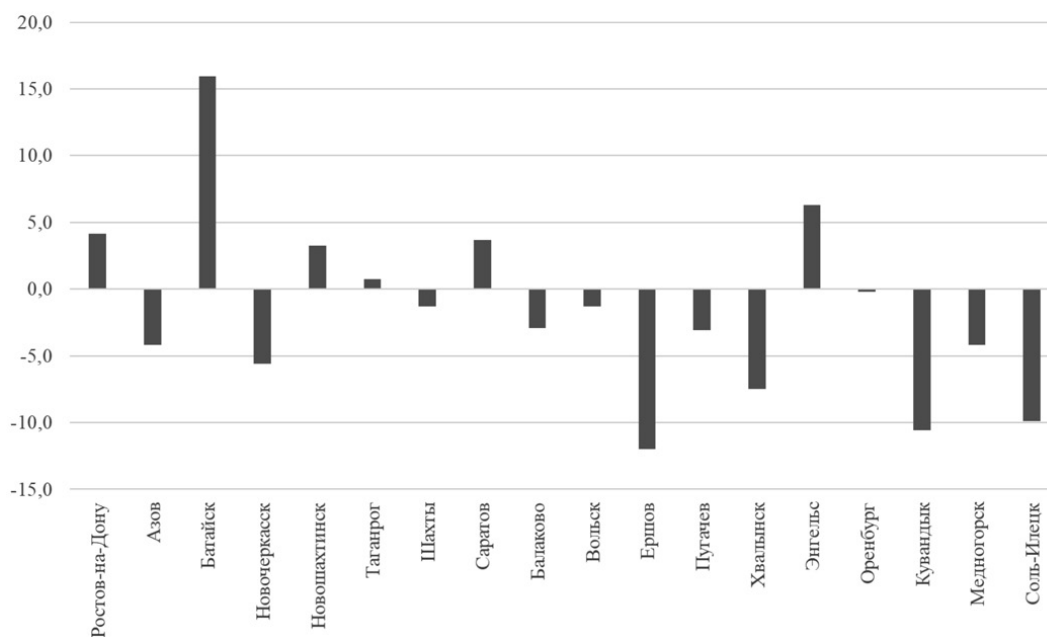


Рис. 3. Миграционный прирост или убыль населения (на 1000 чел.)

При этом прослеживается тесная связь общей смертности с количественными показателями состояния окружающей среды. Наибольший показатель смертности характерен для таких экологически неблагоприятных городов, как Медногорск, Вольск и Новочеркасск. Однако для других городов с высокой смертностью характерны

иные факторы (старение населения, низкий уровень жизни, качество медицины и пр.). В случае с младенческой смертностью также имеется высокая связь с экологической обстановкой, высокие показатели характерны для таких городов, как Пугачев, Ершов, Новочеркасск и Медногорск. Основными причинами младенческой смертности явля-

ются врожденные аномалии развития и состояния, возникающие в перинатальном периоде.

Еще одним важным индикатором геодемографической ситуации является показатель миграционного прироста или убыли населения. В современных условиях возможность естественного прироста населения в городах ключевых регионов степной зоны России маловероятна. Особое внимание, на наш взгляд, следует обратить на демографические возможности миграции. Миграцию населения необходимо рассматривать как эффективный процесс территориального перераспределения населения.

Но в ключевых регионах степной зоны России на протяжении длительного периода времени существует значительный миграционный отток населения. Так, на 6 городов с положительным миграционным приростом приходится 12 городов с отрицательной миграцией. При этом наибольший миграционный прирост пришелся на крупные областные центры и их пригороды. Среди причин, способствующих оттоку населения из остальных городов, можно выделить: низкий уровень жизни и ухудшающуюся экологическую обстановку (рис. 3).

Современная экологическая и геодемографическая ситуация, сложившаяся в городах ключевых регионов степной зоны России, неоднородна и характеризуется

пространственной дифференциацией. Для ее понимания был проведен комплексный эколого-демографический анализ, который позволил интегрально оценить сложившуюся ситуацию в городах. В результате городские территории были распределены по трем группам: благополучные, неблагополучные и кризисные (рис. 4).

Вследствие проведенного анализа выявлено что наиболее сложная, кризисная геодемографическая и экологическая обстановка наблюдается в небольших промышленных городах третьей группы: Новочеркасске, Вольске, Медногорске и Балакове. В городах второй группы с неблагоприятной ситуацией, как правило, кризисные геодемографические условия компенсируются более благоприятной экологической обстановкой. Наиболее благоприятная геодемографическая и экологическая обстановка характерна для крупных агломераций – областных центров и городов-спутников.

Заключение

По результатам исследования можно сделать прогноз о дальнейшем ухудшении основных демографических и экологических параметров в среднесрочной перспективе. Также предполагается усиление пространственной дифференциации региональной геодемографической экологической ситуации [5, 6].

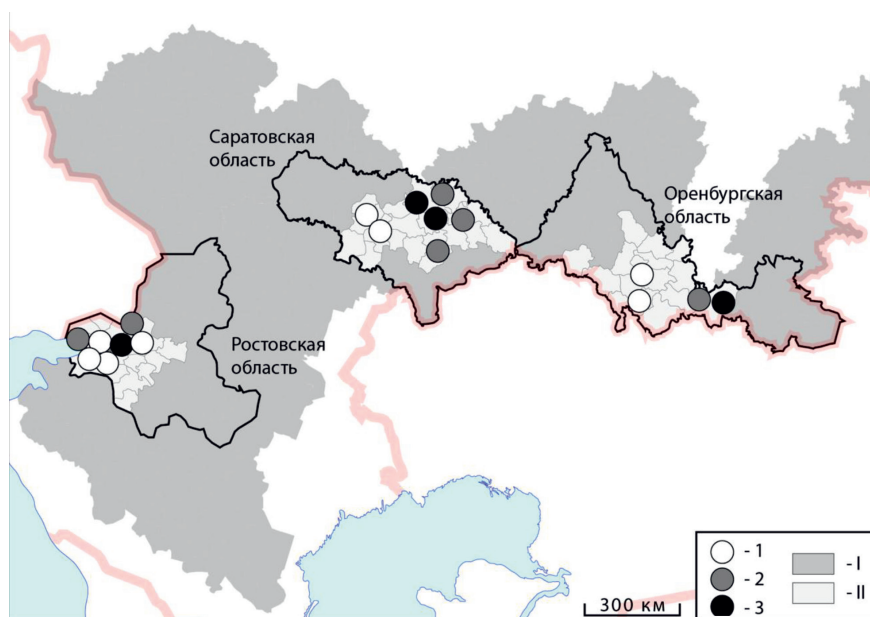


Рис. 4. Геодемографическая и экологическая ситуация городских территорий ключевых регионов степной зоны России: 1 – благополучная, 2 – неблагополучная, 3 – кризисная. I – районы, расположенные в пределах степной зоны России, II – ключевые районы исследования

Главными причинами ухудшения региональной геодемографической и экологической ситуации в большинстве городов ключевых регионов степной зоны России являются неблагоприятные изменения в миграции, смертности и социально-экономической обстановке. При этом кризисная региональная демографическая ситуация может быть преодолена лишь последовательной реализацией комплексной, долгосрочной, территориально дифференцированной демографической, социально-экономической и экологической политикой [5, 6].

Публикация осуществлена при финансовой поддержке ВОО «РГО» № 08/2017/РГО – РФФИ «Геоинформационный анализ индикаторов эколого-экономической безопасности и оценка ландшафтно-экологической устойчивости природно-хозяйственных систем регионов степной зоны России» (AAAA-A17-117041310143-0) и при финансовой поддержке РАН в рамках научного проекта AAAA-A17-117012610022-5.

Список литературы / References

1. Скитер Н.Н. Методология анализа эколого-экономической безопасности на уровне региона // Управление экономическими системами. Электронный научный журнал. 2013. № 12 (60). [Электронный ресурс]. URL: <http://www.uecs.ru/uecs60-602013/item/2696-2014-01-09-12-51-19> (дата обращения: 29.07.2019).
2. Скитер Н.Н. Экономико-математическая модель регулирования выбросов производственного сектора // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2012. № 1. С. 214–219.
3. Ключев Н.Н. Природно-ресурсный комплекс России: траектория неустойчивого развития // Известия Академии наук. Серия географическая. 2014. № 5. С. 7–22.
4. Чибилёв А.А., Чибилёв А.А. (мл.), Руднева О.С., Соколов А.А., Падалко Ю.А., Мелешкин Д.С., Григорьевский Д.В. Проблемы устойчивого развития социально-экономических геосистем степной зоны Российской Федерации. Оренбург: ИС УрО РАН, 2018. 145 с.
5. Семена И.А., Носонов А.М., Логинова Н.Н., Сотова Л.В., Федотов Ю.Д., Фоломейкина Л.Н. Пространственный анализ и оценка социально-экономического развития региона. Саранск: Издательство Мордовского университета, 2014. 228 с.
6. Смагин Б.И., Неумейкин С.К. Освоенность территории региона: теоретические и практические аспекты. Мичуринск: МичГАУ, 2007. 124 с.

УДК 622.21:622.24

РАЗРАБОТКА СОСТАВА И ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ БУРОВОГО РАСТВОРА ДЛЯ БУРЕНИЯ СКВАЖИН В НЕУСТОЙЧИВЫХ ГЛИНИСТЫХ ПОРОДАХ

Чудинова И.В., Николаев Н.И.*ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский горный университет», Санкт-Петербург,
e-mail: innachudinova@gmail.com*

В процессе бурения скважин возникают разнообразные осложнения, сопряженные с неустойчивостью пород в стволе скважины, что влечет за собой снижение скорости проходки, рост стоимости строительства скважины, а в некоторых случаях приводит к ликвидации скважины. По статистике, для нефтегазовой отрасли затраты на ликвидацию осложнений и аварий, связанных с неустойчивостью ствола скважины, составляют более 1 млн долларов в год. Зачастую осложнения проявляются в интервалах проходки глинистых пород, которые составляют большую часть разрезов месторождений. Для большинства проектов обеспечение стабильности глинистых пород оказывается трудновыполнимой задачей, которая требует оптимальной технологической оснастки и высокой компетентности сотрудников. При использовании буровых растворов на водной основе набухание глинистых пород, вследствие взаимодействия с дисперсионной средой раствора, оказывает негативное влияние на процесс бурения и может значительно повысить стоимость строительства скважины. Набухание глинистых пород приводит к осложнениям, связанным с нестабильностью ствола скважины, таким как обрушение породы, сужение ствола скважины. Скопление обрушившейся породы в стволе скважины затрудняет процесс промывки скважины, способствует посадке бурового инструмента и может стать причиной возникновения прихвата. В худшем случае неустойчивость ствола скважины приводит к остановке процесса бурения, изменению траектории скважины или ликвидации скважины. В результате исследования был разработан состав промывочной жидкости, который обеспечивает стабильность ствола скважины. Положительный эффект бурового раствора достигается путем создания комбинации ингибирующих реагентов, которые позволяют снижать степень взаимодействия дисперсионной фазы бурового раствора и пород, слагающих стенки скважины.

Ключевые слова: буровой раствор, сланцы, глинистые породы, ингибитор, устойчивость ствола скважины

RESEARCH OF DRILLING FLUID PROPERTY FOR DRILLING WELLS IN UNSTABLE SHALE ROCKS

Chudinova I.V., Nikolaev N.I.*Saint-Petersburg Mining University, Saint-Petersburg, e-mail: innachudinova@gmail.com*

There are various problems connected with instability of rock in borehole during of construction of wells. It can lead to delay in the drilling process, increase in cost, and in some cases even abandonment of the well. It is estimated that this problem costs the oil industry more than one billion U.S. dollars each year. This problem often arises during the drilling process in shales, one of the widespread rock of the most part of fields of the world. Ensuring stability of shales in a borehole is the difficult task demanding a good technological equipment and wide experience of employees. Borehole stability is influenced by such factors as orientation and trajectory of the well, high values of stresses on the well walls, type of drilling fluid, hydrostatic and pore pressures, mechanical properties of the shale rocks and also the interaction between the dispersion phase of the drilling mud and the shale. However, the problem of high-quality opening of shales can become complicated because of the technological difficulties connected with negative impact of a filtrate of drilling fluid on shales. As a result of research, drilling mud which provides stability of borehole during drilling process in shales was developed. The positive effect of the developed drilling mud is reached due to a combination of the inhibiting reagents which allow to lower extent of interaction of the dispersive environment of drilling mud and the breeds composing well walls.

Keywords: drilling mud, shales, clay breeds, inhibitor, stability of a borehole

В настоящее время Россия является одним из крупнейших игроков по добыче нефти и газа в мире. Важным вектором экономического развития России является развитие нефтяной и газовой промышленности, которая приносит до половины доходов в бюджет страны.

Бурение нефтяных и газовых скважин, а также их дальнейшее обслуживание являются наиболее капиталоемкой составляющей в нефтегазовом секторе. В современных реалиях – нестабильной политической

обстановке, ограниченном доступе к зарубежным технологиям, снижении добычи углеводородного сырья в соответствии с соглашением ОПЕК+, строгих экологических требованиях – оптимизация затрат становится приоритетом. Общие потери времени при сооружении скважины могут быть снижены на 15–25% за счет: применения новых технологий (6–10%), рационального использования бурового оборудования (на 4–6%), предотвращения осложнений и аварий (на 1%). Анализ равновесия времени

бурения разведочных скважин показал, что потери непроизводительного времени составляют примерно 19–20% [1].

Для снижения аварийности работ при строительстве разведочных скважин и повышения качества буровых работ необходимо применять эффективные и рационально подобранные составы промывочных жидкостей, соответствующие горно-геологическим условиям. Строительство скважин в сложных горно-геологических условиях, где в разрезе присутствуют как пластичные, так и хрупкие глинистые породы, связано с гидратацией и потерей устойчивости глинистых пород, что увеличивает затраты на ликвидацию осложнений. Эффективность бурового раствора в этих условиях определяется составом и способами регулирования его свойств.

В опыте промысловых работ для ингибирования набухания и диспергирования глинистых пород широко используются хлоркалийные буровые растворы. Концентрация KCl в растворе в пределах от 3–20% позволяет минимизировать набухание и разрушение пород. Однако с ужесточением экологических требований, особенно в области шельфового и морского бурения, вводятся ограничения на использование высококонцентрированных солевых растворов. Тем не менее до настоящего времени применяют хлоркалийные растворы с добавлением частично гидролизованного полиакриамида (РНРА), который стабилизирует глинистые породы путем формирования защитного слоя на стенках скважины. Также для эффективного ингибирования глинистых пород применяются растворы на углеводородной основе. Их использование гарантирует отсутствие набухания пород, а также отличные смазочные свойства. Однако использование растворов на углеводородной основе также связано с экологическими ограничениями и высокими материальными затратами на их переработку и утилизацию.

В связи с этим разработка новых составов полимерных буровых растворов на водной основе с применением реагентов полифункционального действия, которые обеспечат сохранение ствола скважины в устойчивом состоянии, представляется весьма актуальной задачей.

В качестве основных причин нестабильности ствола скважины исследователи выделяют ряд факторов: естественная трещиноватость глинистых пород, вибрации бурового инструмента в процессе бурения,

величина удельного веса раствора, степень гидратации глинистых пород, температурный режим скважины.

Осложнения, вызванные гидратацией и набуханием глинистых пород, встречаются очень часто в связи с тем, что они составляют 80% от всех осадочных пород, поэтому совершенствование рецептур и технологических свойств буровых растворов довольно актуальная задача для улучшения стабильности ствола скважины [2].

При использовании буровых растворов на водной основе набухание глинистых пород, вследствие взаимодействия с дисперсионной средой раствора, оказывает негативное влияние на процесс бурения и может значительно повысить стоимость строительства скважины. Набухание глинистых пород приводит к осложнениям, связанным с нестабильностью ствола скважины, таким как обрушение породы, сужение ствола скважины. Скопление обрушившейся породы в стволе скважины затрудняет процесс промывки скважины, способствует посадке бурового инструмента и может стать причиной возникновения прихвата. В худшем случае неустойчивость ствола скважины приводит к остановке процесса бурения, изменению траектории скважины или ликвидации скважины [3]. Осложнения такого характера существенно снижают темпы бурения и увеличивают затраты компаний на проведение дополнительных исследований и восстановление нормального производственного процесса. Затраты компаний на борьбу с авариями, причины которых чаще всего связаны с нестабильностью ствола скважины, оцениваются более чем в 500 миллионов долларов в год.

Таким образом цель исследования заключается в разработке рецептуры бурового раствора на водной основе для строительства скважины в условиях перемежающихся пластичных и хрупких глинистых пород, которая позволит сохранить устойчивость ствола скважины в данных условиях.

Материалы и методы исследования

При бурении в пластичных глинистых породах для их ингибирования применяют хлоркальциевые, гипсовые, силикатные, бариевые и кальциевые буровые растворы. Действуя в сторону установления осмотического равновесия между буровым раствором и гидратными слоями глинистых частиц, ингибирующие электролиты снижают уровень гидратации, а входящие в состав раствора коллоидные электролиты и полиэ-

лектролиты замедляют ее темпы. Хрупкие глинистые породы не способны впитать большое количество воды, так как в связи с резким ростом давления набухания происходит гидратационное обваливание пород. Для ингибирования пород такого типа необходимо снижать скорость гидратации путем снижения активности водной фазы раствора.

Подбор реагентов-ингибиторов проводился исходя из анализа работ исследователей и результатов промыслового опыта. Для разработки высокоэффективного нетоксичного ингибитора набухания глинистых пород необходимо иметь представление о взаимодействиях, происходящих между реагентами и породой. Существует два метода предотвращения набухания и диспергирования глинистых пород: проникновение частиц ингибитора в структуру породы и образование капсулирующих слоев высокомолекулярных соединений на стенках скважины. Для такого рода полимерглинистых растворов предлагается ряд реагентов и их комбинаций на основе полиакриламилов, поливинилпирролидонов, акриловых полимеров, гуара, аминов, битума и т.п. Образование непроницаемых пластичных корок на стенках скважины способствует снижению гидратации и повышению их устойчивости [4].

Таким образом, при одновременном использовании двух методов ингибирования мы получим буровой раствор полифункционального действия, который снизит активность водной фазы раствора за счет высокомолекулярных соединений, обеспечит низкую скорость гидратации глинистых пород и позволит частицам ингибитора проникнуть в структуру породы.

В основе рецептуры лежит комбинация поливинилпирролидона с формиатом натрия в качестве реагентов-ингибиторов.

Результаты исследования и их обсуждение

В результате проведенных исследований [3] была разработана рецептура ингибирующего полимерглинистого бурового раствора для бурения скважин в неустойчивых глинистых породах.

В состав промывочной жидкости входят формиат натрия в качестве электролита, глицерин, поливинилпирролидон в качестве высокомолекулярного реагента, а также полиакрилат калия. Диссоциация жидкого стекла посредством добавления к нему глицерина способствует повышению

ингибирующей способности к глинистым породам. Поливинилпирролидон (PVP) проявляет склонность к комплексообразованию и связывает низкомолекулярные соединения. Поливинилпирролидон (PVP) в составе промывочной жидкости обеспечивает снижение активности водной среды раствора, сдерживает рост порового давления в породах на контуре скважины и тем самым повышает устойчивость ствола, при бурении в глинистых породах [5].

При разработке новой рецептуры проведена оценка влияния PVP и остальных активных добавок на основные свойства буровых растворов, а также их ингибирующую способность.

В табл. 1 отражаются результаты оценки ингибирующей способности раствора по количеству впитанной воды в образцы глин: чем меньше количество впитанной воды в образце, тем выше ингибирующая способность раствора, и наоборот.

Экспериментальным путем были получены результаты исследования бурового раствора, которые приведены в табл. 1. При содержании формиата натрия не более 3 % по табл. 1, п. 3, и PVP не более 5 % по табл. 1, п. 3, образцы глин набухают и диспергируют. При содержании формиата натрия 5,3–9,2 % и PVP 6,3–10 % образцы глин сохраняют устойчивость и не разрушаются (табл. 1, п. 4, 5, 6, 7). Увеличение содержания формиата натрия более 9,2 % приводит к разрушению образца глины (табл. 1, п. 8) [5].

В ходе экспериментов были исследованы основные параметры разработанных составов. Для определения величин пластической вязкости и динамического напряжения сдвига был использован ротационный вискозиметр марки Fann 35SA. Свежеприготовленные составы тестировались при значениях 600 об/мин и 300 об/мин, а также по истечению 10 мин. Полученные значения пластической вязкости и динамического напряжения сдвига представлены в табл. 2.

Для определения значений показателя фильтрации использовался фильтр-пресс марки Fann. Согласно требованиям методических указаний API, измерение скорости фильтрации проводилось при температуре окружающей среды, под давлением 100 фунтов / кв. дюйм. Результаты измерений фиксировались в миллилитрах на 30 мин. Полученные результаты исследований по влиянию содержания в растворе формиата натрия и PVP на показатель фильтрации приведены в табл. 2.

Таблица 1

№ п/п	Состав раствора, мас. %	Поведение образцов глинистой породы, выдержанной в растворе в течение 5 сут	Изменение массы образца, г		
			Начальная	Через 5 сут	Δm
1	83,9% вода + 5% глинопорошок + 5% PVP 3% формиат натрия 3% жидкое стекло + 5% глицерин 0,1% пеногаситель	набухание и диспергирование	12,0	23,3	11,3
2	80,3% вода + 5% глинопорошок + 6,3% PVP 5,3% формиат натрия 3% жидкое стекло + 5% глицерин 0,1% пеногаситель	незначительное набухание и диспергирование		19,8	7,8
3	76,9% вода + 5% глинопорошок + 7,5% PVP 7,5% формиат натрия 3% жидкое стекло + 5% глицерин 0,1% пеногаситель	набухание и диспергирование отсутствует		18,2	6,2
4	73,3% вода + 5% глинопорошок + 8,8% PVP 8,5% формиат натрия 3% жидкое стекло + 5% глицерин 0,1% пеногаситель	набухание и диспергирование отсутствует		17,6	5,6
5	69,9% вода + 5% глинопорошок + 10% PVP 9,2% формиат натрия 3% жидкое стекло + 5% глицерин 0,1% пеногаситель	набухание отсутствует, незначительное диспергирование		17,3	5,3
6	69,9% вода + 5% глинопорошок + 10% PVP 10,6% формиат натрия 3% жидкое стекло + 5% глицерин 0,1% пеногаситель	набухание отсутствует, диспергирование		17,5	5,5

Примечание: за положительный результат принято значение $\Delta m < 8$ г.

Таблица 2

№ п/п	Состав раствора, масс. %	Показатели раствора		
		Φ , см ³	$\eta_{пл}$, мПа·с	τ_0 , Па
1	83,9% вода + 5% глинопорошок + 5% PVP + 3% формиат натрия + 3% жидкое стекло + 5% глицерин + 0,1% пеногаситель	6	23	6,2
2	80,3% вода + 5% глинопорошок + 6,3% PVP + 5,3% формиат натрия + 3% жидкое стекло + 5% глицерин + 0,1% пеногаситель	4	28	6,4
3	76,9% вода + 5% глинопорошок + 7,5% PVP + 7,5% формиат натрия + 3% жидкое стекло + 5% глицерин + 0,1% пеногаситель	4	34	6,7
4	73,3% вода + 5% глинопорошок + 8,8% PVP + 8,5% формиат натрия + 3% жидкое стекло + 5% глицерин + 0,1% пеногаситель	3	42	7,2
5	69,9% вода + 5% глинопорошок + 10% PVP + 9,2% формиат натрия + 3% жидкое стекло + 5% глицерин + 0,1% пеногаситель	3	48	7,5
6	69,9% вода + 5% глинопорошок + 10% PVP + 10,6% формиат натрия + 3% жидкое стекло + 5% глицерин + 0,1% пеногаситель	3	46	7,3

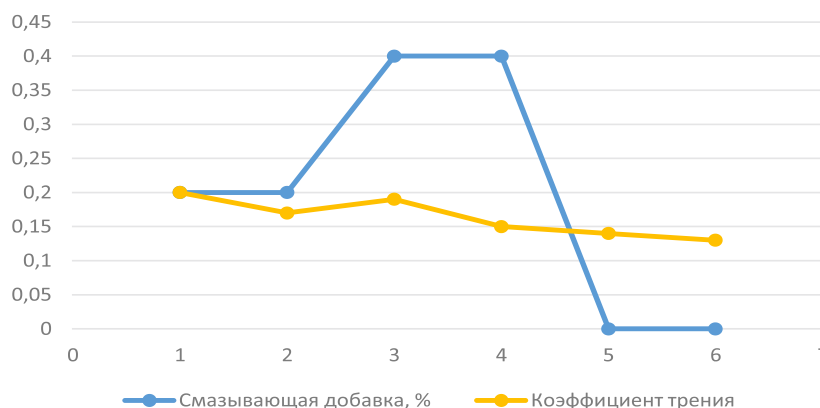
Примечание: Φ – показатель фильтрации; $\eta_{пл}$ – пластическая вязкость; τ_0 – динамическое напряжение сдвига.

При содержании формиата натрия 5,3–9,2% и PVP 6,3–10% обеспечивается минимальное значение показателя фильтрации (табл. 2, п. 4, 5, 6, 7) [5].

Результаты исследований, указанные в табл. 1–2, дают возможность определить оптимальную рецептуру промывочной жидкости, которая обеспечивает повышенную ингибирующую способность к глинистым породам, и обладает низкими значениями показателя фильтрации.

После получения результатов основных параметров бурового раствора были проведены сравнительные исследования

смазочной способности нескольких распространенных составов буровых растворов и разработанного состава. Улучшение смазочной способности бурового раствора способствует уменьшению риска возникновения прихватов, позволяет снизить крутящий момент за счет формирования граничного слоя на поверхностях контакта. Слои контакта возникают за счет присутствия в составе раствора гидрофобизирующих агентов, углеводородных радикалов и ПАВ [6]. Результаты измерения смазочной способности на приборе УСП 1 представлены на рисунке.



Сравнительный анализ коэффициентов трения для различных составов буровых растворов: 1 – хлоркалийевый БР с добавлением 2% смазочной добавки K-Lube, 2 – Barazan с добавлением 2% смазочной добавки K-Lube, 3 – хлоркалийевый БР с добавлением 4% смазочной добавки K-Lube, 4 – Barazan с добавлением 4% смазочной добавки K-Lube, 5 – разработанный БР с 6% PVP и 5,5% HCOONa, 6 – разработанный БР с 6% PVP и 8% HCOONa

В результате проведенного исследования разработанный раствор показал снижение коэффициента трения по сравнению с базовыми растворами более чем на 27%. Полученный результат достигается за счет введения в состав раствора глицерина и поливинилпирролидона (PVP) – полифункционального синтетического полимера гамма-виниллактата N-аминомасляной кислоты. В комплексе с глицерином повышает смазочные свойства бурового раствора благодаря взаимодействию между углеводородными радикалами. В связи с тем, что поливинилпирролидон обладает сильными абсорбционными свойствами, он способен сорбировать молекулы воды и проявляет склонность к комплексособразованию. За счет этих свойств поливинилпирролидон также снижает активность водной фазы бурового раствора, за счет чего уменьшается скорость проникновения фильтрата бурового раствора в стенки скважины [5].

Заключение

Таким образом, анализ результатов экспериментов позволил установить оптимальный состав бурового раствора, имеющий увеличенную способность к ингибированию глинистых пород и низким показателем фильтрации. Повышение стабильности глинистых пород на контуре скважины достигается путем использования в качестве ингибиторов реагентов полифункционального действия, которые позволяют снизить активность дисперсионной фазы бурового раствора, снизить рост порового давления в породах, слагающих стенки скважины. Разработанный состав ингибирующего бурового раствора способствует повышению прочности хрупких гли-

нистых пород на 12–15%. Также присутствие в растворе поливинилпирролидона в концентрациях от 6,0 до 10% позволяет более чем на 27% снизить коэффициент трения по сравнению со стандартной рецептурой бурового раствора. Низкие значения коэффициента трения позволяют минимизировать риск возникновения прихватов при нарушениях циркуляции бурового раствора.

Список литературы / References

1. Блинов П.А., Двойников М.В., Подольяк А.В., Арсланова Э.Р. Повышение устойчивости ствола скважины буровым раствором при проходке несвязных горных пород // Наука, техника и образование. 2016. № 8. С. 112–115.
2. Блинов П.А., Двойников М.В., Подольяк А.В., Арсланова Э.Р. Increase in stability of a borehole by drilling fluid in loose rocks // Nauka, tehnika, obrazovanie. 2016. № 8. P. 112–115 (in Russian).
3. Блинов П.А. Определение устойчивости стенок скважины при проходке интервалов слабосвязных горных пород с учетом зенитного угла // Записки Горного института. 2019. Т. 236. С. 172–179. DOI: 10.31897/pmi.2019.2.172.
4. Блинов П.А. Definition of stability of walls of the well at a driving of intervals the loose rocks considering inclination angle // Journal of Mining institute. 2019. T. 236. P. 172–179 (in Russian).
5. Чудинова И.В., Николаев Н.И., Розенцвет А.В. Обоснование выбора ингибирующих реагентов для повышения устойчивости глинистых пород // Инженер-нефтяник. 2017. № 2. С. 35–41.
6. Chudinova I.V., Nikolaev N.I., Rozentsvet A.V. Selection of inhibitor for increasing stability of borehole in shales // Inzhener-Neftyanik. 2017. № 2. P. 35–41 (in Russian).
7. Шарафутдинова Р.З., Ишбаев Г.Г. Буровые растворы для строительства скважин в глинистых горных породах. М.: ОАО «ВНИИОЭНГ», 2012. 190 с.
8. Sharafutdinova R.Z., Ishbayev G.G. Drilling muds for construction of wells in clay rocks. M.: ОАО «VNIIOENG», 2012. 190 p. (in Russian).
9. Патент Чудинова И.В., Николаев Н.И., Розенцвет А.В. Полимерглинистый буровой раствор // Патент РФ № 2675650. Патентообладатель ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский горный университет». 2018. Бюл. № 36.
10. Моренов В.А., Леушева Е.Л., Егорова В.В. Структурообразующие свойства полимерных реагентов в составе буровых растворов // Нефть. Газ. Новации. 2018. № 10. С. 25–27.
11. Morenov V.A., Leusheva E.L., Egorova V.V. Structural Properties of Polymer Reagents inside the Drilling Mud // Neft. Gas. Novacii. 2018. № 10. P. 25–27 (in Russian).