

Двухлетний импакт-фактор РИНЦ – 0,778

Пятилетний импакт-фактор РИНЦ – 0,279

**Журнал издается с 2001 г.**

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

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

**Подписной индекс по электронному каталогу «Почта России» – П7816**

**ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР**

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

**ЗАМ. ГЛАВНОГО РЕДАКТОРА**

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

*Чернева Ирина Николаевна, к.с.-х.н.*

*Ответственный секретарь редакции*

*Бизенкова Мария Николаевна, к.м.н.*

**РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ**

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

---

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

Свидетельство – **ПИ № ФС 77-63398.**

Все публикации рецензируются. Доступ к электронной версии журнала бесплатный.

**Двухлетний импакт-фактор РИНЦ – 0,778.**

**Пятилетний импакт-фактор РИНЦ – 0,279.**

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

**Журнал включен в Реферативный журнал и Базы данных ВИНТИ.**

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

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

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

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

Подписано в печать – 29.07.2020

Дата выхода номера – 29.08.2020

Формат 60x90 1/8

Типография

ООО «Научно-издательский центр

Академия Естествознания»,

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

Техническая редакция и верстка

Байгузова Л.М.

Корректор

Галенкина Е.С., Дудкина Н.А.

Способ печати – оперативный.

Распространение по свободной цене.

Усл. п.л. 21,63

Тираж – 1000 экз. Заказ. УСЕ/7-2020

Подписной индекс П7816

© ООО ИД «Академия Естествознания»

---

## СОДЕРЖАНИЕ

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

ПЕРСПЕКТИВНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МОЖЖЕВЕЛЬНИКА СКАЛЬНОГО В ОЗЕЛЕНЕНИИ ГОРОДА ЕКАТЕРИНБУРГА <i>Бунькова Н.П., Залесов С.В., Платонов Е.П., Соловьева М.В.</i> .....	7
ХВОЙНЫЕ ДЕРЕВЬЯ КАК БИОИНДИКАТОРЫ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ГОРОДСКОЙ СРЕДЫ ПОЛИЦИКЛИЧЕСКИМИ АРОМАТИЧЕСКИМИ УГЛЕВОДОРОДАМИ <i>Михайлова Т.А., Шергина О.В., Калугина О.В., Тараненко Е.Н.</i> .....	13
ОПРЕДЕЛЕНИЕ РЕАЛЬНОЙ ВЕЛИЧИНЫ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ ПУТИ НА ВЫВОЗКЕ ДРЕВЕСИНЫ В РАЗЛИЧНЫХ ПРИРОДНО-ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ УСЛОВИЯХ <i>Мохирев А.П., Позднякова М.О., Рукомойников К.П.</i> .....	19
ОПЫТ ИНТРОДУКЦИИ НЕКОТОРЫХ ВИДОВ РОДОВОГО КОМПЛЕКСА <i>PINUS L.</i> В СТАВРОПОЛЬСКОМ БОТАНИЧЕСКОМ САДУ <i>Неженцева Т.В.</i> .....	25
ВЛИЯНИЕ ЦЕНОТИЧЕСКИХ ВЗАИМООТНОШЕНИЙ НА РОСТ МОДЕЛЬНЫХ ДЕРЕВЬЕВ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ И ДУБА ЧЕРЕШЧАТОГО В БРЯНСКОМ ЛЕСНОМ МАССИВЕ <i>Прутской А.В.</i> .....	31
ОЦЕНКА ГЕНЕТИЧЕСКОГО РАЗНООБРАЗИЯ ГЕНОТИПОВ АБРИКОСА ( <i>PRUNUS ARMENIACA L.</i> ) АЗЕРБАЙДЖАНА С ПОМОЩЬЮ SSR МАРКЕРОВ <i>Ракида А.М.</i> .....	37
АНАЛИЗ СОДЕРЖАНИЯ БИОЛОГИЧЕСКИХ ПИГМЕНТОВ В ЛИСТЬЯХ ДРЕВЕСНЫХ РАСТЕНИЙ ПРИ СТРЕССОВЫХ ВОЗДЕЙСТВИЯХ <i>Семенютина В.А., Беляев А.И., Свинцов И.П.</i> .....	43
АДАПТИВНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ ОРЕХОПЛОДНЫХ КУСТАРНИКОВ И КОМПЛЕКСНЫЕ МЕТОДЫ ИХ МОБИЛИЗАЦИИ ДЛЯ ЗАЩИТНЫХ ЛЕСНЫХ НАСАЖДЕНИЙ <i>Хужахметова А.Ш., Семенютина А.В.</i> .....	49

**Науки о Земле (25.00.00)****СТАТЬИ**

ЗАВИСИМОСТИ ХАРАКТЕРНЫХ ДАТ ЛЕДОВОГО РЕЖИМА БЕЛОГО МОРЯ ОТ ТЕМПЕРАТУРНОГО ФОНА НАД ЕГО АКВАТОРИЕЙ <i>Баклагин В.Н.</i> .....	55
АНАЛИЗ СТРУКТУРЫ ТУРИСТСКОГО ПОТОКА В СЛЮДЯНСКИЙ РАЙОН ИРКУТСКОЙ ОБЛАСТИ <i>Бибаева А.Ю.</i> .....	61
ДЕФОРМАЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ИСКУССТВЕННО ПРИГОТОВЛЕННЫХ ОБРАЗЦОВ МЁРЗЛЫХ ГРУНТОВ ПРИ ОТТАИВАНИИ <i>Вахрин И.С., Кузьмин Г.П.</i> .....	70
ПЕРСПЕКТИВЫ БЛАГОУСТРОЙСТВА ЧАСТИ АВТОЗАВОДСКОГО ПАРКА НИЖНЕГО НОВГОРОДА КАК СТРУКТУРНОГО ЭЛЕМЕНТА ЭКОЛОГО-ПРИРОДНОГО КАРКАСА ГОРОДА <i>Вершинина И.В., Мартынова Д.А.</i> .....	77

ОСОБЕННОСТИ СОЦИАЛЬНОЙ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ РЕКЛАМЫ КАК МЕХАНИЗМА ФОРМИРОВАНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ КУЛЬТУРЫ НАСЕЛЕНИЯ	
<i>Волкова А.В., Милованова А.Д., Петрова Е.Н.</i> .....	83
ТУРИСТСКО-РЕКРЕАЦИОННЫЙ КОМПЛЕКС РЕСПУБЛИКИ СЕРБИЯ	
<i>Волкова Т.А., Рыжоволова Э.А.</i> .....	89
ЗАГРЯЗНЕНИЕ ШАХТНЫХ И ГРУНТОВЫХ ВОД В ШОЛОХОВСКОМ УГЛЕНОСНОМ РАЙОНЕ ВОСТОЧНОГО ДОНБАССА	
<i>Гавришин А.И.</i> .....	99
ИЗУЧЕНИЕ ЭКОСИТУАЦИИ В РОССИИ (НА ПРИМЕРЕ ЯКУТИИ) И МОНГОЛИИ	
<i>Гоголева П.А., Алексеева И.С.</i> .....	105
МОНИТОРИНГ И БЛОКИРОВАНИЕ УГРОЗ БИОЛОГИЧЕСКОГО ХАРАКТЕРА ПРИ ОБЕСПЕЧЕНИИ БЕЗОПАСНОСТИ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ И НАУЧНЫХ УЧРЕЖДЕНИЙ	
<i>Денисов О.В., Пономарев А.Е., Пономарева И.А., Мереняшев В.Е., Андреева Е.С.</i> .....	113
ОЦЕНКА ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СОЛНЕЧНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ДЛЯ ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ В АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЕ ЯКУТИИ	
<i>Иванова И.Ю., Ноговицын Д.Д., Шеина З.М., Сергеева Л.П., Халгаева Н.А.</i> .....	118
РАДОНООПАСНОСТЬ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СРЕДЫ В УГЛЕДОБЫВАЮЩИХ РАЙОНАХ: ПРОСТРАНСТВЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ С ПРИМЕНЕНИЕМ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ	
<i>Лешуков Т.В., Легоцин К.В., Ларионов А.В., Лесин Ю.В.</i> .....	126
ОСОБЕННОСТИ ОБСТАНОВОК ФОРМИРОВАНИЯ ПАЛЕОЗОЙСКИХ И РАННЕМЕЗОЗОЙСКИХ ОТЛОЖЕНИЙ ЮГО-ЗАПАДНОГО ПРИМОРЬЯ: РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗУЧЕНИЯ И ИНТЕРПРЕТАЦИИ ВЕЩЕСТВЕННОГО СОСТАВА ПЕСЧАНЫХ ПОРОД	
<i>Малиновский А.И.</i> .....	132
ГЕНЕЗИС ГРАНАТОВ ГРАНИТОИДОВ УСПЕНСКОГО МАССИВА (ЮЖНОЕ ПРИМОРЬЕ)	
<i>Москаленко Е.Ю.</i> .....	139
АНАЛИЗ КАТАСТРОФИЧЕСКИХ СТЕПНЫХ ПОЖАРОВ И ПРИЧИНЫ ИХ ВОЗНИКНОВЕНИЯ В АПРЕЛЕ 2019 Г. (ЗАБАЙКАЛЬСКИЙ КРАЙ)	
<i>Носкова Е.В., Вахнина И.Л., Рахманова Н.В., Бронников В.В.</i> .....	145
КОНТРОЛЬ И ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СОСТАВА НЕФТИ КАК ЗАГРЯЗНИТЕЛЯ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СРЕДЫ	
<i>Степанова Н.Е.</i> .....	151
ДИНАМИКА ИЗМЕНЕНИЯ УРОВНЯ ГРУНТОВЫХ ВОД ЗА ПЕРИОД С 2010 ПО 2014 ГОД НА ПОЛИГОНЕ КАМЕННАЯ СТЕПЬ	
<i>Турусов В.И., Крячкова М.П.</i> .....	157
НОВЫЕ СВЕДЕНИЯ О КАРСТОВОМ ПРОВАЛЕ КЕЛЬ-КЕТЧХЕН НА ЦЕНТРАЛЬНОМ КАВКАЗЕ	
<i>Хатухов А.М., Шагин С.И., Емузова Л.З., Барагунова Е.А., Татаренко Н.В.</i> .....	162
ПОТЕНЦИАЛЬНАЯ ПЕРСПЕКТИВНОСТЬ ОБНАРУЖЕНИЯ БЛАГОРОДНОМЕТАЛЛЬНОГО ОРУДЕНЕНИЯ КАРЛИНСКОГО ТИПА В ГОНЖИНСКОМ РАЙОНЕ ПРИАМУРЬЯ	
<i>Хомич В.Г., Борискина Н.Г.</i> .....	168

---

**CONTENTS**
**Agricultural sciences (06.01.00, 06.03.00)**
**ARTICLES**

 PERSPECTIVENESS OF ROCKY JUNIPER USING IN LANDSCAPING  
 OF EKATERINBURG CITY

*Bunkova N.P., Zalesov S.V., Platonov E.P., Soloveva M.V.* ..... 7

 CONIFERS AS BIOINDICATORS OF URBAN AREA POLLUTION  
 BY POLYCYCLIC AROMATIC HYDROCARBONS

*Mikhailova T.A., Shergina O.V., Kalugina O.V., Taranenko E.N.* ..... 13

 DETERMINATION OF THE ACTUAL CAPACITY OF THE ROAD FOR WOOD REMOVAL  
 IN VARIOUS NATURAL AND PRODUCTION CONDITIONS

*Mokhirev A.P., Pozdnyakova M.O., Rukomojnikov K.P.* ..... 19

 EXPERIENCE OF INTRODUCTION OF SOME SPECIES OF FAMILY COMPLEX *PINUS* L.  
 IN STAVROPOL BOTANICAL GARDEN

*Nezhentseva T.V.* ..... 25

 THE INFLUENCE OF THE CENOTIC RELATIONSHIPS ON THE RISE MODEL  
 TREES PINE AND OAK IN THE BRYANSK FOREST AREA

*Prutskoy A.V.* ..... 31

 ASSESSMENT OF THE GENETIC DIVERSITY OF APRICOT GENOTYPES  
 (*PRUNUS ARMENIACA* L.) OF AZERBAIJAN USING SSR MARKERS

*Rakida A.M.* ..... 37

 ANALYSIS OF THE CONTENT OF BIOLOGICAL PIGMENTS IN LEAVES  
 OF WOOD PLANTS UNDER STRESS

*Semenyutina V.A., Belyaev A.I., Svintsov I.P.* ..... 43

 ADAPTIVE POTENTIAL OF NUTRY FRUIT SHUSTERS AND INTEGRATED METHODS  
 OF THEIR MOBILIZATION FOR PROTECTIVE FOREST PLANTATIONS

*Khuzhakhmetova A.Sh., Semenyutina A.V.* ..... 49

**Earth sciences (25.00.00)**
**ARTICLES**

 VARIATIONS OF INDICATIVE DATES OF THE ICE REGIME ON THE WHITE SEA  
 BY THE TEMPERATURE ABOVE ITS SURFACE

*Baklagin V.N.* ..... 55

 ANALYSIS OF TOURIST FLOW STRUCTURE TO THE SLYUDYANSKIY DISTRICT  
 OF THE IRKUTSK REGION

*Bibaeva A.Yu.* ..... 61

 THAW DEFORMATION CHARACTERISTICS OF ARTIFICIALLY  
 PREPARED FROZEN SOIL SAMPLES

*Vakhrin I.S., Kuzmin G.P.* ..... 70

 PROSPECTS FOR BEAUTIFICATION OF PART OF THE AVTOZAVODSKY  
 PARK OF NIZHNY NOVGOROD AS A STRUCTURAL ELEMENT  
 OF THE ECOLOGICAL AND NATURAL FRAME OF THE CITY

*Vershinina I.V., Martynova D.A.* ..... 77

 FEATURE OF SOCIAL ECOLOGICAL ADVERTISING AS A MECHANISM  
 FOR FORMING ECOLOGICAL CULTURE OF POPULATION

*Volkova A.V., Milovanova A.D., Petrova E.N.* ..... 83

<hr/>	
TOURIST AND RECREATION COMPLEX OF THE REPUBLIC OF SERBIA	
<i>Volkova T.A., Ryzhivolova E.A.</i> .....	89
POLLUTION OF MINE AND GROUNDWATER IN THE SHOLOKHOV REGION OF EASTERN DONBASS	
<i>Gavrishin A.I.</i> .....	99
RESEARCH OF ECO-SITUATION IN RUSSIA (ON THE EXAMPLE OF YAKUTIA) AND MONGOLIA	
<i>Gogoleva P.A., Alekseeva I.S.</i> .....	105
MONITORING AND BLOCKING BIOLOGICAL THREATS WHILE ENSURING THE SECURITY OF EDUCATIONAL AND SCIENTIFIC INSTITUTIONS	
<i>Denisov O.V., Ponomarev A.E., Ponomareva I.A., Merenyashev V.E., Andreeva E.S.</i> .....	113
COST-EFFECTIVENESS ANALYSIS OF SOLAR RADIATION USAGE FOR ENERGY SUPPLY IN THE ARCTIC ZONE OF YAKUTIA: THE CASE OF CHOKURDAKH SETTLEMENT	
<i>Ivanova I.Yu., Nogovitsyn D.D., Sheina Z.M., Sergeeva L.P., Khalkaeva N.A.</i> .....	118
RADON HAZARD OF THE GEOLOGICAL ENVIRONMENT IN COAL MINING REGIONS: A SPATIAL STUDY USING GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEMS	
<i>Leshukov T.V., Legoshchin K.V., Larionov A.V., Lesin Yu.V.</i> .....	126
FEATURES OF THE ENVIRONMENTS OF THE FORMATION OF PALEOZOIC AND EARLY MESOZOIC DEPOSITS OF SOUTH-WESTERN PRIMORYE: THE RESULTS OF THE STUDY AND INTERPRETATION OF THE MATERIAL COMPOSITION OF SANDY ROCKS	
<i>Malinovskiy A.I.</i> .....	132
THE GENESIS OF GARNETS FROM GRANITOIDS OF THE USPENSKY MASSIF (SOUTHERN PRIMORYE)	
<i>Moskalenko E.Yu.</i> .....	139
ANALYSIS OF CATASTROPHIC STEPPE FIRES AND THE CAUSES OF THEIR OCCURRENCE IN APRIL 2019 (TRANS-BAIKAL TERRITORY)	
<i>Noskova E.V., Vakhnina I.L., Rakhmanova N.V., Bronnikov V.V.</i> .....	145
CONTROL AND MAIN CHARACTERISTICS OF OIL COMPOSITION AS A POLLUTANT OF THE GEOLOGICAL ENVIRONMENT	
<i>Stepanova N.E.</i> .....	151
DYNAMICS OF CHANGES IN THE GROUND WATER LEVEL FOR THE PERIOD 2010-2014 AT THE KAMENNAYA STEPPE LANDFILL	
<i>Turusov V.I., Kryachkova M.P.</i> .....	157
NEW INFORMATION ON THE KEL-KETCHKHEN KARST HOLE IN THE CENTRAL CAUCASUS	
<i>Khatukhov A.M., Shagin S.I., Emuzova L.Z., Baragunova E.A., Tatarenko N.V.</i> .....	162
POTENTIAL PROSPECTIVITY OF REVEALING A CARLIN-TYPE NOBLE METAL MINERALIZATION IN THE GONZHINSKY DISTRICT OF PRIAMURYE	
<i>Khomich V.G., Boriskina N.G.</i> .....	168

СТАТЬИ

УДК 630.174.776:630.27(470.54)

**ПЕРСПЕКТИВНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МОЖЖЕВЕЛЬНИКА  
СКАЛЬНОГО В ОЗЕЛЕНЕНИИ ГОРОДА ЕКАТЕРИНБУРГА**

**Бунькова Н.П., Залесов С.В., Платонов Е.П., Соловьева М.В.**

*ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет», Екатеринбург,  
e-mail: shvaleva.natasha@mail.ru, zalesov@usfeu.ru*

При ограниченном ассортименте видов древесных пород-аборигенов для озеленения северных городов решение проблемы формирования круглогодичных объектов озеленения может быть обусловлено только введением хвойных интродуцентов. Однако завоз указанных древесных интродуцентов не всегда дает положительные результаты, поскольку климатические условия часто соответствуют сохранности интродуцируемых видов, а данные о перспективности абсолютного большинства видов, сортов, форм интродуцентов в научной литературе отсутствуют. Последнее обусловило необходимость анализа перспективности хвойных видов интродуцентов, которые могут быть использованы при озеленении, в частности в городе Екатеринбурге. Проанализированы результаты исследований перспективности использования в озеленении г. Екатеринбурга двух сортов можжевельника скального *Juniperus scopulorum* Blue Arrow и *J. scopulorum* Skyrocket. На основании методики Главного ботанического сада установлено, что оба сорта относятся к классу «менее перспективные». Однако данную оценку следует считать предварительной, поскольку растения еще не вступили в стадию плодоношения. Можжевельник скальный сорта *Blue Arrow*, завезенный из Польши, великолепно переносит холодную зиму при защите его деревянными щитами. Кроме того, желательны выполнять обвязку ветвей во избежание повреждения кроны снегом. Он перспективен при озеленении небольших территорий, в частности дачных участков, коттеджей и т.п. При использовании мест общего пользования и отсутствии защиты в зимний период теряет декоративность в результате «обгорания». Сорт можжевельника *J. scopulorum* Skyrocket, завезенный из Германии, помимо обгорания характеризуется пониженной устойчивостью к загрязнению воздуха и требует особого ухода в связи с высокой поражаемостью гнилями. Сорт может быть рекомендован к использованию в озеленении только после разработки эффективного способа борьбы с гнилью. Учитывая высокую перспективность использования видов рода *Juniperus* L. при озеленении г. Екатеринбурга, исследования следует продолжить.

**Ключевые слова:** интродуценты, ассортимент, можжевельники, *Juniperus scopulorum* Sarg., перспективность, декоративность, устойчивость

**PERSPECTIVENESS OF ROCKY JUNIPER USING  
IN LANDSCAPING OF EKATERINBURG CITY**

**Bunkova N.P., Zalesov S.V., Platonov E.P., Soloveva M.V.**

*Ural State Forest Engineering University (USFEU), Yekaterinburg,  
e-mail: shvaleva.natasha@mail.ru, zalesov@usfeu.ru*

The researches results of rocky juniper two grades Blue arrow and J scopulorum skyrocket perspectiveness cising in landscaping of Ekaterinburg city has been analysed in the paper. On the base of the main Botanic garden methodic it has been deter mined that the both grades belong to a class «less perspective». However the above mentioned appraisal should be considered only as preliminary since these grades have not joined the phase of fruiting. The rocky juniper «Blue arrow» brought from Poland finely with stands cold winters when protected with shields. Besides it is advisable binding of branches to escape damaging the trees crown by snow. The method is pesspective in landscaping of smael territories, in particular, country collages, collages etc when used in public places and without protection in winter period it deprives decorative as a result of «Gurning» them. The grade of rocky juniper J. scopulorum Skyrocket brought from Germany besides «Beiua burnt» is characterized by reduced resistana to air pollution and require special caring because of its high damaging by rots. The grade can be recommended for land scaping only after working out effective meaus of rot fighting. Taking into account high perspectiveness of yrades of Juniperus type using in Ekaterinburg city landscaping the inveshigations should be continued. With a limited range of aboriginal wood species for northern cities and towns landscape gardening solving the problem of annual landscaping objects forming can be solved only by coniferous introducers introduction. However delivery of these wood introducers does not always give positive results since climatic conditions often correspond to the safety of introduced species and data on the prospsects of the species vast sorts, introducent forms vast majority in scientific sources are missing. The latter necessitated the analysis of coniferous species introducers that can be used in landscaping in Ekanerinburg city, in particular.

**Keywords:** introducents, assortments, juniper, junipers, perspectiveness, decorativeness, stability

Улучшение качества жизни населения северных городов невозможно без эффективного озеленения внутригородской застройки [1]. Не случайно подбору видов древесных растений, используемых для озеленения, уже многие годы уделяется

повышенное внимание [2]. Основной ассортимент древесных растений, используемых в озеленении городов Урала, приведен в работе Н.А. Коновалова, Н.А. Луганского и Т.Б. Сродных [3]. В указанных работах отмечается, что из 96 видов кустарников,

используемых при озеленении, лишь 5 видов относятся к хвойным. Последнее убедительно доказывает, что видовой состав аборигенной флоры таежной зоны довольно беден. Последнее создает значительные трудности в подборе видов для создания круглогодичных экспозиций. Особо следует отметить, что многие виды древесных растений обладают слабой устойчивостью к загрязнению воздуха промышленными поллютантами [4]. Указанное также создает сложности при озеленении, особенно при озеленении таких крупных промышленных городов, к каким относится г. Екатеринбург.

В Екатеринбурге функционируют несколько научных и учебных заведений, в которых уже в течение многих лет ведутся работы по установлению перспективности интродуцентов. Среди них Ботанический сад Уральского отделения Академии наук, сад лечебных культур имени профессора Л.И. Вигорова при Уральском государственном лесотехническом университете и др. В результате проделанной работы выведены новые сорта, формы, гибриды, перспективные для использования в озеленении [5–7]. Кроме того, ведутся работы по введению в озеленение интродуцентов [8]. Однако имеющихся данных недостаточно, особенно на фоне массового завоза интродуцентов из стран Западной и Восточной Европы. Назрела острая необходимость увеличения и объема работ по определению устойчивости и перспективности завозимых древесных интродуцентов с целью минимизации рисков их использования при озеленении.

Из хвойных большой интерес представляют виды семейства кипарисовые (*Cupressaceae* Gray.) рода можжевельник (*Juniperus* L.). Большинство видов данного рода устойчиво к загрязнению воздуха промышленными поллютантами и выхлопными газами автотранспорта, что позволяет широко использовать их для создания разделительных полос при строительстве автодорог [9]. Кроме того, все виды рода можжевельник выделяют летучие вещества – аэрофолины, убивающие болезнетворные бактерии, что делает их весьма перспективными при озеленении санаториев, домов отдыха, лечебных заведений [10]. Не случайно изучению можжевельников на Урале посвящены комплексные исследования ряда ученых [11].

Целью наших исследований являлось изучение перспективности использования в озеленении г. Екатеринбурга сортов можжевельника скального (*Juniperus scopulorum* Blue Arrow) и (*J. scopulorum* Skyrocket).

## Материалы и методы исследования

При проведении исследований была использована методика Главного ботанического сада [12], модифицированная С.В. Залесовым с соавторами [13].

Согласно вышеуказанной методике оценка перспективности выращивания интродуцентов учитывает следующие показатели: степень вызревания побегов, зимостойкость, сохранение габитуса, побегообразование, регулярность прироста побегов, способность к генеративному развитию, возможные способы размножения в культуре. Каждый из показателей оценивается в баллах, на основании суммы которых вид относится к одному из шести классов перспективности (табл. 1).

Таблица 1

Шкала интегральной оценки успешности интродукции

№ класса	Перспективность	Сумма баллов вида
I	Самые перспективные	91–100
II	Перспективные	76–90
III	Менее перспективные	61–75
IV	Малоперспективные	41–60
V	Неперспективные	21–40
VI	Непригодные	5–20

Указанная методика хорошо зарекомендовала себя при проведении оценки перспективности интродуцентов [14–16].

## Результаты исследования и их обсуждение

Привлекательность можжевельника скального заключается в первую очередь в форме этого растения. От самого основания ствола вверх устремляется множество веток с большим количеством разветвлений, образуя пирамидальную, овальную форму растения. Растение может размещаться и украшать ограниченные пространства. При этом цвет хвоинок у можжевельника скального в зависимости от сорта варьируется от зеленого до голубого (рис. 1).

Материалы рис. 1 наглядно свидетельствуют, что, подбирая формы можжевельника скального с различным цветом хвои, можно легко планировать декоративные композиции круглогодичного действия даже вблизи оживленных магистралей и в других местах городской застройки с повышенной концентрацией промышленных поллютантов.



Рис. 1. Внешний вид можжевельника скального

В природе можжевельник скальный встречается в Северной Америке, Канаде. Учитывая климатические условия родины вида, можно рассчитывать на успешность его интродукции на Урал. Однако в озеленении г. Екатеринбурга он практически не представлен. В то же время в садовых центрах г. Екатеринбурга можно встретить сорта можжевельника скального, завезенные из европейских питомников. В частности, имеет место сорт можжевельника скального «Blue Arrow» (*Juniperus scopulorum* Blue Arrow).

Сорт можжевельника скального «Blue Arrow» имеет узкую колоновидную форму, хвоя игловидная и чешуйчатая, сизого цвета. В г. Екатеринбурге и в окрестностях было

высажено более 40 экземпляров этого растения, завезенных в период с 2009 по 2017 г. из Польши.

Результаты оценки интродукции вида приведены в табл. 2.

Материалы табл. 2 свидетельствуют, что можжевельник скальный «Blue Arrow» на период обследования относится к группе «менее перспективные». Возможно, что после вступления в стадию генеративного развития оценка указанного сорта повысится. Однако, учитывая обгорание побегов при отсутствии защиты (рис. 2), можжевельник скальный «Blue Arrow» рекомендуется для озеленения коттеджей, садовых участков и других частных домовладений при наличии ухода и ограниченной площади озеленения. При использовании для озеленения мест общего пользования, где уход и защита на зиму отсутствуют, результаты могут быть отрицательными, поскольку велика опасность утраты растениями эстетической привлекательности.

Несмотря на то, что можжевельник скальный «Blue Arrow» имеет достаточно короткие ветви и не подвержен сильной деформации под воздействием снега, рекомендуется выполнять подвязку ветвей к основному стволу для обеспечения сохранения формы. Указанная операция сохранит пирамидальную форму кроны и предохранит ветви от обламывания, особенно при выпадении мокрого снега, что нередко наблюдается на Урале в весенний период.

Таблица 2

Результаты оценки успешности интродукции можжевельника скального «Blue Arrow»

Показатель оценки жизнеспособности растения	Результат оценки	Количество баллов
Степень ежегодного вызревания побегов	Вызревают на 100%	20
Зимостойкость растений	Обмерзает не более 50% длины однолетних побегов. Обмерзания как такового не происходит, происходит иссушение побегов под действием солнечных лучей. Если растение на зимний период полностью закрыть деревянными щитами – оно сохранится, вне зависимости от суровости зимы	20
Сохранение габитуса	Растения сохраняют присущую им форму роста и жизненную форму	10
Побегообразовательная способность	Низкая, после обмерзания или обгорания ветви не восстанавливаются и не дают новых побегов, «закрыть» оголенный участок можно только с помощью кустистости неповрежденных ветвей	1
Прирост растений в высоту	Ежегодный	5
Способность растений к генеративному развитию	Оценить невозможно, так как в стадию плодоношения растения не вступили	0
Возможные способы размножения в культуре	Искусственное вегетативное размножение	2
Интегральная оценка успешности интродукции		62



Рис. 2. Экземпляры можжевельника скального «Blue Arrow», защищенные (а) и не защищенные (б) деревянными щитами на зиму



Рис. 3. Внешний вид можжевельника скального сорта «Skyrocket»

Близким к можжевельнику скальному сорта «Blue Arrow» является сорт «Skyrocket». Можжевельник скальный «Skyrocket» (*J. scopulorum* Skyrocket) отличается от сорта «Blue Arrow» более раскидистыми ветвями и более зеленой хвоей (рис. 3).

В г. Екатеринбург растения можжевельника скального «Skyrocket» были завезены в 2009 г. из немецкого питомника «Lorerg». Результаты предварительной оценки перспективности сорта приведены в табл. 3.

Материалы табл. 3 свидетельствуют, что сорт можжевельника скального «Skyrocket», так же как и сорт можжевельника «Blue Arrow», относится к классу менее перспективных. Однако при определении перспективности важно иметь объективные данные о повреждаемости предлагаемых видов заболеваниями. Анализ состояния 20 растений можжевельников сортов «Blue Arrow» и «Skyrocket» показал, что за 7 лет наблюдений у сорта «Blue Arrow» не зафиксировано случаев заболевания. Экземпляры данного сорта страдают лишь от ожогов при отсутствии защиты от солнечных лучей в весенний период. В то же время при произрастании в близких условиях у экземпляров сорта «Skyrocket» средняя пораженность гнилями составила  $3,0 \pm 0,2$  шт/год. Другими словами в условиях г. Екатеринбурга экземпляры сорта «Skyrocket» подвержены заражению гнилями, что в сочетании с обгоранием требует систематического ухода за ними. Последний заключается в обрезке поврежденных гнилями ветвей. Кроме того, подверженность заражению гнилями следует учитывать при посадке, избегая непродуваемых мест, где гнили развиваются наиболее активно.

Таблица 3

Результаты оценки успешности интродукции можжевельника скального «Skyrocket»

Показатель оценки жизнеспособности растения	Результат оценки	Количество баллов
Степень ежегодного вызревания побегов	Вызревают на 100%	20
Зимостойкость растений	Обмерзает не более 50% длины однолетних побегов	20
Сохранение габитуса	Растения сохраняют присущую им форму роста и жизненную форму	10
Побегообразовательная способность	Низкая, после обмерзания или обгорания ветви не восстанавливаются и не дают новых побегов, «закрывать» оголенный участок можно только с помощью кустистости неповрежденных ветвей	1
Прирост растений в высоту	Ежегодный	5
Способность растений к генеративному развитию	Оценить невозможно, так как в стадию плодоношения растения не вступили	0
Возможные способы размножения в культуре	Искусственный посев	5
Интегральная оценка успешности интродукции		61

Таким образом, сорта можжевельника скального «Blue Arrow» и «Skyrocket», при близких показателях количества баллов перспективности, существенно различаются по возможности использования в озеленении города. Более широкого применения заслуживает «Blue Arrow», который уже в настоящее время, как было отмечено ранее, можно использоваться для озеленения коттеджной застройки, заводских территорий и ограниченных по площади придомовых участков, где можно обеспечить защиту его от обгорания.

Использование можжевельника скального сорта «Skyrocket» требует проведения дополнительных исследований, направленных на поиск средств борьбы с гнилью. Кроме того, указанный сорт нежелательно использовать в посадках у транспортных магистралей и на объектах озеленения внутризаводских построек, то есть в местах с повышенной концентрацией в воздухе промышленных поллютантов. При условии обнаружения эффективного способа защиты экземпляров «Skyrocket» от поражения гнилью сорт резко повысит свою перспективность для озеленения.

### Выводы

1. Хвойные интродуценты являются наиболее перспективными для озеленения городов и других населенных пунктов таежной зоны, поскольку позволяют создавать объекты озеленения круглогодично действия.

2. Виды рода *Juniperus* L. привлекательны для озеленения г. Екатеринбурга в связи со способностью выделять летучие вещества – аэрофолыны и возможностью формировать композиции, характеризующиеся круглогодичной эстетической привлекательностью.

3. Ограниченность видового состава можжевельников вызвала необходимость оценки перспективности сортов можжевельника скального «Blue Arrow» и «Skyrocket» для использования в озеленении г. Екатеринбурга.

4. Оба сорта в результате испытаний отнесены к классу «менее перспективные», но с увеличением возраста класс перспективности может быть повышен, что требует продолжения исследований.

5. Можжевельник скальный (*Juniperus scopulorum*) сорта «Blue Arrow» рекомендуется для озеленения коттеджей, дачных участков и частного домовладения, поскольку нуждается в защите в зимний период.

6. Можжевельник скальный (*J. scopulorum*) сорта «Skyrocket» требует помимо защиты от обгорания способа защиты от поражения гнилями.

### Список литературы / References

1. Жилищно-коммунальное хозяйство и качество жизни в XXI веке: Экономические модели, новые технологии и практики управления: коллективная монография / Под ред. Я.П. Силина, Г.В. Астратовой. М.: Центр «Науковедение». Екатеринбург, 2017. 600 с.

Aousing and communal services and the quality of life in the XXI: Economic models, new technologies and management collective monograph / Pod red. Ya.P. Silina, G.V. Astratovoy. M.: Tsentr «Naukovedeniye». Yekaterinburg, 2017. 600 p. (in Russian).

2. Кожевников А.П., Залесов С.В. Опыт создания коллекций плодовых и декоративных культур. Екатеринбург, 2018. 206 с.

Kozhevnikov A.P., Zalesov S.V. Experience in creating collections of fruit and decorative crops. Ekaterinburg, 2018. 206 p. (in Russian).

3. Коновалов Н.А., Луганский Н.А., Сродных Т.Б. Деревья и кустарники для озеленения городов Урала. Екатеринбург, 2010. 181 с.

Konovarov N.A., Luganskiy N.A., Srodnykh T.B. Trees and shrubs for green of the Ural towns. Ekaterinburg, 2010. 181 p. (in Russian).

4. Ионин В.М., Колташева В.Ф. Санитарно-защитные зоны г. Свердловска и их озеленения // Вопросы озеленения г. Свердловска. 1962. Вып. 1. С. 54–56.

Ionin V.M., Koltasheva V.F. Sanitary protection zones of Sverdlovsk and their gardening // Voprosy ozeleneniya g. Sverdlovsk 1962. Vol. 1. P. 54–56 (in Russian).

5. Аткина Т.И., Корлыханова Т.В., Корлыханов М.С. Тополь серебристый пирамидальный селекции Н.А. Коновалова. Екатеринбург, 2009. 99 с.

Atkina T.I., Korlykhanova T.V., Korlykhanov M.S. Topol silver pyramidal selection of N.A. Konovarov. Ekaterinburg, 2009. 99 p. (in Russian).

6. Беляева И.В., Шабуров В.И., Дьяченко А.А. Древовидные гибридные ивы в декоративном садоводстве на Среднем Урале. М.: Бюл. ГБС, 2005. 180 с.

Belyaeva I.V., Shaburov V.I., Dyachenko A.A. Tree-like hybrid willows in decorative gardening in the Middle Urals. M.: Byul. GBS, 2005. 180 p. (in Russian).

7. Оплетев А.С., Залесов С.В., Кожевников А.П. Новая декоративная форма ели сибирской (*Picea obovata* Ledeb.) // Аграрный вестник Урала. 2016. № 6 (148). С. 40–44.

Opletaev A.S., Zalesov S.V., Kozhevnikov A.P. New decorative form of Siberian spruce (*Picea obovata* Ledeb.) // Agrarnyy vestnik Urals. 2016. № 6 (148). P. 40–44 (in Russian).

8. Мамаев С.А., Семкина Л.А. Интродуцированные деревья и кустарники Урала (розоцветные). Свердловск, 1988. 105 с.

Mamaev S.A., Semkina L.A. Introduced trees and shrubs of the Urals (Rosaceae). Sverdlovsk, 1988. 105 p. (in Russian).

9. Залесов С.В., Козлов О.А., Ускин А.А. Технологии обустройства автомобильных дорог зелеными насаждениями для обеспечения комплексной защиты и безопасности дорожного движения // Актуальные вопросы проектирования автомобильных дорог: сборник научных трудов ОАО ГИПРОДОРНИИ. 2014. № 5 (64). С. 130–135.

Zalesov S.V., Kozlov O.A., Uskin A.A. Technologies of arrangement of highways with green plantings for providing complex protection and safety of road traffic // Aktual'nyye voprosy proyektirovaniya avtomobil'nykh dorog: sbornik nauchnykh trudov OAO GIPRODORNII. 2014. № 5 (64). P. 130–135 (in Russian).

10. Хайретдинов А.Ф., Залесов С.В. Введение в лесоводство. Екатеринбург, 2011. 202 с.

- Highretdinov A.F., Zalesov S.V. Introduction to forestry. Ekaterinburg, 2011. 202 p. (in Russian).
11. Кожевников А.П., Тишкина Е.А. Экология можжевельника. Екатеринбург, 2011. 144 с.
- Kozhevnikov A.P., Tishkina E.A. Juniper ecology. Ekaterinburg, 2011. 144 p. (in Russian).
12. Куприянов А.Н. Интродукция растений: учебное пособие. Кемерово, 2004. 96 с.
- Kupriyanov A.N. Plant introduction: tutorial. Kemerovo, 2004. 96 p. (in Russian).
13. Залесов С.В., Платонов Е.П., Гусев А.В. Перспективность древесных интродуцентов для озеленения в условиях средней подзоны тайги Западной Сибири // Аграрный вестник Урала. 2011. № 4 (83). С. 56–58.
- Zalesov S.V., Platonov E.P., Gusev A.V. Prospect of woody introducer for landscaping of the middle subzone the western Siberia taiga // Agrarnyy vestnik Urala. 2011. № 4 (83). P. 56–58 (in Russian).
14. Гусев А.В. Перспективность использования древесных интродуцентов в озеленении г. Ханты-Мансийска (средняя подзона тайги Западной Сибири): автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. Екатеринбург, 2011. 20 с.
- Gusev A.V. Perspects of woody introducers in landscaping of Khanty-Mansiysk (middle subzone of taiga in West Siberia): avtoref. dis. ... kand. s.-kh. nauk. Ekaterinburg, 2011. 20 p. (in Russian).
15. Ражанов М.Р. Перспективный ассортимент древесно-кустарниковых видов для лесоразведения в Северном Казахстане: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. Екатеринбург, 2015. 24 с.
- Rozhanov M.R. Perspective assortment of tree and shrub species for afforestation in Northern Kazakhstan: avtoref. dis. ... kand. s.-kh. nauk. Ekaterinburg, 2015. 24 p. (in Russian).
16. Крекова Я.А. Оценка перспективности хвойных интродуцентов для озеленения и лесоразведения на территории Казахского мелкосопочника: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. Екатеринбург, 2018. 24 с.
- Krekova J.A. Assessment of coniferous introduced tree species for greening and afforestation on the territory of Kazakhskogo melcosopochnika: avtoref. dis. ... kand. s.-kh. nauk. Ekaterinburg, 2018. 24 p. (in Russian).

УДК 630\*27:630\*114.53:625.77

## ХВОЙНЫЕ ДЕРЕВЬЯ КАК БИОИНДИКАТОРЫ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ГОРОДСКОЙ СРЕДЫ ПОЛИЦИКЛИЧЕСКИМИ АРОМАТИЧЕСКИМИ УГЛЕВОДОРОДАМИ

Михайлова Т.А., Шергина О.В., Калугина О.В., Тараненко Е.Н.

ФГБУН «Сибирский институт физиологии и биохимии растений Сибирского отделения  
Российской академии наук», Иркутск, e-mail: sherolga80@mail.ru

Полициклические ароматические углеводороды (ПАУ) относятся к наиболее опасным для живых организмов техногенным поллютантам. В крупных городах одним из основных источников техногенных ПАУ являются выбросы автотранспорта. К таким городам принадлежит и Иркутск, где на автотранспорт приходится более 60% выбросов загрязняющих веществ. Цель данной работы – оценить уровень загрязнения территории города ПАУ по их накоплению в хвое сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) и лиственницы сибирской (*Larix sibirica* Ledeb.). Отбор проб хвои производился на 9 ключевых участках, расположенных вблизи улиц с наибольшей интенсивностью автотранспортных потоков. В хвое определяли суммарное содержание ПАУ и концентрацию 14 индивидуальных соединений. Показано выраженное загрязнение городской территории этими поллютантами, превышение фонового уровня ПАУ в хвое сосны составляло от 1,5 до 18 раз, в хвое лиственницы – от 5 до 17 раз. По процентной доле и по соотношению преобладают соединения, имеющие в структуре 3–4 ароматических кольца (фенантрен, антрацен, флуорантен, пирен, бенз[а]антрацен, хризен), в то время как доля высокотоксичных соединений с 5–6 кольцами (бенз[б]флуорантен, бенз[к]флуорантен, бенз[е]пирен, бенз[а]пирен, перилен, индено[1,2,3-с,d]пирен, бензо[g,h,i]перилен, дибенз[а,h]антрацен) значительно ниже. Разное в количественном и качественном отношении загрязнение участков городской территории ПАУ является следствием влияния целого ряда факторов, в том числе локальной интенсивности автотранспортной нагрузки, скорости рассеивания загрязнённых потоков воздуха, частоты осадков, степени инсоляции и других. Несовпадения результатов по накоплению структурно разных ПАУ в хвое сосны и лиственницы, возможно, вызваны видовой анатомо-биохимической спецификой ассимиляционных органов этих тест-объектов.

**Ключевые слова:** полициклические ароматические углеводороды (ПАУ), выбросы автотранспорта, биоиндикаторы, сосна обыкновенная, лиственница сибирская

## CONIFERS AS BIOINDICATORS OF URBAN AREA POLLUTION BY POLYCYCLIC AROMATIC HYDROCARBONS

Mikhailova T.A., Shergina O.V., Kalugina O.V., Taranenko E.N.

Siberian Institute of Plant Physiology & Biochemistry Siberian Branch of the Russian Academy  
of Sciences, Irkutsk, e-mail: sherolga80@mail.ru

Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) are among the most toxic technogenic pollutants for living organisms. In large cities, one of the main sources of technogenic PAHs is motor vehicle emissions. Irkutsk also belongs to such cities, where motor transport accounts for more than 60% of pollutant emissions. The purpose of this work is to evaluate the level of PAHs pollution in the city territory by accumulation these pollutants in the needles of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) and Siberian larch (*Larix sibirica* Ledeb.). Needles were sampled at 9 sample plots located near the streets with the highest intensity of traffic. In the needles, the total content of PAHs and the concentration of 14 individual compounds have been determined. The needles have been shown to accumulate a significant amount of PAHs. The excess of the background level PAHs in pine needles is from 1.5 to 18 times, in larch needles – from 5 to 17 times. Compounds having 3–4 aromatic rings (phenanthrene, anthracene, fluoranthene, pyrene, benz [a] anthracene and chrysene) prevail in the percentage and ratio, while the proportion of highly toxic compounds with 5–6 rings (benz[b]fluoranthene, benz[k]fluoranthene, benz[e]pyrene, benz[a]pyrene, perylene, indeno[1,2,3-с,d]pyrene, benzo[g,h,i]perylene, dibenz[a,h]anthracene) is much lower. Differences in PAHs pollution in urban areas may be due to the influence of a number of factors, including the local intensity of the road load, the dispersion rates of polluted air flows, precipitation frequency, degree of insolation. The discrepancy between the results of the accumulation different PAHs in pine and larch needles is probably caused by the specific anatomical and biochemical characteristics of the assimilation organs of these test objects.

**Keywords:** polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs), urban area, bioindicators, Scots pine, Siberian larch

В современный период большинство городских территорий испытывают значительное воздействие такого негативного фактора, как техногенное загрязнение [1; 2]. В их числе и города Восточной Сибири, включая Иркутск, где индекс загрязнения воздушного бассейна соответствует высокому уровню [3]. В составе аэровыбро-

сов Иркутска постоянно присутствуют загрязняющие вещества разных классов токсичности, среди них и полициклические ароматические углеводороды (ПАУ), относящиеся к наиболее опасным для живых организмов [4]. Источники техногенных ПАУ – это все основные отрасли промышленности (металлургическая, не-

фтехимическая, коксохимическая, тепло-энергетика) и автотранспорт. В г. Иркутске именно на автотранспорт приходится основная доля (60% и более) выбросов загрязняющих веществ в общем их объёме [3]. По химическому строению ПАУ представляют собой высокомолекулярные органические соединения, отличающиеся количеством бензольных колец в структуре молекулы и способом их конденсации. ПАУ химически устойчивы и практически нерастворимы в воде [5]. Гидрофобность ПАУ обуславливает их способность проникать через биологические барьеры и накапливаться в клетках живых организмов. Это же свойство делает молекулы ПАУ труднодоступными для ферментных систем, участвующих в биодеградации ксенобиотиков. Токсичность ПАУ можно охарактеризовать как совокупность мутагенных, тератогенных и канцерогенных их свойств. При этом степень опасности индивидуальных ПАУ возрастает с увеличением молекулярной массы, а также при наличии в бензольном кольце алкильных или других заместителей. Поступающие с техногенными эмиссиями ПАУ могут распространяться во всех природных средах. В атмосферном воздухе эти вещества находятся в газообразном состоянии или в виде аэрозолей, сорбируясь на частицах пыли. В почве накопление ПАУ происходит при седиментации частиц пыли из атмосферного воздуха, при вымывании и выщелачивании из неконтролируемых отвалов и захоронений промышленных отходов. Установлена также интенсивная сорбция ПАУ снежным покровом.

Измерение концентраций ПАУ и других поллютантов в разных средах лежит в основе традиционных методов мониторинга загрязнения окружающей среды. Однако подобные методы имеют ряд технических ограничений, в то время как применение биологических индикаторов характеризуется определёнными преимуществами, например даёт возможность установить пространственное перемещение загрязнённых воздушных масс по результатам аккумуляции поллютантов в биологических объектах на разных расстояниях от источников эмиссий в течение конкретного временного промежутка. Кроме того, биологические индикаторы позволяют одновременно оценить негативный эффект загрязнения на биоту, в том числе проследить изменения в экосистемах [6]. При выборе биоиндикаторов мы руководствовались рядом

критериев, основным из которых является высокая чувствительность организма к воздействию техногенных поллютантов. С этих позиций в качестве биоиндикаторов предпочтительнее растительные организмы (продуценты), поскольку они обладают высокочувствительным к любым воздействиям фотосинтетическим аппаратом, которого нет у консументов и редуцентов. Нами в качестве биоиндикаторов выбраны два вида хвойных деревьев: сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris* L.) и лиственница сибирская (*Larix sibirica* Ledeb.). Показано, что эти виды, помимо широкого распространения и важных лесообразующих функций, обладают высокой чувствительностью к техногенным поллютантам. При этом хвоя сосны обыкновенной может считаться универсальным биоиндикатором, поскольку характеризуется не только выраженными аккумулялирующими свойствами по отношению к органическим и неорганическим загрязнителям, но и является по существу всесезонным тест-объектом в отличие от опадающей на зиму хвои лиственницы. Значительные анатомические различия в строении покровных тканей хвои этих видов также могут обусловить специфику аэральное накопления загрязняющих веществ. Кроме того, по нашим данным, суммарное содержание ПАУ в хвое лиственницы даже на фоновых территориях довольно высоко в сравнении с хвоей сосны. Пока не ясно, является ли это результатом эндогенного синтеза ПАУ растительным организмом или следствием их поглощения из почвы, где они могут присутствовать в определённых концентрациях [5]. Тем не менее высокий фоновый уровень определяемых веществ в растении-индикаторе может привести к неоднозначным результатам в случае его применения для мониторинга поллютантов в природных объектах. Возможно, поэтому сведения, касающиеся использования хвои лиственницы для мониторинга загрязнения окружающей среды ПАУ, довольно редки. Между тем сравнительные исследования этих двух тест-объектов представляют научный и практический интерес, поскольку могут дать ответ на вопрос о возможности их взаимозаменяемости в мониторинге при определённых обстоятельствах. Например, при отсутствии одного из видов хвойных на территории обследования.

Цель данной работы: оценить уровень загрязнения территории крупного города техногенными ПАУ по накоплению

этих поллютантов в двух тест-объектах – хвое сосны обыкновенной и лиственницы сибирской.

### Материалы и методы исследования

Полигоном исследований служила территория города Иркутска (Восточная Сибирь, 52°17'52" с.ш., 104°17'47" в.д.), имеющего развитую промышленную и транспортную инфраструктуру. Обследовались зелёные насаждения парков и лесопарков в разных районах города на 9 ключевых участках, расположенных вблизи улиц, характеризующихся значительной интенсивностью автотранспортных потоков: I – насаждения вблизи транспортной развязки в центре города; II – парк вблизи центра города на левом берегу р. Ангары; III – парк в центре города на правом берегу р. Ангары; IV – парк в северо-западной части города; V – парковая зона в юго-западной части вблизи автодороги; VI – лесопарк в юго-восточной части города; VII – насаждения в южной части города вблизи дороги; VIII – зона отдыха вблизи набережной в юго-восточной части города; IX – центральный городской парк на острове Юность. На каждом участке отбирали пробы хвои сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) и лиственницы сибирской (*Larix sibirica* Ledeb.) для последующего их анализа на содержание ПАУ по методу, разработанному А.Г. Горшковым [7]. Фоновый (контрольный) ключевой участок располагался на расстоянии более 200 км от города, где содержание ПАУ в ассимиляционных органах деревьев соответствует естественному. Отбор проб хвои на каждом ключевом участке проводили в конце вегетационного сезона с 5–6 деревьев 40–45-летнего возраста, срезая ветви в верхней и средней частях кроны. В лабораторных условиях хвою отделяли от побегов, каждую пробу тщательно перемешивали, в целом масса пробы свежей хвои (сырой вес) составляла примерно 2 кг. Анализировали хвою сосны 2-го года жизни (как наиболее физиологически активную) и хвою развитых брахибластов лиственницы. Каждая проба хвои анализировалась в трёх повторностях. Для всех аналитических повторностей брали две навески хвои по 10 г каждая. В первой оценивали влажность хвои, высушивая её до постоянного веса при температуре +60 °С в течение 12–14 ч, из второй экстрагировали ПАУ. При экстракции ПАУ к образцу хвои добавляли 100 мл *n*-гексана и 0,05 мл раствора внутреннего стандар-

та (смесь аценафтена-d<sub>10</sub>, фенантрена-d<sub>10</sub>, хризена-d<sub>12</sub> и перилена-d<sub>12</sub> в *i*-пропиловом спирте с концентрацией 5 мкг/мл каждого). Экстракцию проводили в течение 0,5 ч при комнатной температуре в ультразвуковой ванне дважды. Объединенный экстракт концентрировали, фракцию ПАУ выделяли методом твердофазной экстракции на картридже силикагелем с последующей реэкстракцией сконцентрированного элюата из *n*-гексана в метанол. Определение ПАУ (суммы и индивидуальных соединений) проводили на хроматомасс-спектрометре Agilent, GC System 6890, MSD 5973 при следующих условиях: колонка DB-5MS, 30 м x 250 мкм; температурный режим колонки: 95 °С в течение 0,5 мин., далее градиент до 310 °С, 10 °С/мин. и 8 мин. при 310 °С; температура инжектора 290 °С; объём вводимого образца 2 мкл в режиме splitless. ПАУ детектировали по характеристичным ионам с *m/z*: 152 (аценафтилен), 154 (аценафтен), 164 (аценафтен-d<sub>10</sub>), 166 (флуорен), 178 (фенантрен и антрацен), 188 (фенантрен-d<sub>10</sub> и антрацен-d<sub>10</sub>), 202 (флуорантен и пирен), 228 (бенз[а]антрацен и хризен), 240 (хризен-d<sub>12</sub>), 252 (бенз[б]флуорантен, бенз[к]флуорантен бенз[е]пирен, бенз[а]пирен и перилен), 264 (перилен-d<sub>12</sub>), 276 (индено[1,2,3-с,d]пирен и бенз[g,h,i]перилен) и 278 (добенз[а,h]пирен). Хроматограф калибровали по двум параллельным сериям калибровочных растворов с концентраций ПАУ от 20 до 2000 нг·мл<sup>-1</sup>. Калибровочные графики:  $m_{\text{ПАУ}}/m_{\text{ст}} = k(S_{\text{ПАУ}}/S_{\text{ст}})$  имели коэффициенты корреляции не менее 0,985–0,998, где:  $m_{\text{ПАУ}}$ ,  $m_{\text{ст}}$  – массы ПАУ и стандарта, соответственно, в анализируемом экстракте, нг;  $S_{\text{ПАУ}}$ ,  $S_{\text{ст}}$  – площадь пика определяемого ПАУ и стандарта, соответственно, отн. ед.;  $k$  – калибровочный коэффициент. Концентрацию ПАУ в хвое (с учётом влажности) рассчитывали в нг/г как среднее значение по результатам определений в параллельных пробах. Погрешность определения индивидуальных ПАУ оценена в диапазоне  $\delta$  от 8 до 12%, суммы ПАУ – 7,4%.

### Результаты исследования и их обсуждение

Обнаружено, что на фоновом ключевом участке суммарный уровень ПАУ в хвое сосны составляет в среднем 57 нг/г, в хвое лиственницы – 290 нг/г. Значительные различия по естественному (фоновому) содержанию ПАУ в хвое обусловлены, по-видимому, физиолого-биохимическими

особенностями этих двух видов древесных растений, вследствие чего хвоя лиственницы характеризуется изначально высоким содержанием в ней фенантрена, флуорантена, пирена и хризена, их общее количество (265 нг/г) почти в 6 раз превышает таковое (46 нг/г) в хвое сосны.

На ключевых участках городской территории полученные данные показывают значительный диапазон в содержании ПАУ (суммарного количества и индивидуальных соединений) в хвое сосны и лиственницы (табл. 1). Судя по этим данным, имеет место выраженное загрязнение городской территории ПАУ. Так, превышение фонового уровня этих поллютантов на ключевых участках в хвое сосны составляет от 1,5 до 18 раз, в хвое лиственницы – от 5 до 17 раз. При этом максимальные концентрации ПАУ в хвое и сосны, и лиственницы регистрируются на ключевом участке I (вблизи крупной транспортной развязки). Помимо этого, на территории г. Иркутска высокий уровень поллютантов ( $\Sigma$  ПАУ) в хвое сосны обнаруживается в его центральной части (ключевой участок III), а также вблизи крупной автодороги в юго-западной части (ключевой участок V), превышение фона здесь составляет 11–12 раз. Накопление ПАУ в хвое в 2,5–5,1 раза выше фонового отмечается на четырёх ключевых участках, расположенных в разных районах города, в том числе в некотором отдалении от автомагистралей. Довольно низкий уровень ПАУ выявлен в юго-восточной части городской территории (ключевые участки VI и VIII), из них самый низкий – вблизи набережной р. Ангары в микрорайоне Солнечный. В хвое лиственницы высокое накопление ПАУ, помимо ключевого участка I, обнаружено также на участке II (в 10,3 раза больше фонового), расположенном вблизи центра города на левом берегу р. Ангары. Несколько меньший уровень поллютантов регистрируется на ключевых участках III и IV (центральный парк на правом берегу Ангары, парк на северо-западе города), на остальных ключевых участках суммарное количество ПАУ в хвое превышает фоновое в 5,1–5,7 раза, из них минимальное содержание выявляется на ключевом участке IX (парковая зона на о. Юность). Таким образом, не всегда проявляется соответствие данных по накоплению ПАУ хвоей сосны и лиственницы, но однозначно можно говорить о наличии очень высокого загрязнения выбросами автотранспорта

ключевого участка I и о загрязнении в той или иной степени всей остальной городской территории этими поллютантами.

При определении индивидуальных ПАУ в хвое сосны идентифицировано 14 соединений (табл. 1). Показано, что в большинстве случаев, а именно на семи ключевых участках, преобладают и по процентной доле, и по соотношению газобразные летучие соединения, имеющие в структуре 3–4 ароматических кольца: фенантрен, антрацен, флуорантен, пирен, бенз[a]антрацен и хризен (табл. 2). Доля (в процентах) соединений с 5–6 кольцами – бенз[b]флуорантена, бенз[k]флуорантена, бенз[e]пирена, бенз[a]пирена, перилена, индено[1,2,3-c,d]пирена, бензо[g,h,i]перилена, дибенз[a,h]антрацена – значительно ниже, поскольку они, как правило, адсорбированы на твёрдых носителях (пыль, сажа) и характеризуются более низкой летучестью, но в то же время особенно высокой токсичностью для биоты [4]. Вместе с тем не следует считать, что ПАУ с 3–4 ароматическими кольцами менее опасны – при высоком содержании и хроническом воздействии их токсичность для живых организмов может существенно возрастать [5]. Превалирование в хвое ПАУ с 3–4 кольцами в структуре характерно и для фонового ключевого участка, то есть для незагрязнённой хвои сосны из мест естественного её произрастания. Но в условиях техногенного загрязнения показатели качественного состава ПАУ изменяются (табл. 2). Так, на ключевом участке V, расположенном вблизи автодороги с довольно интенсивным движением, в хвое сосны обнаруживается примерно одинаковая процентная доля и легколетучих, и менее летучих соединений. Ключевой участок VII, где суммарное количество поллютантов намного меньше, чем на участке V, выделяется повышенной долей накопления в хвое ПАУ с 5–6 ароматическими кольцами. Участки III и IX характеризуются значительным превалированием содержания в хвое летучих ПАУ и минимальной долей наиболее токсичных. Что касается лиственницы, то динамика структурно разных ПАУ в ее хвое на обследованных ключевых участках сходна – и на фоновом ключевом участке, и на всех городских участках регистрируется явное преобладание ПАУ, имеющих в структуре 3–4 ароматических кольца, доля ПАУ с 5–6 кольцами в структуре варьирует от 10 до 26%, а по соотношению – меньше от 3 до 9 раз.

**Таблица 1**

Содержание суммы ПАУ и индивидуальных соединений (нг/г сух. веса,  $\delta = 10\%$ ) в хвое сосны обыкновенной (в числителе) и лиственницы сибирской (в знаменателе) на территории г. Иркутска

ПАУ	Номер ключевого участка								
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII*	IX
Сумма ( $\Sigma$ ПАУ)	$\frac{1005}{4875}$	$\frac{245}{3011}$	$\frac{700}{2156}$	$\frac{213}{2046}$	$\frac{610}{1665}$	$\frac{99}{1586}$	$\frac{143}{1495}$	82	$\frac{290}{1475}$
ФЕН	$\frac{170}{990}$	$\frac{61}{778}$	$\frac{77}{285}$	$\frac{63}{252}$	$\frac{220}{252}$	$\frac{29}{189}$	$\frac{15}{318}$	35	$\frac{68}{495}$
АНТ	$\frac{9,1}{110}$	$\frac{0,8}{63}$	$\frac{3,0}{9,0}$	$\frac{1,1}{7,0}$	$\frac{9,4}{10,0}$	$\frac{<0,2}{4,0}$	$\frac{<0,2}{3,0}$	2,0	$\frac{0,8}{36}$
ФЛУ	$\frac{243}{1088}$	$\frac{40}{661}$	$\frac{107}{387}$	$\frac{29}{321}$	$\frac{23}{380}$	$\frac{12}{244}$	$\frac{24}{70}$	8,6	$\frac{53}{71}$
ПИР	$\frac{360}{1400}$	$\frac{78}{644}$	$\frac{470}{388}$	$\frac{58}{317}$	$\frac{1,4}{371}$	$\frac{18}{266}$	$\frac{10}{83}$	6,1	$\frac{110}{36}$
БаА	$\frac{30}{220}$	$\frac{7,9}{131}$	$\frac{2,6}{169}$	$\frac{5,9}{146}$	$\frac{6,4}{76}$	$\frac{5,9}{80}$	$\frac{1,7}{80}$	2,1	$\frac{7,3}{128}$
ХР	$\frac{94}{588}$	$\frac{22}{415}$	$\frac{20}{535}$	$\frac{30}{530}$	$\frac{32}{371}$	$\frac{3,4}{463}$	$\frac{9,3}{550}$	9,2	$\frac{27}{360}$
БьФ	$\frac{29}{168}$	$\frac{11}{119}$	$\frac{8,1}{134}$	$\frac{11}{193}$	$\frac{95}{90}$	$\frac{8,1}{134}$	$\frac{20}{157}$	6,0	$\frac{9,1}{122}$
БкФ	$\frac{35}{157}$	$\frac{12}{122}$	$\frac{6,3}{145}$	$\frac{9,0}{172}$	$\frac{143}{13}$	$\frac{7,4}{122}$	$\frac{21}{148}$	4,5	$\frac{7,6}{130}$
БеП	$\frac{16}{76}$	$\frac{5,7}{48}$	$\frac{4,2}{54}$	$\frac{4,7}{66}$	$\frac{44}{60}$	$\frac{4,6}{49}$	$\frac{14}{42}$	3,0	$\frac{4,0}{50}$
БаП	$\frac{6,5}{31}$	$\frac{2,1}{12}$	$\frac{2,1}{28}$	$\frac{1,6}{22}$	$\frac{20}{22}$	$\frac{7,6}{13}$	$\frac{23}{20}$	5,5	$\frac{1,3}{19}$
ПЕР	$\frac{1,4}{4,0}$	$\frac{<0,2}{<0,2}$	$\frac{<0,2}{3,0}$	$\frac{<0,2}{<0,2}$	$\frac{2,6}{<0,2}$	$\frac{3,6}{3,0}$	$\frac{<0,2}{6,0}$	<0,2	$\frac{0,3}{6,0}$
ИНП	$\frac{5,5}{21}$	$\frac{2,0}{10}$	$\frac{<0,2}{11}$	$\frac{<0,2}{12}$	$\frac{7,2}{9,0}$	$\frac{<0,2}{11}$	$\frac{2,7}{13}$	<0,2	$\frac{1,0}{11}$
БП	$\frac{5,5}{22}$	$\frac{2,5}{9,0}$	$\frac{<0,2}{9,0}$	$\frac{<0,2}{9,0}$	$\frac{6,1}{11}$	$\frac{<0,2}{9,0}$	$\frac{4,0}{8,0}$	<0,2	$\frac{0,8}{11}$
ДБА	$\frac{<0,2}{<0,2}$	$\frac{<0,2}{<0,2}$	$\frac{<0,2}{<0,2}$	$\frac{<0,2}{<0,2}$	$\frac{<0,2}{<0,2}$	$\frac{<0,2}{<0,2}$	$\frac{<0,2}{<0,2}$	<0,2	$\frac{<0,2}{<0,2}$

Обозначения: ФЕН – фенантрен, АНТ – антрацен, ФЛУ – флуорантен, ПИР – пирен, БаА – бенз[а]антрацен, ХР – хризен, БьФ – бенз[б]флуорантен, БкФ – бенз[к]флуорантен, БеП – бенз[е]пирен, БаП – бенз[а]пирен, ПЕР – перилен, ИНП – индено[1,2,3-с,д]пирен, БП – бензо[g,h,i]перилен, ДБА – дибенз[а,h]антрацен.

Примечание: \* – для ключевого участка VIII приводятся данные только для хвои сосны, поскольку деревья лиственницы здесь отсутствуют.

**Таблица 2**

Процентная доля и соотношение структурно разных ПАУ в хвое сосны (в числителе) и лиственницы (в знаменателе) на ключевых участках

ПАУ, имеющие в структуре	Номер ключевого участка									Фон
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII*	IX	
3–4 ароматических кольца, %	$\frac{90}{90}$	$\frac{86}{89}$	$\frac{97}{82}$	$\frac{87}{77}$	$\frac{49}{88}$	$\frac{69}{79}$	$\frac{42}{74}$	75	$\frac{91}{76}$	$\frac{84}{90}$
5–6 ароматических колец, %	$\frac{10}{10}$	$\frac{14}{11}$	$\frac{3}{18}$	$\frac{13}{23}$	$\frac{51}{12}$	$\frac{31}{21}$	$\frac{58}{26}$	25	$\frac{9}{24}$	$\frac{16}{10}$
Соотношение ПАУ <sub>(3-4)</sub> :ПАУ <sub>(5-6)</sub>	$\frac{9:1}{9:1}$	$\frac{6:1}{8:1}$	$\frac{32:1}{5:1}$	$\frac{6:1}{3:1}$	$\frac{1:1}{7:1}$	$\frac{2:1}{4:1}$	$\frac{0,7:1}{3:1}$	3:1	$\frac{10:1}{3:1}$	$\frac{5:1}{9:1}$

Примечание: \* – данные для хвои сосны.

### Заключение

В соответствии с полученными данными по концентрациям индивидуальных ПАУ в хвое деревьев можно констатировать, что загрязнение городской территории большей частью вызвано летучими соединениями, имеющими в структуре 3–4 ароматических кольца. Рассчитанные процентные доли и соотношения ПАУ(3–4)/ПАУ(5–6) иллюстрируют специфику загрязнения городской среды, указывая участки с наибольшей долей высокоагрессивных соединений (ПАУ с 5–6 кольцами в структуре) в хвое сосны и лиственницы, хотя суммарное накопление поллютантов ( $\Sigma$  ПАУ) здесь может быть меньше, чем на других ключевых участках. Неравнозначное количественное и качественное загрязнение участков городской территории ПАУ может быть следствием влияния целого ряда факторов, включая локальную интенсивность техногенной (автотранспортной) нагрузки, скорость переноса и рассеивания загрязнённых потоков воздуха, частоту осадков, степень инсоляции, плотность застройки, состояние насаждений. Что касается выбора хвои сосны или лиственницы в качестве тест-объекта для оценки загрязнения городской среды ПАУ, то полученные данные не дают однозначного ответа, какой тест-объект «лучше». Оба достаточно адекватно выявили, что практически вся территория города загрязнена этими поллютантами, причем в большинстве случаев преобладают газообразные легколетучие ПАУ. Определённые несовпадения результатов по накоплению в хвое структурно разных ПАУ могут быть вызваны, помимо видовой анатомо-биохимической специфики ассимиляционных органов сосны и лиственницы, ещё и разной удаленностью их мест произрастания от автомагистралей даже в пределах одного ключевого участка. Кроме того, в практическом плане полученные результаты необходимы

для разработки подхода к определению регулирующих экосистемных услуг/функций, выполняемых городскими насаждениями. В частности, для расчета оптимальной площади зеленых массивов, способных поглощать техногенные поллютанты и очищать атмосферный воздух города.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Правительства Иркутской области в рамках научного проекта № 20-44-380016.*

### Список литературы / References

1. Голохваст К.С., Чернышев В.В., Угай С.М. Выбросы автотранспорта и экология человека (обзор литературы) // Экология человека. 2016. № 1. С. 9–14.
2. Golokhvast K.S., Chernyshev V.V., Ugay S.M. Car Exhausts and Human Ecology (Literature review) // *Ekologiya cheloveka*. 2016. № 1. P. 9–14 (in Russian).
3. Yan D., Wu S., Zhou S., Tong G., Li F., Wang Yu., Li B. Characteristics, sources and health risk assessment of airborne particulate PAHs in Chinese cities: A review. *Environmental Pollution*. 2019. V. 248. 804–814. DOI: 10.1016/j.envpol.2019.02.068.
4. Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Иркутской области в 2018 году». Иркутск: ООО Мегапринт, 2019. 307 с.
5. State report «On the state and environmental protection of the Irkutsk region in 2018». Irkutsk: ООО Megaprint, 2019. 307 p. (in Russian).
6. Abdel-Shafy H.I., Mansour M.S.M. Review on polycyclic aromatic hydrocarbons: source, environmental impact, effect on human health and remediation. 2016. *Egyptian Journal of Petroleum*. V. 25. 107–123. DOI: 10.1016/j.ejpe.2015.03.011.
7. Ровинский Ф.Я., Теплицкая Т.А., Алексеева Т.А. Фоновый мониторинг полициклических ароматических углеводородов. Л.: Гидрометеоздат, 1988. 224 с.
8. Rovinskiy F.Ya., Teplitskaya T.A., Alekseeva T.A. Background monitoring of polycyclic aromatic hydrocarbons. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1988. 224 p. (in Russian).
9. AL-Alam J., Chbani A., Faljoun Z., Millet M. The use of vegetation, bees, and snails as important tools for the biomonitoring of atmospheric pollution – a review. *Environmental Science and Pollution Research*. 2019. V. 26. P. 9391–9408. DOI: 10.1007/s11356-019-04388-8.
10. Горшков А.Г. Определение полициклических ароматических углеводородов в хвое сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) – биомонитор загрязнения атмосферы // Журнал аналитической химии. 2008. Т. 63. № 8. С. 880–886.
11. Gorshkov A.G. Determination of polycyclic aromatic hydrocarbons in the needles of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.), a biomonitor of atmospheric pollution. *Journal Analytical Chemistry*. 2008. V. 63. No. 8. P. 805–811.

УДК 630\*311:004.4

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ РЕАЛЬНОЙ ВЕЛИЧИНЫ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ ПУТИ НА ВЫВОЗКЕ ДРЕВЕСИНЫ В РАЗЛИЧНЫХ ПРИРОДНО-ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ УСЛОВИЯХ

<sup>1</sup>Мохирев А.П., <sup>1</sup>Позднякова М.О., <sup>2</sup>Рукомойников К.П.

<sup>1</sup>Лесосибирский филиал ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет науки и технологий им. М.Ф. Решетнева», Лесосибирск, e-mail: ale-mokhirev@yandex.ru;

<sup>2</sup>Поволжский государственный технологический университет, Йошкар-Ола, e-mail: rukomojnikovkp@volgatech.net

Исследование представляет собой анализ практических данных о движении лесовозного транспорта в различных природно-климатических и производственных условиях, таких как рельеф местности, метеорологические явления, сезонность (период года), дорожные условия, уровень удобства движения автотранспорта. На основании имеющейся информации выведены зависимости величины пропускной способности от рассмотренных факторов. Рассмотрены основные способы определения пропускной способности на практике, принятые в современной теории эффективной логистики. Исследовано понятие скорости движения автомобилей как базового показателя в определении пропускной способности, а также влияние на скорость приведенных факторов. На основании проведенного исследования выявлены ключевые группы факторов, оказывающих влияние на изменение величины пропускной способности. Авторами разработана и обоснована оптимальная классификация сезонов года, определяющих величину пропускной способности, основанная на совокупности схожих природно-климатических условий. Отдельно выделены и рассмотрены сущность и влияние метеорологических явлений, а также понятие их последствие как важного фактора изменения пропускной способности пути. Приведена классификация метеорологических явлений по степени опасности для дорожного движения. Установлены зависимости между применяемыми типами дорожного покрытия и влиянием различных факторов на изменение пропускной способности пути. Также исследование охватывает не природные факторы, такие как уровень загрузки дороги, плотность потока. Отдельное внимание уделяется взаимному влиянию автотранспортных средств, предложены методы его расчета на практике. Установлены основные показатели оптимальных значений этих факторов. Выведен уровень влияния, оказываемого на пропускную способность лесовозной дороги различными группами факторов.

**Ключевые слова:** пропускная способность пути, транспортировка леса, природно-климатические условия, дорожные условия, сезонность, лесовозная дорога

## DETERMINATION OF THE ACTUAL CAPACITY OF THE ROAD FOR WOOD REMOVAL IN VARIOUS NATURAL AND PRODUCTION CONDITIONS

<sup>1</sup>Mokhirev A.P., <sup>1</sup>Pozdnyakova M.O., <sup>2</sup>Rukomojnikov K.P.

<sup>1</sup>Lesosibirsk Branch of Reshetnev Siberian State University of Science and Technology, Lesosibirsk, e-mail: ale-mokhirev@yandex.ru;

<sup>2</sup>Volga State University of Technology, Yoshkar-Ola, e-mail: rukomojnikovkp@volgatech.net

The study is an analysis of practical data on the movement of timber transport in various climatic and industrial conditions, such as: terrain, meteorological phenomena, seasonality (period of the year), road conditions, the level of convenience of motor transport. Based on the available information, the dependencies of the throughput value on the factors considered are derived. The main methods of determining throughput in practice, adopted in the modern theory of effective logistics, are considered. The concept of car speed as a basic indicator in determining the capacity, as well as the influence of these factors on the speed, is studied. Based on the conducted research, the key groups of factors that influence the change in the amount of throughput are identified. The authors developed and justified the optimal classification of seasons that determine the amount of throughput, based on a set of similar natural and climatic conditions. The essence and influence of meteorological phenomena, as well as the concept of their aftereffect as an important factor in changing the capacity of the path, are highlighted and considered separately. The classification of meteorological phenomena according to the degree of danger to road traffic is given. The relationships between the types of road surface used and the influence of various factors on the change in the capacity of the path are established. The study also covers non-natural factors, such as the level of traffic congestion and traffic density. Special attention is paid to the mutual influence of motor vehicles, and methods of calculating it in practice are proposed. The main indicators of optimal values of these factors are established. The level of influence exerted on the capacity of a logging road by various groups of factors is derived.

**Keyword:** track capacity, forest transportation, natural and climatic conditions, road conditions, seasonality, logging road

Для отечественной лесозаготовительной промышленности остро стоит вопрос транспортировки заготовленной древесины. Основными причинами этому служат большие территории лесного фонда и слабая развитость инфраструктуры.

При транспортировке древесины с лесосеки к месту ее потребления (сбыта или переработки) логистическая задача состоит в подборе наиболее экономически эффективного сценария доставки леса. В зависимости от различных факторов задача

транспортировки одного и того же объема леса от лесосеки до пункта сбыта может иметь различные решения. Такими факторами выступают: природно-климатические и производственно-технологические условия лесозаготовки.

Обязательным условием (законом) выбора маршрута перевозки леса является достаточная пропускная способность пути. Пропускная способность пути выражает количество груза или число единиц транспорта, которое можно пропустить через данный участок в единицу времени при определенных технических характеристиках пути и принятой организации движения. Данный показатель является ключевым при решении задачи нахождения оптимального варианта транспортировки древесины.

На практике расчет величины пропускной способности связан с множеством различных показателей и является сложной задачей. В современной литературе приняты различные методы определения величины реальной пропускной способности пути, учитывающие внешние условия [1–3]. Анализ таких методов показывает их теоретический подход, проявляющийся в сложности вычислений и отсутствии комплексности в учете факторов, оказывающих влияние на изменение пропускной способности.

Таким образом, целью представленного исследования стало определение зависимости величины пропускной способности пути (автомобильных дорог) от природно-производственных условий. В рамках работы авторами был выполнен ряд задач: определение перечня факторов, влияющих на пропускную способность; определение дополнительных неявных условий, возникающих в процессе транспортировки; расчет влияния условий на величину пропускной способности пути; выведение факторов и условий, оказывающих ключевое влияние на пропускную способность пути.

#### Материалы и методы исследования

Скорость движения транспорта является одним из базовых условий расчета пропускной способности. Согласно «Справочной энциклопедии дорожника» [1] скорость движения транспорта по автомобильным дорогам на вывозке древесины должна регулироваться в зависимости от характера рельефа местности и погодных условий.

Таким образом, сложный характер рельефа местности и погодные условия на участке пути могут снизить расчётную

скорость движения в 2 раза по сравнению с оптимальными условиями.

Погодные условия как совокупность всех метеорологических явлений проявляются в различных наблюдаемых атмосферных процессах и в их последствиях. Последствием называют состояние окружающей среды, вызванное метеорологическими явлениями и проявляющееся в изменении каких-либо показателей (например, влажность дорожного покрытия). Продолжительность последствий – это время, в течение которого показатели окружающей среды полностью возвращаются к исходным величинам. Такие данные получают при помощи практических наблюдений, информации метеорологических станций и специального оборудования, установленного на лесовозных автомобилях.

Для различных технических и экономических расчетов транспортных процессов, таких как расход топлива, фактическая скорость движения, себестоимость вывозки и т.д., необходима информация о погодных явлениях и их последствиях. В «Справочной энциклопедии водителя» [1] предложена формула для определения продолжительности последствий метеоявлений:

$$T_i = \lambda_{л} D_{л} + \lambda_{о-в} D_{о-в} + \lambda_3 D_3, \quad (1)$$

где  $\lambda_{л}, \lambda_{о-в}, \lambda_3$  – коэффициенты длительности сухого, мокрого, заснеженного, снежного наката состояний (гололеда);  $D_{л}, D_{о-в}, D_3$  – продолжительность периодов в природно-климатической зоне (летнего, осенне-весеннего, зимнего), суток.

Совместное влияние климатических факторов, технического уровня, качества содержания дороги, интенсивности движения учитывает коэффициент  $K_i$ .

Состояние покрытия дороги, его качественные характеристики существенно отличаются в различные периоды года. В зависимости от характеристик дороги, интенсивности движения автомобилей, качества ремонта и содержания дорог и, конечно, метеорологических условий неудовлетворительное состояние может проявляться в отдельных местах (пятнах) или по всей ширине и протяженности дороги.

Коэффициент взаимного влияния метеорологических факторов на скорость движения по эталонной дороге разделяется на следующие уровни опасности: малоопасный ( $K_{рс} = 1,0-0,75$ ), опасный ( $K_{рс} = 0,75-0,5$ ), очень опасный ( $K_{рс} < 0,5$ ). В табл. 1 представлены показатели основных метеорологических условий при различных уровнях опасности метеоявлений.

Таблица 1

Показатели метеорологических элементов при различных уровнях опасности метеоявлений

Показатель	Величина при уровне опасности метеоявлений		
	малоопасные $K_{pc} = 1,00-0,75$	опасные $K_{pc} = 0,75-0,50$	очень опасные $K_{pc} < 0,50$
Скорость ветра, м/с	0–3,00	3,00–9,00	Более 9,00
Коэффициент сцепления с дорогой при снежном накате и гололеде	–	0,40–0,20	Менее 0,2
Интенсивность осадков: дождь, мм/мин снегопад, мм/ч	– –	Менее 0,20 Менее 0,10	Более 0,20 Более 0,10
Дальность видимости при тумане, м	750,00–500,00	500,00–200,00	Менее 200,00
Скорость ветра, м/с	0–10,00	10,00–20,00	Более 20,00
Температура воздуха, °С положительная отрицательная	0–30,00 10,00–30,00	30,00–40,00 0–10,00	Более 40,00 Ниже 40,00
Относительная влажность воздуха, %	50,00–90,00	90,00–100,00	–

Гололед на степень опасности движения оказывает наибольшее влияние, поскольку при данном состоянии коэффициент сцепления снижается до критических значений и на гладких покрытиях практически парализует движение транспорта.

Таким образом, для учета всех дорожных и метеорологических факторов вводится понятие «практическая пропускная способность» – это число единиц автомобильного транспорта, которое может пройти через участок дороги в реальных условиях.

В работе [4] для определения практической пропускной способности автомобильных дорог предложена формула:

$$P = B \cdot P_{\max} \quad (2)$$

где  $B$  – итоговый коэффициент снижения пропускной способности. Данный показатель колеблется от 0,3 до 1,0 и определяется произведением различных коэффициентов, учитывающих характеристики и параметры дорожных условий.

На лесовозных автомобильных (особенно однополосных) при движении тяжелых большегрузных автомобилей на пропускную способность большое влияние оказывает плотность транспортного потока, при этом значительно снижается скорость движения.

Авторами предложено разделить год на пять периодов, при которых на транспортные характеристики природно-климатические значения имеют различные влияния: зимний, зимне-весенний, весенний, летний, осенний [5; 6]. Данное разделение справедливо для природно-климатических

условий Красноярского края, на территории которого проводятся исследования. Величина пропускной способности наиболее заметно снижается в зимне-весенний, весенний периоды.

Взаимное влияние автотранспортных средств также является фактором изменения пропускной способности [7]. Оно существенно колеблется в зависимости от состояния дорожного покрытия и метеоусловий (рис. 1).

Учет взаимного влияния автотранспорта на дороге для расчета пропускной способности автомобильной дороги предложен в формуле А.П. Васильева [1]:

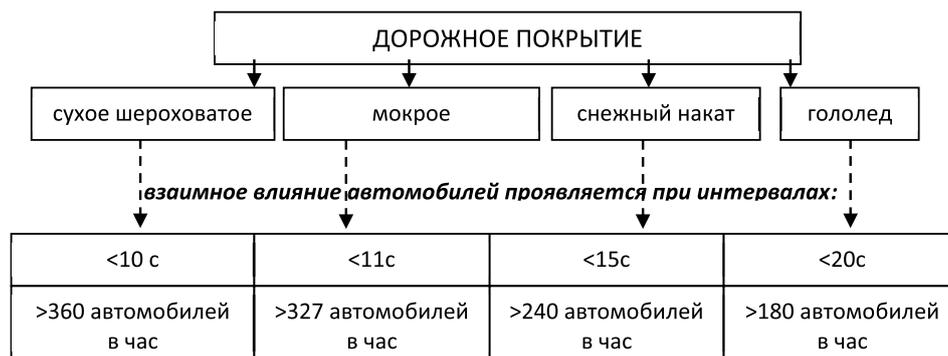
$$P_{\text{сез}} = \psi \cdot \alpha \cdot \bar{V}_{\text{ср}} \cdot q_{\text{max}} \quad (3)$$

где  $\psi$  – коэффициент, учитывающий движение автомобилей по встречной (равен 0,7–0,9) или по соседней (равен 0,8–0,9) полосе при многополосной дороге;  $\alpha$  – коэффициент, который показывает влияние метеорологических и дорожных условий;  $\bar{V}_{\text{ср}}$  – средняя скорость движения автомобилей в определенных метеорологических и дорожных условиях;  $q_{\text{max}}$  – максимальное количество автомобилей на 1 км пути (плотность потока).

Коэффициент плотности автомобильного потока  $\alpha$  определяется по формуле:

$$\alpha = 0,65 - 0,00425 \cdot V_{\text{ф. max}} \quad (3.1)$$

где  $V_{\text{ф. max}}$  – максимальная скорость движения автомобильного транспорта в определенных метеорологических и дорожных условиях.

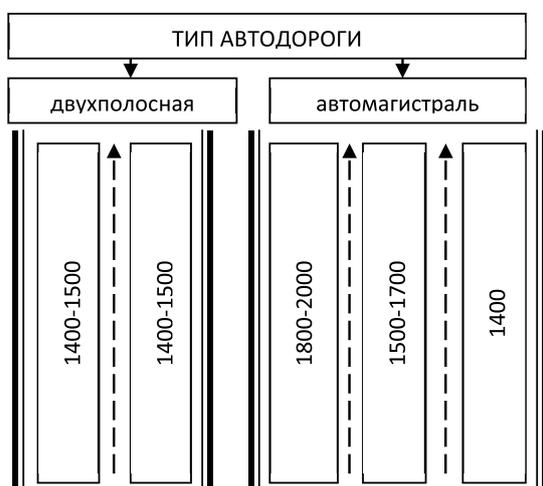


*Рис. 1. Изменение взаимного влияния автотранспортных средств в зависимости от дорожных условий*

Уровень загрузки дороги в текущем периоде определяют как отношение интенсивности движения автотранспорта  $N_{\text{сез}}^n$  (авт./ч) к количеству полос движения на дороге  $n$ :

$$Z = \frac{N_{\text{сез}}^n}{P_{\text{сез}} \cdot n} \quad (4)$$

Однако в случаях, когда средняя скорость свободного движения автотранспорта превышает 60 км/ч, пропускную способность рекомендуется не рассчитывать, а принимать исходя из следующих соотношений (рис. 2).



*Рис. 2. Принимаемая пропускная способность дорог, автомобилей в час*

Коэффициенты сезонных колебаний интенсивности движения  $K_{\text{сез}}^n$  (усредненные) можно определить по среднегодовой интенсивности движения на участке (табл. 2). Это актуально при ограниченной информации практических наблюдений.

**Таблица 2**  
Значения коэффициента  $K_{\text{сез}}^n$   
по сезонам года

Категория дороги	Сезон года			
	лето	осень	зима	весна
I и II	1,00	1,10–1,40	0,70–1,00	0,80–0,90
III, IV, и V	1,00	1,20	1,00	0,80

В этом случае уровень загрузки можно рассчитать по формуле:

$$Z = \frac{K_{\text{сез}}^n \cdot N_{\text{ср.год}}}{P_{\text{сез}} \cdot n} \quad (5)$$

При неблагоприятных метеорологических условиях величина пропускной способности дороги может значительно снижаться (относительно эталонных условий). В связи с этим расчетные транспортный поток и уровень загрузки могут значительно различаться в зависимости от сезона года при равных условиях интенсивности движения. На основании этого можно для различных сезонов года и категорий дорог определить допустимую интенсивность движения (табл. 3).

На основании проведенного исследования можно собрать совокупность факторов, оказывающих влияние на изменение пропускной способности лесовозной дороги (рис. 3).

### Результаты исследования и их обсуждение

Исходя из описанных в табл. 1–3 зависимостей, выведен уровень влияния, оказываемого на пропускную способность лесовозной дороги различными группами факторов (табл. 4).

Таблица 3

Допустимая интенсивность движения в различные сезоны года и категории

Характеристика дороги	Расчётная интенсивность движения в двух направлениях при уровне загрузки 0,5–0,7 авт./ч		
	летом	в переходные периоды	зимой
II категория: ширина проезжей части 7,5 м с укрепленными обочинами или краевыми полосами	1300,00	1100,00	1000,00
ширина проезжей части 7,5 м без укрепленных обочин и краевых полос	1200,00	900,00	800,00
III категория: ширина проезжей части 7,0 м с укрепленными обочинами и краевыми полосами	1200,00	1000,00	850,00
ширина проезжей части 7,0 м без укрепленных обочин и краевых полос	1000,00	750,00	650,00
IV категория: ширина проезжей части 6,0 м с укрепленными обочинами и краевыми полосами	1000,00	800,00	600,00
ширина проезжей части 6,0 м без укрепленных обочин и краевых полос	800,00	600,00	400,00

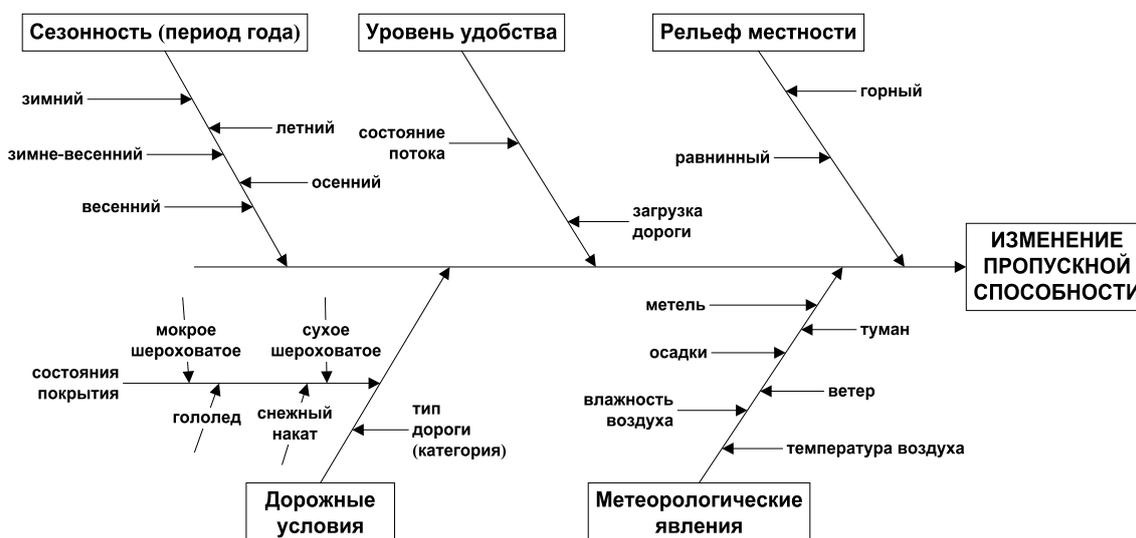


Рис. 3. Диаграмма причин изменения уровня пропускной способности

Таблица 4

Уровень влияния, оказываемого на пропускную способность лесовозной дороги различными группами факторов

Рельеф местности		Метеорологические явления		Сезонность (период)		Дорожные условия		Уровень удобства движения	
равнинный	1,0	температура воздуха	0,96	осенний	0,27	тип дороги	1,10	состояние потока	0,98
горный	0,47	ветер	0,95	зимний	1,35	состояние покрытия	0,0	загрузка дороги	0,70
		влажность воздуха	0,99	летний	1,22				
		туман	0,30	зимне-весенний	0,45				
		метель	0,32	весенний	0,32				
		осадки	0,79						

Факторы, имеющие значение 1,00, не оказывают искажающее действие на величину пропускной способности, рассчитанную для идеальных условий (исключая влияние всех внешних факторов).

Если значение фактора находится в пределах от 0,00 до 1,00, его искажающее действие снижает пропускную способность дороги. Среди таких факторов самыми сильными являются осенний и весенний периоды года – в это время пропускная способность некоторых дорог опускается до нулевых показателей (дорога не действует). Также значительное влияние оказывают метеоявления, такие как туман и метель.

Однако такое разделение не может считаться абсолютным, поскольку величина влияния отдельного фактора на уровень пропускной способности пути должна рассчитываться относительно смоделированных идеальных условий (когда исключено влияние всех остальных факторов). При этом имеющиеся практические данные представляют собой результат одновременного влияния всех групп факторов.

### Заключение

Таким образом, самая существенная группа факторов – это сезонность, то есть период года. Внутри этой группы факторов наиболее значимые – зимний (увеличивающий) и весенний (уменьшающий) периоды. Сопоставимое по величине влияние оказывают осадки и температура воздуха из группы метеоявлений. Существенно снижает пропускную способность уровень загрузки дороги.

С увеличением категории (типа) автодороги снижается пропускная способность, однако важную роль играет состояние покрытия дороги в настоящий момент [8].

Немаловажным является понимание об управляемых и неуправляемых факторах. Сезонность, метеоявления, рельеф местности являются базовыми природно-климатическими условиями и не могут быть изменены под требования лесозаготовительного производства. С другой стороны, тип автодороги, качество и состояние покрытия, а также уровень загрузки могут изменяться для достижения максимальной эффективности от использования данного маршрута.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ, Правительства Красноярского края, Краевого фонда науки и ООО «Красресурс 24» в рамках науч-*

*ного проекта № 20-410-242901 и в рамках проекта «Разработка фундаментальных основ проектирования лесной инфраструктуры как динамически изменяемой системы в условиях деятельности лесозаготовительного производства», № 19-410-240005, поддержанного за счет средств целевого финансирования, предоставленного РФФИ, Правительством Красноярского края и Краевым фондом науки.*

### Список литературы / References

1. Справочная энциклопедия дорожника. II том. Ремонт и содержание автомобильных дорог / Под ред. А.П. Васильева. М., 2004. [Электронный ресурс]. URL: <https://docplan.ru/Data1/51/51537/index.htm> (дата обращения: 21.05.2020).
2. Reference encyclopedia of road builders. Volume II. Repair and maintenance of highways / ed. by A.P. Vasiliev. M., 2004. [Electronic resource]. URL: <https://docplan.ru/Data1/51/51537/index.htm> (date of access: 21.05.2020) (in Russian).
3. Сушков С.И., Бурмистрова О.Н. Обоснование методики управления качеством дорожных покрытий // Строительные и дорожные машины. 2019. № 2. С. 43–46.
4. Sushkov S.I., Burmistrova O.N. Substantiation of the methodology of road surface quality management // Stroitel'nyye i dorozhnyye mashiny. 2019. № 2. P. 43–46 (in Russian).
5. Бурмистрова О.Н., Черников Э.А., Пильник Ю.Н., Чемшикова Ю.М. К вопросу совершенствования транспортных грузопотоков лесоматериалов в условиях интеллектуальных транспортных систем // Лесотехнический журнал. 2018. Т. 8. № 3 (31). С. 131–138. DOI: 10.12737/article\_5b97a15c4ef7d3.26143418.
6. Burmistrova O.N., Chernikov E.A., Pilnik Yu.N., Chemsikova Y.M. To the question of improving the transport of timber flows in intelligent transport systems // Lesotekhnicheskii zhurnal. 2018. Vol. 8. № 3 (31). P. 131–138 (in Russian).
7. Сильянов В.В., Алиев А.А. Повышение безопасности движения и пропускной способности автодорожных мостов // Транспорт: наука, техника, управление. Научный информационный сборник. 2007. № 5. С. 39–42.
8. Silyanov V.V., Aliev A. A. Improving traffic safety and capacity of road bridges // Transport: nauka, tekhnika, upravleniye. Nauchnyy informatsionnyy sbornik. 2007. № 5. P. 39–42 (in Russian).
9. Мохирев А.П., Позднякова М.О., Гудень Т.С. Оптимизация маршрутов транспортировки древесины с лесосеки с учетом сезонности грузоперевозок // Системы. Методы. Технологии. 2018. № 4 (40). С. 132–140. DOI: 10.18324/2077-5415-2018-4-132-140.
10. Mokhirev A.P., Pozdnyakova M.O., Guden T.S. Optimization of routes for transporting wood from the cutting area taking into account the seasonality of cargo transportation // Sistemy. Metody. Tekhnologii. 2018. № 4 (40). P. 132–140 (in Russian).
11. Позднякова М.О., Мохирев А.П., Рыбакова Т.Г. Комплексная оценка технологических мер для увеличения доступности лесных ресурсов. Journal of Applied Engineering Science. 2018. Т. 16. № 4. P. 565–569. DOI: 10.5937/jaes16-18842.
12. Sushkov S.I., Burmistrova O.N., Timokhova O., Burmistrov V.A., Mikhaylenko E., Chemsikova Y. Perfection of decision-making methods in multilevel hierarchical transport systems. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2019. P. 012–203. DOI: 10.1088/1757-899X/560/1/012203.
13. Šetinc M., Gradišar M., Tomat L. Optimization of a highway project planning using a modified genetic algorithm. Optimization, 2015. 64 (3). P. 687–707. DOI: 10.1080/02331934.2013.784763.

УДК 630:635.9:635.92:58.006 (470.630)

## ОПЫТ ИНТРОДУКЦИИ НЕКОТОРЫХ ВИДОВ РОДОВОГО КОМПЛЕКСА *PINUS L.* В СТАВРОПОЛЬСКОМ БОТАНИЧЕСКОМ САДУ

Неженцева Т.В.

ФГБНУ «Северо-Кавказский федеральный научный аграрный центр»,  
Ставрополь, e-mail: sbsconifers@mail.ru

Основная работа ботанических садов направлена на изучение и охрану биологического разнообразия растений. Для выполнения научных и практических задач формируются и поддерживаются коллекции живых растений, с целью изучения интродукционных возможностей растений для дальнейшего применения в лесном и садово-парковом хозяйстве. Ставропольский ботанический сад расположен у западной окраины плакора Ставропольских высот на высоте 620–640 м над уровнем моря (Северный Кавказ, Центральное Предкавказье). Климат района умеренно континентальный полусухой, с неустойчивым увлажнением. Семейство Сосновые (*Pinaceae* Spreng. ex F. Rudolphi) является важным объектом дендрологической коллекции Ставропольского ботанического сада. Род Сосна (*Pinus L.*) представлен 16 видами и 4 внутривидовыми таксонами. Сбор и формирование коллекции начаты в 1960-е гг. Интродукционное испытание прошли более 40 таксонов, включая теплолюбивые виды. В настоящее время родовой комплекс Сосна (*Pinus L.*) пополнен новыми видами. С целью проведения оценки перспективности изучаются особенности роста и развития шести интродуцентов: сосна Бунге (*Pinus bungeana* Zucc. Ex Endl.), сосна кедровая европейская (*Pinus cembra L.*), сосна кедровая сибирская (*Pinus sibirica* Du Tour), сосна корейская (*P. koraiensis* Sieb. & Zucc.), сосна съедобная (*P. edulis* Engelm.), сосна Уоллича, или гималайская (*P. wallichiana* A.B. Jackson). В статье приведены краткое морфологическое описание растений, основные биометрические и фенологические показатели изучаемых растений за период 2017–2019 гг. По предварительным результатам оценки четыре вида относятся к перспективным в условиях Ставропольской возвышенности и могут быть успешно использованы в ландшафтном озеленении региона.

**Ключевые слова:** ботанический сад, род (*Pinus L.*), дендрологическая коллекция, голосеменные растения, интродукция растений, научные исследования, биологические особенности

## EXPERIENCE OF INTRODUCTION OF SOME SPECIES OF FAMILY COMPLEX *PINUS L.* IN STAVROPOL BOTANICAL GARDEN

Nezhentseva T.V.

North-Caucasus Federal Scientific Agricultural Center, Stavropol, e-mail: sbsconifers@mail.ru

The main work of the botanical gardens is aimed at studying and protecting the biological diversity of plants. For the implementation of scientific and practical tasks, collections of living plants are formed and maintained in order to study the introduction capabilities of plants for further use in forestry and gardening. The Stavropol Botanical Garden is located at the western edge of the Stavropol Heights placor at an altitude of 620–640 m above sea level. The climate of the area is moderately continental semi-dry, with unstable moisturisation. Family *Pinaceae* is an important object of the dendrological collection of the Stavropol Botanical Garden. The genus Pine (*Pinus L.*) represented by 16 species and 4 intraspecific taxa. The collection and the formation of the collection began in the 60s of the XX th century. More than 40 taxa, including heat-loving species, have passed the introduction test. Currently, the family complex Pine (*Pinus L.*) is replenished with new species. In order to assess the prospects, the peculiarities of growth and development of six introducents: Bunge Pine (*Pinus bungeana* Zucc.), European Pine (*Pinus cembra L.*), Siberian Pine (*Pinus sibirica* Du Tour), Korean Pine (*P. koraiensis* Sieb. & Zucc.), Edible Pine (*P. edulis* Engelm.), Wallich Pine (*P. wallichiana* A.B. Jackson). The article provides a brief morphological description of plants, the main biometric and phenological parameters of the studied plants for the period 2017–2019.

**Keywords:** botanical garden, genus (*Pinus L.*), dendrological collection, gymnosperms, introduction of plants, research, biological peculiarities

Основной деятельностью ботанических садов является изучение и охрана биологического разнообразия растений различных природных зон, разработка методов рационального использования природных ресурсов экономически важных видов растений [1]. Для выполнения научных и практических задач формируются и поддерживаются коллекции живых растений, на базе которых изучаются интродукционные возможности с целью применения устойчивых, адаптированных растений для лесного и садово-паркового хозяйства. Особую ценность

представляют древесные коллекции. Они занимают большую часть коллекционно-демонстративных участков, на их создание требуется больше времени, они наиболее стабильны во времени и пространстве [2].

Интродукционное испытание новых видов рода Сосна (*Pinus L.*) в почвенно-климатических условиях Ставропольской возвышенности своевременно и актуально. Хвойные растения являются неотъемлемой частью проектов по ландшафтному озеленению. Во флоре Ставропольского края виды этого рода не представлены. Результаты ис-

следований являются основанием для разработки рекомендаций по эффективному культивированию и расширению ассортимента хвойных интродуцентов, используемых в садово-парковом строительстве региона.

*Анализ состояния вопроса.* Род (*Pinus* L.) является самым крупным в семействе Сосновые (*Pinaceae* Spreng. ex F. Rudolphi). Представители рода относятся к вечнозеленым растениям. По декоративности (различная форма кроны, её плотность, размер и окраска хвои) занимают одно из первых мест среди хвойных пород. Долговечность, дымо- и газоустойчивость и ряд других полезных качеств делают эти растения перспективными для лесного и садово-паркового хозяйства. Широкое распространение и полиморфность большинства видов в различных экологических условиях, наличие естественной гибридизации в отдельных случаях дают возможности для пересмотра систематического положения, и в настоящее время нельзя назвать с уверенностью общее число видов. В зависимости от различных классификаций и авторов, количество варьирует от 105–107 до 132 видов. С развитием новых молекулярных и кариологических методов продолжают исследования по уточнению систематики видов [3]. В ботанических садах накапливается драгоценный опыт интродукции. В Главном ботаническом саду (г. Москва) испытано более 40 видов рода Сосна (*Pinus* L.), проведена оценка адаптационных возможностей видов и даны рекомендации по дальнейшему сохранению их в условиях культуры и использованию в озеленении [4]. В ботаническом саду Петра Великого выделили виды для первичной и повторной интродукции, проводят мониторинг, изучают устойчивость растений в условиях изменения климата. Актуально более широкое внедрение испытанных видов в городское, лесное хозяйство [5].

Целью настоящего исследования является изучение биоэкологических особенностей и интродукционного потенциала растений для пополнения коллекционного фонда дендрологической коллекции Ставропольского ботанического сада, а также рекомендации для дальнейшего использования интродуцентов.

#### **Материалы и методы исследования**

В статье представлены результаты исследований, проведенных в 2017–2019 гг. Объекты расположены в ландшафтном дендрарии, на научно-производственной шко-

ле, на теневом участке Ставропольского ботанического сада. Фенологические наблюдения проводились по унифицированной методике [6], уточнение и описание изучаемых видов с использованием интернет-ресурсов [7]. Предварительная оценка устойчивости и перспективности растений проводилась по методике интегральной жизнеспособности и перспективности древесных растений П.И. Лапина и С.В. Сидневой [8].

Ставропольский ботанический сад расположен у западной окраины плакора Ставропольских высот на высоте 620–640 м над уровнем моря (Северный Кавказ, Центральное Предкавказье). Рельеф территории ботанического сада равнинный с наибольшим уклоном (1–2°) в направлении с юга на север. Климат района исследований в целом можно охарактеризовать как умеренно континентальный полусухой, с неустойчивым увлажнением. Заметное влияние на него оказывают Главный Кавказский хребет, Ставропольская возвышенность. Гидротермический коэффициент Г.Т. Селянинова равен 1.1–1.3. Осадков 500–600 мм в год, из них в период активной вегетации выпадает 350–400 мм. Зима умеренно мягкая, средняя месячная температура января составляет -3,5–4,5 °С, абсолютно минимальная -32 °С. Высота снежного покрова 10–12 см. Продолжительность безморозного периода 180–190 дней. Лето нежаркое, средняя месячная температура июля 20–22 °С, максимальная достигает 40–42 °С. Число дней с суховеями 50–60. Следует отметить тенденцию изменения климата последнего десятилетия в сторону потепления и повышения континентальности. Значительная часть Ставропольских высот (в том числе территории ботанического сада) занята черноземами, среди которых преобладают черноземы мицелярно-карбонатные обыкновенные, типичные и выщелоченные [9].

#### **Результаты исследования и их обсуждение**

Семейство Сосновые (*Pinaceae* Spreng. ex F. Rudolphi) является важным объектом дендрологической коллекции Ставропольского ботанического сада, представлено 73 таксонами, относящимися к пяти родам. Род Сосна (*Pinus* L.) включает 16 видов и 4 внутривидовых таксона [10]. Большая часть дендрологической коллекции растений Ставропольского ботанического сада расположена в ландшафтном дендрарии. Формирование коллекции начато

в 1960-е гг. Сотрудниками сада были получены и посеяны семена двух видов: сосна обыкновенная (*P. sylvestris* L.) и сосна желтая горная (*P. ponderosa* var. *scopulorum* Engelm.). В 1962–1965 гг. в коллекции появились еще 8 видов: сосна жесткая (*Pinus rigida* Mill.), сосна Коха (*P. sylvestris* subsp. *kochiana* Klotzsch ex C.Koch), сосна веймутова (*P. strobus* L.), сосна горная (*P. mugo* Turra), сосна крымская (*P. nigra* var. *pallasiana* (Lamb.) Asch.&Graebn), сосна черная (*P. nigra* Arnold), сосна сибирская (*P. sibirica* Du Tour), сосна крючковатая (*P. sylvestris* var. *hamata* Steven). В последующие годы коллекция пополнилась семенами и сеянцами более 40 таксонов. Главным лимитирующим фактором для большинства видов южного происхождения выступил абсолютный минимум температуры воздуха. Из коллекции выпали такие теплолюбивые виды, как сосна итальянская (*P. pinea* L.), сосна пицундская (*P. pithyusa* Stev.), сосна эльдарская (*P. eldarica* Medw.). Современное состояние дендрологической коллекции Ставропольского ботанического сада – результат сложного интродукционного процесса, конечной целью которого является сохранение генофонда растений *ex situ* и обогащение культурфитоценозов новыми ценными растениями. Почвенно-климатические условия Ставропольского ботанического сада позволяют культивировать хвойные виды умеренной зоны и частично растений более южных районов. Поэтому интродукционный поиск и мобилизация исходного материала являются непрерывным процессом.

В настоящее время родовой комплекс Сосна (*Pinus* L.) пополнен новыми видами.

С целью проведения оценки перспективности изучаются биоэкологические особенности роста и развития шести интродуцентов [11]. Проводились биометрические промеры изучаемых растений, результаты приведены в табл. 1.

Сосна Бунге (*Pinus bungeana* Zucc. ex Endl.). Родина Китай, горы западного Хубея. Получена в коллекцию из г. Москвы (фирма Агбина).

Выращенные из семян растения, в количестве пяти экземпляров, высажены на постоянное место в дендрарий. В возрасте 15 лет это небольшое дерево со светлой округлой кроной (табл. 1). Кора гладкая, светло-серая, побеги серо-зеленые, блестящие, голые. Почки несмолистые. Хвоя светло-зеленая, плотная, торчащая, сильно пахнет смолой. Этот вид относится к соснам, имеющим в пучках три хвоинки. В 2018 г. впервые отмечено образование шишек. В озеленении встречается редко.

Сосна кедровая европейская (*Pinus cembra* L.). Родина: горы средней Европы (Альпы, Карпаты). В коллекцию поступили три экземпляра из г. Москвы (Главный ботанический сад) в 1998 г. Выращенные в условиях теневого участка растения на постоянное место были высажены на участок «Рокарий». Сейчас это небольшие стройные деревья (табл. 1). Кора гладкая, коричнево-серая, ветки расположены в сближенных мутовках, короткие. Крона широкая, яйцевидная. Хвоя плотная, торчащая, зеленая, собранная по пять хвоинок в пучок. Теневынослива. В первые годы требует притенения. В ландшафтном строительстве может применяться в одиночных и групповых посадках, в парках и скверах.

Таблица 1  
Биометрические промеры изучаемых растений рода Сосна (*Pinus* L.) 2017–2019 гг.

№ п/п	Вид	Возраст, лет	Высота, м	Диаметр ствола, см	Диаметр кроны, м	Прирост, см	Длина хвои, см
1	2	3	4	5	6	7	8
1	<i>Pinus bungeana</i> Zucc. – сосна Бунге	15	1,6 ± 0,6	5,5 ± 1,4	1,4 ± 0,2	32,0 ± 13,0	8,1 ± 1,5
2	<i>P. cembra</i> L. – сосна кедровая европейская	21	2,6 ± 0,2	4,3 ± 0,8	2,0 ± 0,4	15,0 ± 4,5	8,1 ± 1,3
3	<i>P. edulis</i> Engelm. – сосна съедобная	7	0,3 ± 0,1	0,8 ± 0,1	0,2 ± 0,1	3,5 ± 0,5	4,5 ± 0,5
4	<i>P. koraiensis</i> Sieb.&Zucc. – сосна кедровая корейская	15	0,9 ± 0,3	3,5 ± 0,9	1,0 ± 0,2	27,7 ± 10,5	9,6 ± 1,8
5	<i>P. wallichiana</i> A.V. Jackson – сосна Уоллича	7	0,3 ± 0,1	1,2 ± 0,1	0,3 ± 0,1	8,0 ± 1,0	12,3 ± 1,2
6	<i>P. sibirica</i> (Rupr.)Mayr – сосна кедровая сибирская	11	0,5 ± 0,1	1,6 ± 0,3	0,4 ± 0,1	5,4 ± 1,8	4,9 ± 1,8

Сосна кедровая сибирская (*Pinus sibirica* Du Tour). Родина: северо-восток европейской части России, вся Сибирь. Сеянцы получены из мест естественного произрастания из г. Ханты-Мансийска. В первые годы жизни сосна кедровая растет крайне медленно. Растения находятся на научно-производственной школе. В настоящее время это небольшие компактные деревья, с густой конусовидной кроной высотой 0,4–0,5 м. Кора гладкая, серая, ветки короткие. Почка яйцевидные, не смолистые. Хвоя плотная, торчащая, голубовато-зеленая, собранная по пять хвоинок в пучок. Влаголюбива и теневынослива. В первые годы требует притенения. В озеленении используется в виде как одиночных, так и групповых посадок в парках.

Сосна корейская, или маньчжурская кедровая сосна (*P. koraiensis* Sieb. & Zucc.). Родина: Дальний Восток – Уссурийский край, северо-восток Кореи, Япония. Растения выращены из семян собственной репродукции. Растут медленно. Семена после предварительной подготовки были высеяны в ящики, сеянцы высажены на теневой участок, а затем на научно-производственную школу. Сейчас это небольшие деревья с раскидистой, средней густоты, широко-конусовидной многовершинной кроной, высотой 0,7–1,1 м. Кора толстая, гладкая, темно-серая. Ветви крепкие, простертые, с поднимающимися концами. Хвоя светло-зеленая, плотная, жесткая, собранная по пять хвоинок в пучке. В молодом возрасте требует притенения от прямых солнечных лучей, с возрастом становится более светолюбивой. В ландшафтном строительстве может применяться в одиночных и групповых посадках, в парках и скверах.

Сосна съедобная (*P. edulis* Engelm.). Родина: Северная Америка. Сеянцы в количестве двух экземпляров получены из Московской сельскохозяйственной академии.

На момент исследования это небольшие растения высотой около 0,3 м, растут на теневом участке ботанического сада. Кора серая, гладкая. Побеги покрыты голубоватым налетом. Хвоя довольно плотная, изогнутая, голубовато-зеленая, собранная по две-три хвоинки в пучке. Вид впервые получен и требует более длительного изучения. Представляет большой интерес для дендрологической коллекции.

Сосна Уоллича, или гималайская (*P. wallichiana* A.V. Jackson). Родина: Гималаи, восточный Афганистан, северная Бирма, Китай. Семена получены из г. Москвы. В семилетнем возрасте растения с ширококонусовидной кроной (табл. 1). Кора глад-

кая, темно-пепельно-серая, молодые побеги голые, слегка смолистые, блестящие, темно-зеленые. Хвоинки собраны по пять в пучках, голубовато-серебристые. Светолюбивая. Очень красивая сосна с густой, длинной повислой хвоей. В коллекции появилась впервые, представляет большой интерес и требует дальнейшего изучения.

Анализ фенологических данных изучаемых растений рода *Pinus* L. дендрологической коллекции сада позволяет определить взаимосвязь между фазами развития растений и климатическими условиями места интродукции. По степени соответствия ритмов сезонного роста и развития растений сезонным изменениям климата в новом месте культуры можно судить о перспективности вида для интродукции. С этой целью проводились ежегодные фенологические наблюдения, в ходе которых отмечены пять наиболее важных фенофаз развития вегетативных побегов: набухание почек (ПБ<sup>1</sup>), распускание почек (ПБ<sup>2</sup>), начало роста побегов (ПБ<sup>3</sup>), окончание роста побегов (ПБ<sup>4</sup>), осеннее пожелтение хвои (Л<sup>3</sup>) (табл. 2). За начало периода вегетации принята дата фазы набухания почек (почки увеличиваются в размерах и освобождаются от смоляного покрова). У изучаемых видов эта фаза отмечена с третьей декады марта (*Pinus bungeana*, *P. koraiensis* в 2019 г.) и первой-второй декаде апреля. Распускание вегетативных почек у сосен определяется разрывом пленчатого чехлика кончиками растущей хвои и выходом её наружу. Фаза практически у всех видов прошла в третьей декаде апреля. Сроки начала и окончания роста побегов, его продолжительность дают основание судить о перспективности вида в месте интродукции. Окончание роста отмечено в июне-июле. Осеннее расцветивание хвои наступило в третьей декаде сентября – первой декаде октября.

Полученные результаты роста и развития изучаемых видов показывают, что сроки вегетации видов совпадают с продолжительностью вегетационного периода в условиях выращивания. Своевременное прекращение роста побегов, полное одревеснение их помогает растению подготовиться к зимнему периоду.

Для оценки жизнеспособности и перспективности древесных растений приняты показатели, характеризующие состояние интродуцентов в условиях пункта интродукции:

- 1) степень ежегодного вызревания побегов;
- 2) зимостойкость;
- 3) сохранность габитуса;
- 4) побегообразовательная способность;
- 5) регулярность прироста побегов;

Таблица 2

Сроки наступления основных фенологических фаз у изучаемых видов в 2017–2019 гг.

Вид	Март			Апрель			Май			Июнь			Июль			Август			Сентябрь			Октябрь					
	декады																										
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3			
<i>Pinus bungeana</i> Zucc. – сосна Бунге																											
<i>P. cembra</i> L. – сосна кедровая европейская																											
<i>P. edulis</i> Engelm. – сосна съедобная																											
<i>P. koraiensis</i> Sieb.&Zucc. – сосна кедровая корейская																											
<i>P. sibirica</i> (Rupr.)Mayr – сосна сибирская																											
<i>P. wallichiana</i> A.B. Jackson – сосна Уоллича																											

Условные обозначения:

	Набухание почек (ПБ <sup>1</sup> ),
	Распускание почек (ПБ <sup>2</sup> )
	Начало роста побегов (ПБ <sup>3</sup> ),
	Окончание роста побегов (ПБ <sup>4</sup> )
	Осеннее расцветивание хвои (Л <sup>3</sup> )
	Продолжительность роста побегов

6) способность к генеративному развитию;  
7) доступные способы размножения испытываемых растений в районе интродукции.

У изучаемых видов отмечено ежегодное вызревание побегов. Неблагоприятное влияние на растения оказывают низкие зимние температуры, сильные ветры, характерные для Ставропольской возвышенности, длительные зимние оттепели, поздние весенние заморозки. Низкая влажность воздуха в зимний период обезвоживает растения. По степени зимостойкости четыре вида относятся к зимостойким (I – отсутствие повреждений) – *Pinus bungeana* Zucc. – сосна Бунге, *P. cembra* L. – сосна кедровая европейская; *P. koraiensis* Sieb.&Zucc. – сосна кедровая корейская, *P. sibirica* (Rupr.) Mayr – сосна сибирская. У сосны Уоллича (*P. wallichiana* A.B. Jackson) и сосны съедобной (*P. edulis* Engelm.) в 2017 г. было отмечено незначительное подмерзание хвои. В течение вегетационного периода растения восстановили

цвет. Виды сохраняют форму роста (габитус). Образование шишек отмечено у одного вида сосна Бунге (*Pinus bungeana* Zucc.). Полученные семена оказались пустыми, что довольно часто бывает у молодых растений сосны. У остальных видов стадия семенования не отмечена. Регулярный прирост дают все изучаемые виды. Из способов размножения в культуре, пока нет возможности получения семян, можно рекомендовать искусственное вегетативное размножение. Следует отметить, что изучаемые виды благополучно переносят засушливые периоды, характерные для степной зоны.

По предварительным результатам оценки, проведенной по методике интегральной жизнеспособности и перспективности древесных растений, изучаемые четыре вида относятся к перспективным в условиях ботанического сада и могут быть рекомендованы для использования в ландшафтном озеленении. Два вида требуют дальнейшего изучения.

### Выводы

Пополнение дендрологической коллекции сосновых является результатом длительного и трудоемкого интродукционного процесса. Родовой комплекс Сосна (*Pinus* L.) в Ставропольском ботаническом саду, включает 16 видов и 4 внутривидовых таксона. Семена и сеянцы изучаемых видов получены из разных источников, в том числе из мест естественного произрастания.

Изучаемые виды проходят фенологические фазы развития вегетативных побегов. Полученные результаты показывают, что сроки вегетации видов совпадают с продолжительностью вегетационного периода в условиях выращивания.

У изучаемых видов отмечено ежегодное вызревание побегов. По степени зимостойкости четыре вида относятся к зимостойким (I – отсутствие повреждений) – *Pinus bungeana* Zucc. – сосна Бунге, *P. cembra* L. – сосна кедровая европейская; *P. koraiensis* Sieb.&Zucc. – сосна кедровая корейская, *P. sibirica* (Rupr.) Mayr – сосна сибирская. У сосны Уоллича (*P. wallichiana* A.B. Jackson) и сосны съедобной (*P. edulis* Engelm.) в 2017 г. было отмечено незначительное подмерзание хвои. В течение вегетационного периода растения восстановили цвет. Виды сохраняют форму роста (габитус). Образование шишек отмечено у одного вида сосны Бунге (*Pinus bungeana* Zucc.). Полученные семена оказались пустыми, что довольно часто бывает у молодых растений сосны. У остальных видов стадия семеношения не отмечена. Регулярный прирост дают все изучаемые виды. Из способов размножения в культуре, пока нет возможности получения семян, можно рекомендовать искусственное вегетативное размножение. Изучаемые виды благополучно переносят засушливые периоды, характерные для степной зоны.

Все вышеуказанное свидетельствует, что климатические условия Ставропольской возвышенности благоприятны для вегетации изучаемых древесных видов.

По предварительным результатам оценки, проведенной по методике интегральной жизнеспособности и перспективности древесных растений, четыре вида относятся к перспективным в условиях Ставропольской возвышенности и могут быть успешно использованы в ландшафтном озеленении региона.

### Список литературы / References

1. Демидов А.С., Потапова С.А. Решение стратегических задач ботанических садов России в области сохранения биоразнообразия растений на современном этапе // Ботанические сады в современном мире: теоретические и при-

кладные исследования: материалы Всероссийской научной конференции с международным участием, посвященной 80-летию со дня рождения академика Л.Н. Андреева. М.: Товарищество научных изданий КМК, 2011. С. 3–5.

Demidov A.S., Potapova S.A. Solving the strategic problems of the botanical gardens of Russia in the field of conservation of plant biodiversity at the present stage // *Botanicheskiye sady v sovremennom mire: teoreticheskiye i prikladnyye issledovaniya: materialy Vserossiyskoy nauchnoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiyem, posvyashchennoy 80-letiyu so dnya rozhdeniya akademika L.N. Andreeva*. M.: Tovarishestvo nauchnykh izdaniy KMK, 2011. P. 3–5 (in Russian).

2. Карпун Ю.Н. К вопросу устойчивости дендрологических коллекций ботанических садов и дендрологических парков // *Hortus botanicus*. 2017. Т. 2. С. 636–642.

Karpun Yu.N. On the issue of sustainability of dendrological collections of botanical gardens and dendrological parks // *Hortus botanicus*. 2017. V. 2. P. 636–642 (in Russian).

3. Орлова Л., Фирсов Г. Проблемы в области систематики и исследования хвойных в России. *Journal of Agricultural Science and Technology*. 2013. No 3. P. 880–886.

4. Потапова С.А. Изучение рода *Pinus* L. в главном ботаническом саду им. Цицина РАН // Проблемы современной дендрологии: материалы международной конференции, посвященной 100-летию со дня рождения П.И. Лапина. М.: Товарищество научных изданий КМК, 2009. С. 287–289.

Potapova S.A. Study of the genus *Pinus* L. in the main botanical garden named after Tsitsina RAS // *Problemy sovremennoy dendrologii: materialy mezhdunarodnoy konferentsii, posvyashchennoy 100-letiyu so dnya rozhdeniya P.I. Lapina*. M.: Tovarishestvo nauchnykh izdaniy KMK, 2009. P. 287–289 (in Russian).

5. Фирсов Г.А., Хмарик А.Г. Род Сосна (*Pinus* L., *Pinaceae*) в ботаническом саду Петра Великого // *Вестник Волгоградского государственного университета*. Серия 11. Естественные науки. 2017. № 3. С. 13–24. DOI: 10.15688/jvolsu11.2017.3.2.

Firsov G.A., Khmarik A.G. The Pines (*Pinus* L., *Pinaceae*) at Peter the Great Botanic Garden // *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo universiteta*. Seriya 11. Yestestvennyye nauki. 2017. № 3. P. 13–24 (in Russian).

6. Александрова М.С., Шкутко Н.В., Фролова А.А. Методика фенологических наблюдений за хвойными. М., 1975. 27 с. Alexandrova M.S., Shkutko N.V., Frolova A.A. The methodology of phenological observations of conifers. M., 1975. 27 p. (in Russian).

7. The Gymnosperm Database. [Electronic resource]. URL: <http://www.conifers.org> (date of access: 13.07.2020).

8. Лапин П.И., Сиднева С.В. Оценка перспективности интродукции древесных растений по данным визуальных наблюдений // *Опыт интродукции древесных растений*. М., 1973. С. 7–67.

Lapin P.I., Sidneva S.V. Assessment of the prospects of introducing woody plants according to visual observations // *Experience in introducing woody plants*. M., 1973. P. 7–67 (in Russian).

9. Антонов С.А., Желнакова Л.И., Петин О.В. Сетевая информационно-аналитическая система «Агроклиматический потенциал Ставропольского края» // *Бюллетень Ставропольского научно-исследовательского института сельского хозяйства*. 2011. № 2–3. С. 16–23.

Antonov S.A., Zhelnakova L.I., Petin O.V. Network information and analytical system «Agroclimatic potential of the Stavropol Territory» // *Byulleten' Stavropol'skogo nauchno-issledovatel'skogo instituta sel'skogo khozyaystva*. 2011. № 2–3. P. 16–23 (in Russian).

10. Неженцева Т.В. Коллекция *Pinaceae* Lindl. дендрария Ставропольского ботанического сада: анализ, итоги и перспективы интродукции: дис. ... канд. биол. наук. Ставрополь, 2011. 168 с.

Nezhentseva T.V. *Pinaceae* Lindl collection. Arboretum of the Stavropol Botanical Garden: analysis, results and prospects of introduction: dis...kand. biol. nauk. Stavropol', 2011. 168 p. (in Russian).

11. Отчет о научно-исследовательской работе пополнить генетические коллекции древесных, травянистых, тропических и субтропических растений, хозяйственно-значимых для северо-кавказского региона (0725-2018-0013). Михайловск, 2018. 147 с.

Report on research work to replenish the genetic collections of woody, herbaceous, tropical and subtropical plants, economically significant for the North Caucasus region (0725-2018-0013). Mikhailovsk, 2018. 147 p. (in Russian).

УДК 630\*181:630\*174.754

## ВЛИЯНИЕ ЦЕНОТИЧЕСКИХ ВЗАИМООТНОШЕНИЙ НА РОСТ МОДЕЛЬНЫХ ДЕРЕВЬЕВ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ И ДУБА ЧЕРЕШЧАТОГО В БРЯНСКОМ ЛЕСНОМ МАССИВЕ

Прутской А.В.

ФГБОУ ВО «Брянский государственный инженерно-технологический университет», Брянск,  
e-mail: prutskoj@yandex.ru

Познание природы леса невозможно без исследования ценотических взаимоотношений между древесными породами. В настоящее время в Брянском лесном массиве в связи с изменением климатических условий и ряда других факторов происходит формирование сосново-дубовых насаждений, в которых дуб при соответствующем уходе не уступает в росте сосне. Произрастание дуба с сосной возможно в одном ярусе в условиях сложных суборей и дубрав. Благоприятные условия для роста дуба складываются в результате его возрастного и пространственного преимуществ по отношению к сосне. Площадь проекции кроны дуба чаще превышает в 1,5–3 раза площадь проекции кроны сосны. Сосна является конкурентом и проявляет повышенные темпы прироста по высоте и диаметру, по отношению к дубу, в возрасте 10–30 лет. Дуб более активно растет после 40 лет. С 60–80 лет дуб постепенно увеличивает скорость прироста по высоте. В 90–100 лет сосна уступает по темпам прироста по высоте и диаметру дубу, который в свою очередь выходит в верхнюю часть полога насаждения. На слабодерновой среднеподзолистой почве между дубом и сосной складываются конкурентные взаимоотношения. На слабодерновой подзолистой почве на флювиогляциальных песках и двучленных отложениях, между дубом и сосной складываются конкурентные взаимоотношения, переходящие с возрастом в индифферентные. С продвижением на юг Брянского лесного массива, на дерново-подзолистых почвах, подстилаемых опесчаненной мореной, взаимоотношения между дубом и сосной приобретают индифферентный характер.

**Ключевые слова:** ценотические взаимоотношения, сосна обыкновенная, дуб черешчатый, модельные деревья

## THE INFLUENCE OF THE CENOTIC RELATIONSHIPS ON THE RISE MODEL TREES PINE AND OAK IN THE BRYANSK FOREST AREA

Prutskoy A.V.

Bryansk State Engineering-Technological University, Bryansk, e-mail: prutskoj@yandex.ru

Knowledge of the nature of the forest is impossible without studying the coenotic relationships between tree species. Currently, in the Bryansk forest area, due to changes in climate conditions and a number of other factors, pine-oak plantations are being formed, in which the oak is not inferior in growth to the pine with appropriate care. Growth of oak and pine is possible in the same tier in the conditions of complex sub-seas and oak forests. Favorable conditions for the growth of oak are formed as a result of its age and spatial advantages in relation to pine. The projection area of the oak crown often exceeds 1.5-3 times the projection area of the pine crown. Pine is a competitor and shows increased growth rates in height and diameter, relative to oak, at the age of 10-30 years. Oak grows more actively after 40 years. From 60-80 years old, oak gradually increases the rate of growth in height. In 90-100 years, pine is inferior in growth rates in height and diameter to oak, which in turn goes to the upper part of the canopy of the plantation. On a low-grain medium-podzolic soil, a competitive relationship develops between oak and pine. On weakly grained podzolic soil on fluvioglacial Sands and binomial deposits between oak and pine there are competitive relationships that turn into indifferent ones with age. With the advance to the South of the Bryansk forest area, on sod-podzolic soils underlain by a desalinated moraine, the relationship between oak and pine becomes indifferent.

**Keywords:** coenotic relations, *Pinus silvestris*, *Qercus robur*, model trees

Познание природы леса невозможно без исследования ценотических взаимоотношений. Проблема ценотических взаимоотношений древесных пород является одним из основных положений разрабатываемой нами адаптационно-климатической модели формирования перспективных насаждений для Брянского лесного массива. В настоящее время в Брянском лесном массиве все чаще еловые формации насаждений (из-за повреждения короедом-типографом и других климатических факторов) сменяются на мягколиственные древостой и сосновые насаждения, которые, в свою

очередь, трансформируются в сосново-дубовые. Дуб успешно возобновляется в сосновых насаждениях, что позволяет широколиственным породам расширять территории своего произрастания [1–3]. В данных насаждениях дуб в неблагоприятных условиях может почти полностью погибнуть к IV классу возраста [4], таким образом, необходимо исследовать ценотические взаимоотношения для установления причин снижения конкуренции древесных пород. По данным исследований [5–7] связь между нахождением дуба в том или ином ярусе насаждения, его состоянием, ходом

роста зависит от структуры фитоценоза, комплекса природно-климатических факторов, лесоводственной и лесокультурной деятельности человека.

Цель исследования: изучить ценотические взаимоотношения, влияющие на рост сосны обыкновенной и дуба черешчатого, в условиях сложных типов леса Брянского лесного массива.

#### Материалы и методы исследования

Район исследований – Брянский лесной массив. Исследования проводились на ландшафтной основе, с использованием почвенно-типологической характеристики. Для исследований подбирались устойчивые и продуктивные сосново-дубовые насаждения в Снежетьско-Деснянском зандрово-долинном, в Пальцовском полесском, в Клюковенском лесо-аграрном, в Кокоревском предполесском ландшафтах. На пробных площадях (4,5 га) изучались почвенные условия, биометрические характеристики деревьев, живой напочвенный покров и др. В основе методики отбора типов леса, древостоев и модельных деревьев используются методы изучения лесных сообществ [8], а также условие, что дуб произрастает в одном ярусе с сосной. Объектом исследований были 24 модельных дерева. В ходе исследований проводилась раскряжёвка ствола модельных деревьев по секциям. На конце каждой секции выпиливался срез (толщиной 3 см). В камеральных условиях на каждом срезе проводили измерение приростов по диаметру, с помощью микроскопа МИР-2 (инструментальная точность 0,05 мм), в четырёх направлениях (север, юг, восток, запад). При этом использовался метод проявления годичных колец у срезов лиственных и хвойных пород, предложенный С.В. Ильчуковым [9].

Для определения репрезентативности показателей рассматривались интервальные динамические ряды текущего прироста по диаметру и высоте модельных деревьев. Учитывая специфику ценотических взаимоотношений, проводился многофакторный анализ, в ходе которого устанавливалась теснота связи (по шкале Чеддока) для соответствующего возраста развития и текущего прироста по диаметру и высоте у модельных деревьев.

#### Результаты исследования и их обсуждение

Статистически установлено, при совместном произрастании дуба и сосны в одном ярусе, в условиях сложных типов

леса, наблюдается высокая теснота связи между возрастом и текущим приростом сосны по диаметру (-0,85) и высоте (-0,90). Заметная теснота связи между возрастом и текущим приростом дуба по высоте (-0,58) и отсутствует между возрастом и текущим приростом дуба по диаметру (0,06). Высокая теснота связи между текущим приростом по диаметру и высоте сосны (0,82). Слабая теснота связи между текущим приростом по диаметру дуба и текущим приростом по диаметру сосны (0,23) и отсутствует между текущим приростом по диаметру дуба и текущим приростом по высоте сосны (-0,06). Заметная теснота связи между текущим приростом по высоте дуба и текущим приростом по диаметру сосны (0,64). Высокая теснота связи между текущим приростом по высоте дуба и текущим приростом по высоте сосны (0,82). Слабая теснота связи между текущим приростом дуба по высоте и текущим приростом дуба по диаметру (0,23).

Рассмотрим влияние ценотических взаимоотношений на рост сосны и дуба на следующих примерах.

На серой лесной среднесуглинистой почве, для 69-летней сосны ( $D = 30,1$  см,  $H = 20,4$  м) и 67-летнего дуба семенного происхождения ( $D = 19,2$  см,  $H = 20,1$  м), в условиях свежей сложной субори (сосняк липняковый), при совместном произрастании на расстоянии 1,3 м, дуб, в первые годы, растёт медленно по сравнению с сосной. Так, в первые 5 лет сосна превышает дуб по высоте на 0,6 м, в 10 лет на 1,2 м, в 15 лет на 0,5 м, в 20 лет на 0,6 м. С 10 до 20 лет темпы роста дуба увеличиваются и достигают максимума в 25–30 лет. С 35 лет дуб интенсивно растёт и к 60 годам разница в высотах между дубом и сосной сокращается до 0,5 м. Максимальный средний прирост по диаметру у дуба и сосны приходится на 15 лет. До 35 лет средний прирост по диаметру у сосны выше в 1,8–2,6 раза, чем у дуба. С 35 лет у дуба средний прирост по диаметру выше в 1,2–2,2 раза, чем у сосны. В ходе исследования прироста по диаметру установлено, что прирост неравномерен и в среднем меньше в 1,5–2 раза у дуба на стороне, обращенной к сосне, и у сосны на стороне, обращенной к дубу. Объём ствола в коре у сосны превышает объём ствола в коре дуба в 2,7 раза, а без коры – в 3,2 раза.

У сосны объём кроны составил  $3,3 \text{ м}^3$ , а для дуба –  $1,8 \text{ м}^3$ . В кроне дуба доля сухих веток составляет 18,7% причём большинство их (91,0%) сосредоточено на сто-

роне, ближайшей к сосне. На расстоянии 1,30 м в данных условиях произрастания у сосны складываются конкурентные отношения с дубом в возрасте 20–30 лет, а начиная с 60 лет взаимоотношения переходят в индифферентные.

На слабодерновой среднеподзолистой почве, в ельнике лешиново-копытеновом ( $D_2$ ), на расстоянии от центра ствола дуба до центра ствола сосны (на уровне земли) – 3,20 м, дуб (поздно распускающейся фенологической формы, семенного происхождения) к 125 годам имеет  $D = 36,1$  см и  $H = 27,5$  м. Сосна к 122 годам имеет  $D = 44,5$  см и  $H = 30,9$  м. Площадь проекции кроны дуба составила  $37,5$  м<sup>2</sup>, а сосны –  $25,5$  м<sup>2</sup>. Перекрытие площади проекций крон сосны и дуба –  $14,0$  м<sup>2</sup> (рисунок).

Установлено, что максимум текущего прироста по диаметру у дуба и сосны совпадает и приходится на 20 лет. Второй максимум текущего прироста по диаметру у сосны в 100 лет (табл. 1).

У дуба в 90 лет максимум текущего прироста по диаметру и высоте. Сосна интенсивно развивалась до 10 лет. С 20 до 60 лет сосна превышает по текущему приросту по диаметру дуб в 1,4–1,7 раза. Дуб в 60 лет по текущему приросту в высоту, а в 70 лет по текущему приросту по диаметру начинает превышать сосну. Установлено резкое повышение текущего прироста по высоте

у дуба в период с 90 до 120 лет и по диаметру в 90 лет. К 120 годам по текущему приросту в высоту дуб превышает сосну в 3,3 раза. По текущему приросту по диаметру дуб уступает сосне в 2,6 раза. Максимальный текущий прирост по объёму ствола у дуба отмечен в 100 лет.

На расстоянии 3,20 м в данных условиях произрастания отмечается конкуренция сосны во взаимоотношениях с дубом.

На слабодерновой среднеподзолистой почве, в дубняке лешиново-копытеновом ( $D_2$ ), при расстоянии между модельными деревьями 2,75 м, дуб (поздно распускающейся фенологической формы, семенного происхождения) к 121 году имеет  $D = 37,3$  см и  $H = 25,9$  м. Сосна к 122 годам имеет  $D = 48,9$  см и  $H = 30,3$  м. Площадь проекции кроны дуба составила  $58,5$  м<sup>2</sup>, а сосны –  $70,5$  м<sup>2</sup>. Перекрытие площади проекций крон сосны и дуба –  $25,0$  м<sup>2</sup>. Максимум текущего прироста по высоте и диаметру у сосны приходится на 20 лет, а у дуба по высоте и диаметру – на 30 лет. Второй максимум текущего прироста по высоте и диаметру у сосны наблюдается в 100 лет, у дуба в 90 лет по диаметру, а в 80 и 120 лет по высоте. С 70 лет по текущему приросту по диаметру дуб превышает сосну в 1,1–1,6 раза, а по текущему приросту в высоту в 1,3–3,0 раза. Это позволяет дубу с 90 лет расти в I ярусе древостоя.

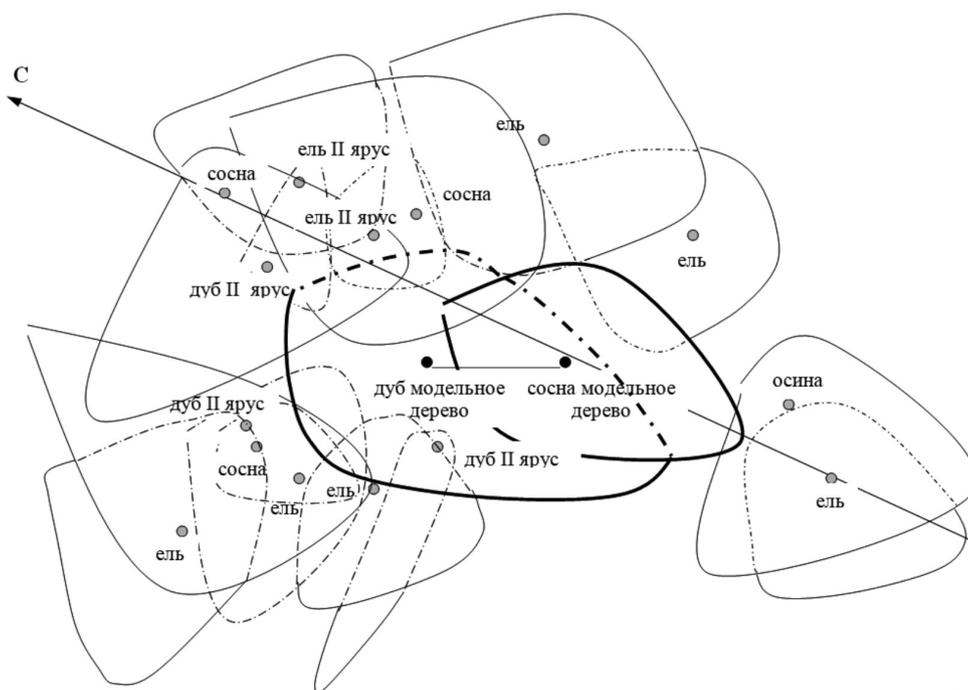


Схема проекции крон деревьев

Таблица 1

Ход роста модельных деревьев сосны и дуба

Показатель	Возраст, лет											
	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
Сосна 122 года, $D_{1,3} = 44,5$ см, $H = 30,9$ м												
$D_{1,3}$ , см	5,8	12,9	17,5	21,2	24,4	27,0	29,9	32,7	35,5	38,7	40,0	41,9
$Z_d^r$ , см	5,8	7,1	4,6	3,7	3,2	2,6	2,9	2,8	2,8	3,2	1,3	1,9
$H$ , м	5,09	11,22	18,06	23,30	26,35	28,13	29,03	29,59	29,99	30,37	30,64	30,85
$Z_h^r$ , м	5,09	6,13	6,84	5,24	3,05	1,78	0,90	0,56	0,40	0,38	0,27	0,21
Дуб 125 лет, $D_{1,3} = 36,1$ см, $H = 27,5$ м												
$D_{1,3}$ , см	0,7	5,5	8,4	10,6	12,6	14,5	17,9	21,8	26,2	29,9	31,6	33,2
$Z_d^r$ , см	0,7	4,8	2,9	2,2	2,0	1,9	3,4	3,9	4,4	3,7	1,7	1,6
$H$ , м	1,87	5,33	8,67	11,44	13,75	15,77	17,29	18,72	20,78	22,80	24,69	26,57
$Z_h^r$ , м	1,87	3,46	3,34	2,77	2,31	2,02	1,52	1,43	2,06	2,02	1,89	1,88

На расстоянии 2,75 м в данных условиях произрастания между дубом и сосной складываются конкурентные отношения с незначительными элементами индифферентности в возрасте 90–100 лет.

На слабодерновой подзолистой почве на флювиогляциальных песках и двучленных отложениях, в сосняке кустарниково-гравилатовом ( $СД_3$ ), при расстоянии 2,00 м между модельными деревьями, дуб (поздно распускающейся фенологической формы) к 121 году имеет  $D = 24,1$  см и  $H = 22,8$  м. Сосна к 133 годам имеет  $D = 43,2$  см и  $H = 30,6$  м. Площадь проекции кроны сосны составила  $34,6$  м<sup>2</sup>, а дуба –  $51,8$  м<sup>2</sup>. Перекрытие площади проекций кроны сосны и дуба –  $24,0$  м<sup>2</sup>. Дуб имеет два выраженных максимума текущего прироста по высоте и диаметру в 20 и 70 лет. Сосна также имеет два максимума текущего прироста по высоте в 30 и 80 лет, по диаметру в 30 и 70 лет. Сосна начиная с 60 лет превышает по текущему приросту по высоте дуб в 2–3 раза.

На расстоянии 2,00 м в данных условиях произрастания у дуба с сосной складываются конкурентные взаимоотношения.

На дерново-подзолистых почвах, на слоистых отложениях приледникового озера и флювиогляциального песка, подстилаемых опесчанной мореной, в дубняке лещиново-костяничном ( $СД_2$ ), при расстоянии от центра ствола сосны до центра ствола дуба 3,75 м, дуб семенного происхождения (поздно распускающейся феноформы) к 76 годам имеет  $D = 34,3$  см и  $H = 26,8$  м. Сосна к 71 году имеет  $D = 44,3$  см

и  $H = 30,0$  м. Площадь проекции кроны сосны составила  $51,5$  м<sup>2</sup>, а дуба –  $34,5$  м<sup>2</sup>. Перекрытие площади проекций кроны сосны и дуба –  $0,8$  м<sup>2</sup>. У дуба образуется компактная крона, и он растёт в одном ярусе с сосной. У сосны и дуба до 40 лет совпадают максимумы текущего прироста по высоте и диаметру. В 10 лет максимум текущего прироста по высоте у сосны и дуба почти одинаковый по величине. Дуб в 40 лет превышает сосну по текущему приросту в высоту на 7%. По текущему приросту по диаметру сосна на всём промежутке времени сохраняет преимущество перед дубом, увеличивая его от 2% в 10 лет до 46% в 70 лет.

В данных условиях произрастания у сосны с дубом на большем промежутке времени наблюдается индифферентность.

В дубняке лещиново-костяничном ( $СД_2$ ), при расстоянии от центра ствола сосны до центра ствола дуба 3,50 м, дуб семенного происхождения (поздно распускающейся феноформы) к 73 годам имеет  $D = 27,3$  см и  $H = 26,5$  м. Сосна к 69 годам имеет  $D = 39,0$  см и  $H = 31,3$  м. Площадь проекции кроны сосны составила  $22,0$  м<sup>2</sup>, а дуба –  $18,5$  м<sup>2</sup>. Перекрытие площади проекций кроны сосны и дуба –  $0,5$  м<sup>2</sup>. У сосны совпадают максимумы текущего прироста по высоте и диаметру в 20 лет. У дуба максимум текущего прироста по высоте в 40 лет, максимум текущего прироста по диаметру в 10 лет. На протяжении 30 лет сосна превышает по текущему приросту в высоту дуб и лишь в 40 лет уступает на 49%, в 50 лет на 18%. С 60 до 70 лет сосна превышает по текущему приросту в высоту дуб на 51%.

Таблица 2

Ход роста модельных деревьев сосны и дуба

Показатель	Возраст, лет								
	10	20	30	40	50	60	70	80	90
Сосна 79 лет, $D_{1,3} = 36,8$ см, $H = 29,0$ м									
$D_{1,3}$ , см	2,0	10,6	17,4	23,4	26,3	28,7	31,3	33,1	–
$Z_d^*$ , см	2,0	8,6	6,8	6,0	2,9	2,4	2,6	2,0	–
$H$ , м	4,00	11,00	16,00	21,29	24,00	25,96	27,56	29,00	–
$Z_h^*$ , м	4,00	7,00	5,00	5,29	2,71	1,96	1,60	1,60	–
Дуб 89 лет, $D_{1,3} = 43,1$ см, $H = 31,0$ м									
$D_{1,3}$ , см	3,9	11,6	15,9	19,2	23,5	27,7	32,2	36,8	39,9
$Z_d^*$ , см	3,9	7,7	4,3	3,3	4,3	4,2	4,5	4,6	3,4
$H$ , м	4,22	8,34	12,12	17,00	21,00	23,91	26,73	29,00	31,00
$Z_h^*$ , м	4,22	4,12	3,78	4,88	4,00	2,91	2,82	2,27	2,00

В данных условиях произрастания, у сосны с дубом, складываются конкурентные взаимоотношения, а с 40 лет они меняются на индифферентные.

В сосняке лещиново-костяничном ( $CD_2$ ), при расстоянии от центра ствола сосны до центра ствола дуба 3,50 м, дуб семенного происхождения (поздно распускающейся феноформы) к 86 годам имеет  $D = 35,3$  см и  $H = 28,2$  м. Сосна к 82 годам имеет  $D = 40,5$  см и  $H = 34,4$  м. Проекция кроны сосны составила  $26,0$  м<sup>2</sup>, а дуба –  $29,5$  м<sup>2</sup>. Перекрытие проекций крон сосны и дуба отсутствует. У сосны и дуба в 20 лет совпадают максимумы текущего прироста по диаметру. В течение 40 лет сосна превышает по текущему приросту по диаметру дуб. С 50 до 60 лет ситуация меняется в пользу дуба с превышением на 65 % по текущему приросту по диаметру, с 70 до 80 лет сосна превышает дуб на 56 %. По текущему приросту по высоте у сосны наблюдается один максимум в 30 лет с дальнейшим понижением прироста, у дуба выражено два максимума – в 10 лет и 40 лет.

В данных условиях произрастания у дуба складываются индифферентные взаимоотношения с сосной. Дуб в большей степени проявляет себя как виолент, а у сосны происходит смещение от виолента к пациенту.

В сосняке лещиново-костяничном ( $CD_2$ ), при расстоянии от центра ствола сосны до центра ствола дуба (на уровне земли) – 3,70 м, дуб семенного происхождения (поздно распускающейся феноформы) к 89 годам имеет  $D = 43,1$  см и  $H = 31,0$  м. Сосна

к 79 годам имеет  $D = 36,8$  см и  $H = 29,0$  м. Площадь проекции кроны сосны составила  $35,0$  м<sup>2</sup>, а дуба –  $69,0$  м<sup>2</sup>. Перекрытие площади проекций крон сосны и дуба составляет  $17,0$  м<sup>2</sup>. Ход роста в высоту показывает, что у сосны в 20 лет наблюдаются максимумы текущего прироста по диаметру и высоте. Для дуба в 10 и 40 лет характерны максимумы текущего прироста по высоте, а в 20 лет – максимум текущего прироста по диаметру (табл. 2).

С 50 лет наблюдается превосходство дуба над сосной по текущему приросту по высоте и диаметру на 40 %. В данных условиях произрастания у дуба складываются индифферентные взаимоотношения с сосной.

### Выводы

На основании исследования 24 модельных деревьев сосны и дуба можно сделать предварительные выводы, что в условиях сложных суборей и дубрав произрастание дуба с сосной возможно в одном ярусе. Благоприятные условия для роста дуба складываются в результате его возрастного и пространственного преимуществ по отношению к сосне. Площадь проекции кроны дуба чаще превышает в 1,5–3 раза площадь проекции кроны сосны. Сосна является конкурентом и проявляет повышенные темпы прироста по высоте и диаметру, по отношению к дубу, в возрасте 10–30 лет. Дуб более активно растет после 40 лет. С 60–80 лет дуб постепенно увеличивает скорость прироста по высоте. В 90–100 лет сосна уступает по темпам прироста по высоте

и диаметру дубу, который в свою очередь выходит в верхнюю часть полога насаждения. На слабодерновой среднеподзолистой почве между дубом и сосной складываются конкурентные взаимоотношения. На слабодерновой подзолистой почве на флювиогляциальных песках и двучленных отложениях, между дубом и сосной складываются конкурентные взаимоотношения, переходящие с возрастом в индифферентные. С продвижением на юг Брянского лесного массива, на дерново-подзолистых почвах, подстилаемых опесчаненной мореной, и серой лесной среднесуглинистой почве, взаимоотношения между дубом и сосной приобретают индифферентный характер.

### Список литературы

1. Коротков С.А., Захаров В.П. Особенности естественного возобновления дуба на территории Орехово-Зуевского лесничества Московской области // Лесной вестник. 2019. № 5. С. 22–29. DOI: 10.18698/2542-1468-2019-5-22-29.
2. Potapenko S.A., Zakharov V.P. Natural Regeneration Peculiarities of Oak in Orekhovo-Zuevo Forestry, Moscow Region // Forestry Bulletin. 2019. № 5. P. 22–29 (in Russian).
3. Потепенко А.М., Серенкова В.А. Анализ естественного возобновления леса в сосновых насаждениях ГЛХУ «Лунинецкий лесхоз» после проведения первого приема равномерно-постепенных рубок // Труды БГТУ. Серия 1: Лесное хозяйство, природопользование и переработка возобновляемых ресурсов. 2017. № 1 (192). С. 9–13.
4. Potapenko A.M., Serenkova V.A. Analysis of natural renewal of the forest in pine plantations of «Luninetsky forestry» after the first reception of evenly-gradual felling // Trudy BGTU. Seriya 1: Lesnoye khozyaystvo, prirodopol'zovaniye i pererabotka vozobnovlyayemykh resursov. 2017. № 1 (192). P. 9–13 (in Russian).
5. Потепенко А.М., Старшикова Л.В. Влияние освещенности на естественное возобновление дуба черешчатого (*Quercus robur* L.) под пологом лесных насаждений // Вестник МГПУ имени И.П. Шамякина. 2016. № 1 (47). С. 76–81.
6. Potapenko A.M., Starikova L.V. Influence of light on natural regeneration of oak (*Quercus robur* L.) under the canopy of forest stands // Vestnik MGPU imeni I.P. Shamyakina. 2016. № 1 (47). P. 76–81 (in Russian).
7. Сухоруков А.С. Успешность роста и состояния сосны в смешанных культурах // Вестник МГУЛ. Лесной вестник. 2010. № 1. С. 17–20.
8. Sukhorukov A.S. Success of growth and condition of pine trees in mixed cultures // Vestnik MGUL. Lesnoy vestnik. 2010. № 1. P. 17–20 (in Russian).
9. Стороженко В.Г., Чеботарёва В.В., Чеботарёв П.А. Формирование структуры дубовых насаждений естественного и искусственного происхождения // Лесохозяйственная информация. 2019. № 2. С. 46–54. DOI: 10.24419/LNI.2304-3083.2019.2.04.
10. Storozhenko V.G., Chebotareva V.V., Chebotarev P.A. Formation of the structure of oak plantations of natural and artificial origin // Lesokhozyaystvennaya informatsiya. 2019. № 2. P. 46–54 (in Russian).
11. Прутской А.В. Лесовосстановление биологически устойчивых сосново-дубовых древостоев // Роль учебно-опытных лесхозов вузов России в подготовке кадров для лесного сектора: материалы научн.-практ. конф. Брянск: БГИТУ, 2017. С. 138–142.
12. Prutskoy A.V. Reforestation of biologically stable pine-oak stands // The role of educational and experimental forestry enterprises of higher education institutions of Russia in the training of personnel for the forest sector: materials of scientific and practical conf. Bryansk: BGITU, 2017. P. 138–142 (in Russian).
13. Решетников В.Ф., Сторожишина К.М. Изучение межвидового влияния дуба и сосны как научная основа выращивания смешанных фитоценозов // Труды БГТУ. Серия 1: Лесное хозяйство, природопользование и переработка возобновляемых ресурсов. 2014. № 1 (165). С. 88–90.
14. Reshetnikov V.F., Storogishina K.M. The study of interspecific effects of oak and pine trees as a scientific basis for cultivation of mixed plant communities // Trudy BGTU. Seriya 1: Lesnoye khozyaystvo, prirodopol'zovaniye i pererabotka vozobnovlyayemykh resursov. 2014. № 1 (165). P. 88–90 (in Russian).
15. Андреева Е.Н., Баккал И.Ю., Горшков В.В. Методы изучения лесных сообществ: монография. СПб.: НИИХимии СПбГУ, 2002. 240 с.
16. Andreeva E.N., Bakka I.Y., Gorshkov V.V. Methods of studying forest communities: monograph. SPb.: NIIXimii SPbSU, 2002. 240 p. (in Russian).
17. Ильчуков С.В. Обработка древесных срезов и ядер для проявления годичных колец // Лесное хозяйство. 1997. № 6. С. 26–27.
18. Ilchukov S.V. Processing of wood sections and cores for the development of annual rings // Lesnoye khozyaystvo. 1997. № 6. P. 26–27 (in Russian).

УДК 577.21:634.21(479.24)

**ОЦЕНКА ГЕНЕТИЧЕСКОГО РАЗНООБРАЗИЯ ГЕНОТИПОВ  
АБРИКОСА (*PRUNUS ARMENIACA* L.) АЗЕРБАЙДЖАНА  
С ПОМОЩЬЮ SSR МАРКЕРОВ**

**Ракида А.М.**

*Институт генетических ресурсов Национальной академии наук Азербайджана, Баку,  
e-mail: aminkarakida@mail.ru*

Абрикос (*Prunus armeniaca* L.) широко разводится в Азербайджане как важная плодовая культура и включает богатое разнообразие сортов. Изучено генетическое разнообразие зародышевой плазмы азербайджанских сортов абрикоса с применением 7 SSR маркеров. В целом было синтезировано 59 аллелей и среднее число аллелей на локус составило 8,5. Для отобранных локусов значение PIC находилось в пределах 0,54–0,8 и в среднем составило 0,68, что свидетельствует о высоком уровне информативности большинства использованных SSR маркеров. Показатели наблюдаемой ( $H_o$ ) и ожидаемой ( $H_e$ ) гетерозиготности варьировали в диапазоне 0,35–1 (в среднем 0,82) и 0,61–0,82 (в среднем 0,72) соответственно. Общее число уникальных аллелей, выявленных для некоторых локусов, составило 12. Максимальное число уникальных аллелей было обнаружено у праймеров pchgms2 и UDAp-404. Были идентифицированы генотипы, несущие уникальные аллели по микросателлитным локусам. Праймеры ssrPaCITA4, aprigms18, UDAp-404 и ssrPaCITA19 выделялись высокими показателями гетерозиготности и наибольшим показателем значения PIC, что указывает на их информативность. В результате кластерного анализа был выявлен высокий уровень генетических различий в изученной коллекции. Сорта объединились в 7 основных групп, и расстояние между ними варьировало от 0 до 1. Установлено богатое генетическое разнообразие изученной коллекции абрикоса, собранной из различных регионов Азербайджана, и подтверждено, что SSR маркеры являются эффективными и могут быть использованы для оценки генетического полиморфизма абрикоса в целом.

**Ключевые слова:** абрикос, генетическое разнообразие, SSR маркеры, уникальные аллели, гетерозиготность

**ASSESSMENT OF THE GENETIC DIVERSITY OF APRICOT GENOTYPES  
(*PRUNUS ARMENIACA* L.) OF AZERBAIJAN USING SSR MARKERS**

**Rakida A.M.**

*Genetic Resources Institute of ANAS, Baku, e-mail: aminkarakida@mail.ru*

Apricot (*Prunus armeniaca* L.) is an important fruit crop in Azerbaijan with wide diversity of varieties. The genetic diversity of apricot germplasm originating from Azerbaijan was studied using 11 microsatellite markers. A total of 59 alleles were identified with an average of 8.5 alleles per locus. The frequency of the main alleles ranged from 0.221 (ssrPaCITA4) to 0.418 (ssrPaCITA16) and averaged 0.342. For the loci selected by us, the PIC value was in the range 0.54–0.8, on average was equal to 0.68, which indicates a high informativeness of the majority of used SSR markers. The values of the observed ( $H_o$ ) and expected ( $H_e$ ) heterozygosity were in the range of 0.35–1 (0.82 on average) and 0.61–0.82 (0.72 on average), respectively. Unique alleles were found for some of the studied loci, the total number of unique alleles was 12 (range 1–5). The largest number of unique alleles was identified by primers pchgms2 and UDAp-404. The highest informativeness was recorded for the primers ssrPaCITA4, aprigms18, UDAp-404 and ssrPaCITA19, which were distinguished by high heterozygosity and the highest PIC value. Cluster analysis allowed to combine the studied samples into 7 main groups, the distance between studied varieties varied 0 to 1, which indicates a high level of genetic differences in the studied collection. Rich genetic diversity was determined among the studied collection of apricot from various regions of Azerbaijan, and it was confirmed that SSR markers can be used to assess the genetic polymorphism of apricot in general.

**Keywords:** apricot, genetic diversity, SSR-markers, unique alleles, heterozygosity

Абрикос – ценнейшая культура, возделываемая человеком более 6000 лет, ее ареал охватывает Китай, горные районы Средней Азии, доходя на западе до Передней Азии и Закавказья [1, 2]. Были описаны 3 основных центра происхождения абрикоса: Китайский, Центрально-Азиатский и Ближневосточный [3]. Культивируемый абрикос, *Prunus armeniaca* L. (Rosaceae, подсемейство Prunoideae), является третьим по важности видом косточковых культур и имеет довольно маленький геном ( $2n = 16$ ). Эта культура распространяется по всему миру, но большая часть сосредоточена в районе

Средиземного моря, что составляет более 55% мирового производства. Биологические и хозяйственно ценные свойства абрикоса вызывают большой интерес к изучению этой культуры в различных странах мира. Абрикос сочетает в себе такие биологические особенности, как интенсивный рост, скороплодность, долголетие, высокую продуктивность. Плоды абрикоса содержат большое количество витаминов, благодаря чему широко используются не только как диетический, но и лекарственный продукт. Азербайджан богат различными сортами фруктов, среди которых особое место за-

нимают абрикосы. Основные территории, пригодные для разведения абрикоса, сосредоточены в Нахичеване, Тертере и Агдаше. История выращивания абрикоса насчитывает три тысячи лет. В результате длительной народной селекции в Азербайджане созданы такие сорта, как алыча-ерик, агновретсе, гырмызы новретсе, хагверди, агчанабат, аг теберзе, балйарым, тохум шемси, гара теберзе, сары теберзе, абуталиби, хосров шахи.

Наиболее актуальным направлением в селекции различных растений является применение молекулярных маркеров для паспортизации, изучения полиморфизма ДНК, генетических взаимоотношений и выявления генов, контролирующих хозяйственно ценные признаки [4]. Сочетание менее трудоемкого морфологического анализа с методом молекулярного маркирования приводит к более надежным выводам для оценки генетического разнообразия плодовых растений [5–7]. Для характеристик зародышевой плазмы абрикоса во всем мире используются ряд молекулярных маркеров, включая ISSR, AFLP, SSR и др. [8–10]. Наиболее широкое применение получил метод SSR-маркирования. Высокая надежность, мультиаллельная природа, кодоминантный характер наследования и хромосомспецифичность микросателлитных маркеров делают их удобными для генетического анализа и изучения межвидовых генетических связей [4, 11]. Несмотря на большое количество публикаций по генетическим исследованиям абрикоса данное направление все еще остается актуальным [12–14]. Отметим, что абрикос с использованием современных молекулярных методов мало изучался в Азербайджане.

Цель исследования: изучение генетического разнообразия и генетических связей 61 образцов абрикоса Азербайджанского происхождения с использованием 7 SSR маркеров.

#### Материалы и методы исследования

Молекулярные исследования проводили на 61 сорте абрикоса из четырех регионов Азербайджана (Нахичевань, Тертер, Агдаш и Астара). Названия и происхождения изученных генотипов приведены в табл. 1.

#### Выделение ДНК и ПЦР

Геномную ДНК выделяли из свежесобранных листьев СТАБ методом [15]. Концентрацию и степень чистоты молекулы ДНК определяли с помощью спек-

трофотометра NanoDrop2000с. ПЦР-смесь (20 мкл) включала 1,5 мкл 10× ПЦР буфера, 1,5 мкл смеси dNTP (10 мМ), 1 мкл MgCl<sub>2</sub> (50 мМ), 0,35 мкл 10 μМ праймера, 0,3 мкл фермента *Taq* полимеразы (5 U/мкл), 0,20 мкл флуоресцентной метки (FAM, NED, PET и VIC) и 3 мкл выделенной ДНК (50 нг/мкл).

#### Анализ данных

Для каждого SSR локуса было рассчитано общее число аллелей (Na). Параметры генетического разнообразия, включающие частоту встречаемости основных аллелей, наблюдаемую ( $H_o$ ) и ожидаемую ( $H_e$ ) гетерозиготность, а также величину информационного полиморфизма (PIC) были статистически анализированы с применением программного обеспечения PowerMarker, версия V3.025 [16]. Для молекулярного анализа были использованы 7 микросателлитных маркеров: aprgms18, sspPaCITA16, sspPaCITA19, sspPaCITA4, UDAp-404, sspPaCITA21, pchgms2. Кластерный анализ проводили при помощи программы DARwin 6.0 [17].

#### Результаты исследования и их обсуждение

*Генетический полиморфизм.* В любой селекционной программе важно иметь возможность выявить уникальные ДНК профили для сортовой идентификации, определения генетического разнообразия, выявления родительских форм и изучения таксономического родства. Использование SSR маркеров обеспечивает возможность решения этих задач в генетике и селекции плодовых культур рода *Prunus*. Известен целый ряд публикаций, связанных с изучением генетического полиморфизма абрикоса на основе микросателлитных повторов [18–20].

Для молекулярного анализа 61 образца абрикоса из четырех регионов Азербайджана был использован SSR-метод (табл. 2). В результате исследования по 7 микросателлитным локусам было синтезировано 59 аллелей. Число аллелей на локус находилось в пределах 6 (для маркеров sspPaCITA16 и sspPaCITA21) – 12 (для маркера UDAp-404) и в среднем составило 8,5.

В селекционном процессе любых плодовых культур, в том числе абрикоса, важно выявить уникальные генетические профили ДНК для идентификации и определения генетических взаимоотношений [21–23]. В наших исследованиях общее число уникальных аллелей составило 12 (диапазон 1–5).

Таблица 1

Названия и географическое происхождение образцов абрикоса

№	Образец	Место сбора	№	Образец	Место сбора
1	Зейнеби	Агдаш	32	Ордубад эрики	Тергер
2	Май Натиг	Агдаш	33	Аг эрик	Тергер
3	Аг эрик Гюльнар	Агдаш	34	Бадам эрик	Тергер
4	Йени форма	Нахичевань	35	Шемси	Нахичевань
5	Чыр Зеферан	Нахичевань	36	Бадам эрик	Геранбой
6	Чыр эрик	Нахичевань	37	Агча Набат	Нахичевань
7	Неизвестный	Нахичевань	38	Гейча Набат	Нахичевань
8	Майчичеи	Нахичевань	39	Хагверди	Нахичевань
9	Балиарым	Нахичевань	40	Иран сорту	Нахичевань
10	Хампа	Нахичевань	41	Ордубад Шерефи	Нахичевань
11	Йени форма	Нахичевань	42	Хейдери	Нахичевань
12	Чыр Нахичевань	Нахичевань	43	Ордубад чыры	Нахичевань
13	Йай Шерефи	Нахичевань	44	Форма	Нахичевань
14	Шалах	Нахичевань	45	Ирандан гелме	Нахичевань
15	Теберзе	Нахичевань	46	Ордубад Набати	Нахичевань
16	Тохум Шемси	Нахичевань	47	Йени форма	Нахичевань
17	Гечйетишен	Нахичевань	48	Шалах	Нахичевань
18	Бадами	Нахичевань	49	Алча эрик	Нахичевань
19	Хелена (Американский сорт)	Нахичевань	50	Абу Телеби	Нахичевань
20	Мехмани	Нахичевань	51	Теберзе	Нахичевань
21	Хагверди	Нахичевань	52	Аг Эрик Эльчин	Агдаш
22	Аг Набати	Нахичевань	53	Май Геранбой	Агдаш
23	Кюрдеши	Нахичевань	54	Майовка	Агдаш
24	Талеби	Нахичевань	55	Бадами	Агдаш
25	Туркийе сорту	Нахичевань	56	Шалах	Агдаш
26	Аг бадами	Нахичевань	57	Гырмызыйанаг	Тергер
27	Агчанабад	Нахичевань	58	Иреван эрик Шалах	Тергер
28	Лимон эрик	Нахичевань	59	Майовка	Тергер
29	Форма	Нахичевань	60	Лимон эрик	Нахичевань
30	Аг эрик (позднеспелый)	Геранбой	61	Аскерабат	Нахичевань
31	Аг эрик (скороспелый)	Геранбой			

Уникальные аллели были обнаружены в локусе *rchgms2* у генотипов Зейнеби, Май Натиг, Чыр Зеферан, Елена и Ордубад Шерефи (хромосома 7, пять аллелей), в локусе *UDAr-404* у генотипов Зейнеби, Чыр Зеферан и Елена (хромосома 4, три аллеля), в локусе *ssrPaCITA19* у генотипов Зейнеби, Май Натиг и Елена (хромосома 2, три аллеля), в локусе *ssrPaCITA4* у генотипа Майовка (Агдаш) (хромосома 3, один аллель). Максимальное число уникальных аллелей было выявлено праймером *rchgms2*. Наличие уникальной комбинации аллелей показано для шести сортов, содержащих от одного до трех таких аллелей. У образцов Зейнеби и Елена зафиксированы уникальные аллели в трех локусах (*ssrPaCITA19*, *UDAr-404*, *rchgms2*). Наличие уникальных аллелей, обнаруженных у некоторых образцов, может быть связано с тем, что эти сорта были обогащены заро-

дышевой плазмой различного происхождения или же с мутацией в микросателлитной последовательности, которая дает начало новому аллелю. Таким образом, маркеры *rchgms2*, *UDAr-404* и *ssrPaCITA19* являются наиболее эффективными и могут быть рекомендованы для идентификации образцов абрикоса.

Нами были рассчитаны частоты встречаемости выявленных аллелей и индекс информативности (PIC) для каждого маркера (табл. 2).

Частота основных аллелей варьировала от 0,221 (*ssrPaCITA4*) до 0,418 (*ssrPaCITA16*) и в среднем равнялась 0,342. Полученные значения PIC находились в диапазоне 0,54–0,8, что указывает на информативность большинства использованных SSR маркеров. Наименьший показатель PIC выявлен для локуса *ssrPaCITA21*, наибольший – для *ssrPaCITA4*.

Таблица 2

Основные показатели генетического разнообразия у 61-го образца абрикоса

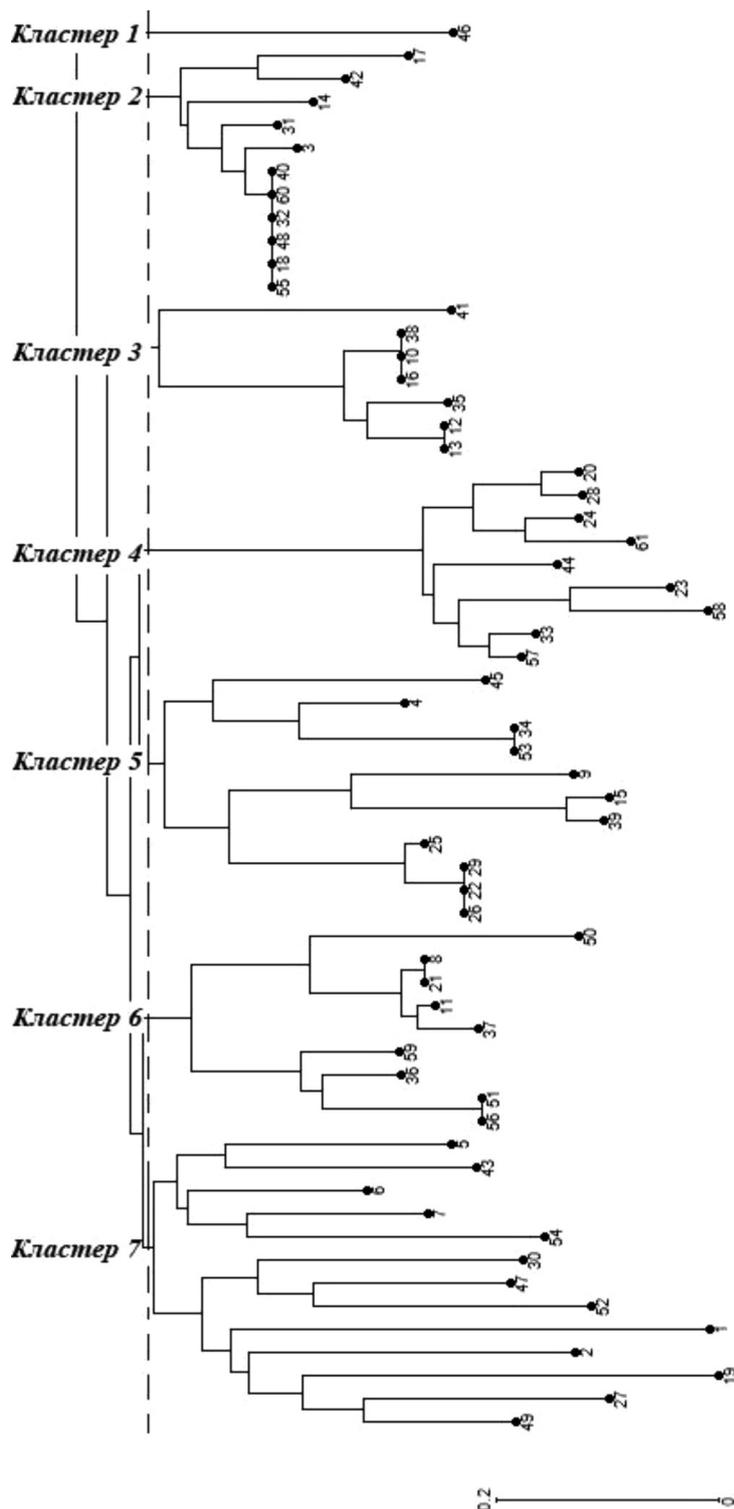
Локус	Группа сцепления	Общее число аллелей	Частота основного аллеля	$H_o$	$H_e$	PIC
aprigms18	1	9	0,3689	0,98	0,78	0,75
ssrPaCITA16	2	6	0,4180	0,87	0,69	0,66
ssrPaCITA19	2	8	0,3033	0,98	0,75	0,71
ssrPaCITA4	3	7	0,2213	0,94	0,82	0,8
UDAp-404	4	12	0,2869	0,6	0,76	0,73
ssrPaCITA21	5	6	0,4016	0,35	0,61	0,54
pchgms2	7	11	0,3934	1	0,66	0,61
Среднее значение		8,4	0,3420	0,82	0,72	0,68
Всего		59				

Примечание.  $H_o$  – величина наблюдаемой гетерозиготности,  $H_e$  – величина ожидаемой гетерозиготности, PIC – величина информационного полиморфизма.

Показатели наблюдаемой ( $H_o$ ) и ожидаемой ( $H_e$ ) гетерозиготности находились в пределах 0,35–1 (в среднем 0,82) и 0,61–0,82 (в среднем 0,72) соответственно. Установлена корреляция между наблюдаемым и ожидаемым уровнем гетерозиготности. Наибольшие значения ожидаемой гетерозиготности были выявлены праймерами ssrPaCITA4 ( $H_e$  -0,82), aprigms18 ( $H_e$  -0,78), UDAp-404 ( $H_e$  -0,76) и ssrPaCITA19 ( $H_e$  -0,75). Полученные нами результаты показали, что изученные зародышевые плазмы абрикоса имеют высокий уровень генетического разнообразия и согласуются с данными других авторов. Так, исследование Жибентяева и соавторов [24] о генетическом разнообразии основных абрикосов культивируемых в Европе, Северной Америке, Южной Африке и Австралии показали, что ожидаемая гетерозиготность в среднем составила 0,645. Бургибу и другие [25] исследуя генетическое разнообразие абрикосов культивируемых в Алжире, Марокко и Тунисе выявили ожидаемую гетерозиготность равной 0,593, которая была ниже, чем у абрикосов, выращиваемых в Китае. Чжан и соавторы [26], проанализировали 94 сорта абрикоса в Китае с использованием SSR маркеров и показали высокий уровень генетического разнообразия, где средняя ожидаемая гетерозиготность была равна 0,792.

Методом кластерного анализа генотипы сгруппировались в 7 различных кластеров, где индекс генетического расстояния (ИГР) варьировал от 0 до 1 (рисунок). Наибольшее количество генотипов объедини-

лись в кластере 7, который подразделяется на 2 субкластера. Второй и пятый кластер включают в себя по 11 генотипов, четвертый и шестой – по 9, а наименьшим числом образцов представлен кластер 3. Между некоторыми сортами выявлено нулевое значение коэффициента генетического сходства (ИГР = 0). Генотип под номером 46 сформировал отдельный кластер, что говорит о наибольшей отдаленности этого сорта. Максимальное генетическое расстояние установлено между генотипами под номерами 2 и 58, 46 и 19, 24 и 29, 54 и 28, 51 и 28, где ИГР был равен 1, что дает возможность их применения в различных селекционных программах с целью обогащения генетического разнообразия абрикоса. В изучаемой коллекции собраны отечественные образцы абрикоса из четырех регионов Азербайджана. Анализируя дендрограмму, можно отметить группировку в зависимости от места сбора изученных сортов. Во всех кластерах преобладают образцы из Нахичевани, что обусловлено наибольшим размером выборки. А второй кластер представлен исключительно образцами из вышеуказанного региона. Сорта 1, 2, 52 и 54 из Агдаша сгруппировались в шестом, сорта 33, 57 и 58 из Тертера в третьем кластере, что может свидетельствовать об их генетическом сходстве. Существует ряд работ, направленных на анализ генетических родственных связей сортов абрикоса [27, 28]. Проведение таких исследований позволяет оценить существенные генетические различия между группами сортов.



Дендрограмма, построенная на основе индекса генетического расстояния

**Заключение**

Таким образом, был изучен полиморфизм семи микросателлитных локусов и вы-

явлено богатое генетическое разнообразие сортов изученной коллекции абрикоса, что подтверждает эффективность выбранных SSR маркеров. Наиболее информативными

оказались праймеры *ssrPaCITA4*, *aprigms18*, *UDAp-404* и *ssrPaCITA19*, которые отличились высокими показателями гетерозиготности и наибольшими значениями PIC. Кроме того, в изученной выборке были обнаружены сорта с уникальными аллелями, выявленными праймерами *rchgms2*, *UDAp-404* и *ssrPaCITA19*. Указанные праймеры могут быть использованы для идентификации и паспортизации сортов абрикоса в дальнейших – селекционных программах.

### Список литературы

1. Горина В.М. Научные основы селекции абрикоса и алычи для Крыма и юга Украины: дис. ... докт. сельскохоз. наук. Ялта, 2014. 479 с.
2. Gorina V.M. The scientific basis for selection of apricot and cherry plum for the Crimea and southern Ukraine: dis. dokt. sel'skokhoz. nauk. Yalta, 2014. 479 p. (in Russian).
3. Костина К.Ф. Абрикос. М.: ВАСХНИЛ, 1936. 292 с.
4. Kostina K.F. Apricot. M.: VASXNIL, 1936. 292 p. (in Russian).
5. Vavilov N.I. Phytogeographical basis of plant breeding. In: CHESTER, K.S. (trans): The origin, variation, immunity and breeding of cultivated plants. Chronical Botany. 1951. no. 13. P. 13–54.
6. Аббасов М.А. Изучение генетического полиморфизма диплоидной пшеницы *Triticum boeoticum* boiss. с использованием SSR маркеров // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2018. Т. 22. № 5. С. 515–523. DOI: 10.18699/VJ18.389.
7. Abbasov M.A. Study of genetic diversity of diploid wheat *Triticum boeoticum* Boiss using SSR markers // Vavilovskiy zhurnal genetiki i selektsii. 2018. V. 22. № 5. P. 515–523.
8. Sanchez-Perez R., Dicenta F et al. Application of simple sequence repeat (SSR) markers in apricot breeding: molecular characterisation, protection, and genetic relationships. *Sci Hort.* 2005. vol. 103. P. 305–315. DOI: 10.1016/j.scienta.2004.06.009.
9. Yilmaz K., Paydas-Kargi S., Dogan Y., and Kafkas S. Genetic diversity analysis based on ISSR, RAPD and SSR among Turkish apricot germplasms in Iran Caucasian eco-geographical group. *Sci. Hort.* 2012. No. 138. P. 138–143. DOI: 10.1016/j.scienta.2012.02.017.
10. Bourguiba H., Krichen L, Audergon J. M et al. Impact of Mapped SSR Markers on the Genetic Diversity of Apricot (*Prunus armeniaca* L.) in Tunisia. *Plant Mol. Biol. Rep.* 2010. vol. 28. P. 578–587. DOI:10.1007/s11105-010-0189-x.
11. Hagidimitriou M., Rousakis E., Tripolitsiotis K. et al. Genetic diversity of a collection of Greek and foreign apricot cultivars and hybrids using molecular markers. *Acta Horticulturae*. 2010. No. 862. P. 39–43. DOI: 10.17660/ActaHortic.2010.862.3.
12. Raji R., Jannatizadeh A., Fattahi R., Esfahlani M.A. Investigation of variability of apricot (*Prunus armeniaca* L.) using morphological traits and microsatellite markers. *Sci. Hort.* 2014. No. 176. P. 225–231. DOI:10.1016/J.SCIEN.2014.06.033.
13. Zhang Q.P., Liu D.C., Liu S., Liu N., Wei X., Zhang A.M., Liu W.S. Genetic diversity and relationships of common apricot (*Prunus armeniaca* L.) in China based on simple sequence repeat (SSR) markers. *Gen. Res. and Crop Evol.* 2014. No. 61. P. 1–12. DOI: 10.1007/s10722-013-0039-4.
14. Gurcan K., Necip O. Yilmaz K.U., Ullah Sh., Erdogan A., Zengin Ya. Evaluation of Turkish apricot germplasm using SSR markers: Genetic diversity assessment and search for Plum pox virus resistance alleles. *Scientia Horticulturae*. 2015. No. 193. P. 155–164. DOI: 10.1016/J.SCIEN.2015.07.012.
15. Decroocq S., Cornille A., Tricon D., Babayeva S., Chague A., Eyquard J.P., Karychev R., Dolgikh S., Kostriysyna T., Liu S., Liu W., Geng W., Liao K., Asma B.M., Akparov Z., Giraud T., and Decroocq V. New insights into the history of domesticated and wild apricots and its contribution to Plum pox virus resistance. *Mol. Ecol.* 2016. No 19. P. 4712–4729. DOI: 10.1111/mec.13772.
16. Wang Y., Zhang J., Sun H., Ning N., and Yang L. Construction and evaluation of a primary core collection of apricot germplasm in China. *Sci. Hort.* 2011. No. 128. P. 311–319. DOI: 10.1016/j.scienta.2011.01.025.
17. Bourguiba H., Audergon J.M., Krichen L., Trifi-Farah N., Mamouni A., Trabelsi S., D'Onofrio C., Asma B., Santoni S., Khadari B. Loss of genetic diversity as a signature of apricot domestication and diffusion into the Mediterranean Basin. *BMC Plant Biol.* 2012. No. 12 (1). DOI: 10.1186/1471-2229-12-49.
18. Doyle J.L., Doyle J.J. A rapid DNA isolation procedure for small quantities of fresh leaf tissue. *Phytochem. Bull.* 1987. vol. 19. P. 11–15.
19. Liu K., Muse S.V. Power Marker: Integrated analysis environment for genetic marker data. *Bioinformatic.* 2005. no. 21. P. 2128–2129.
20. Perrier X., Jacquemoud-Collet J.P. DARwin software 2006. [Electronic resource]. URL: <http://darwin.cirad.fr/darwin> (date of access: 26.06.2020).
21. Степанов И.В. Использование SSR маркеров в генетических исследованиях рода *Prunus* // Научный журнал КубГАУ. 2013. № 90 (06). С. 191–204.
22. Stepanov I.V. The use of SSR markers in genetic studies of the genus *Prunus* // Nauchnyy zhurnal KubGAU. 2013. № 90 (06). P. 191–204 (in Russian).
23. Hormaza J.I. Molecular characterization and similarity relationships among apricot (*Prunus armeniaca* L.) genotypes using simple sequence repeats. *Theor Appl Genet.* 2002. No. 104 P. 321–328. DOI: 10.1007/s001220100684.
24. Decroocq V., Fave M.G., Hagen L., Bordenave L., Decroocq S. Development and transferability of apricot and grape EST microsatellite markers across taxa. *Theor. and Appl. Gen.* 2003. No. 106. P. 912–922. DOI: 10.1007/s00122-002-1158-z.
25. Генетические основы селекции растений. Биотехнология в селекции растений. Геномика и генетическая инженерия / Науч. ред. А.В. Кильчевский, Л.В. Хотылева. Минск: Беларуская навука, 2014. Т. 4. 653 с.
26. Genetic basis of plant breeding. Biotechnology in plant breeding. Genomics and genetic engineering / nauch. red. A.V. Kilchevskiy, L.V. Xotlyova. Minsk: Belaruskaya nayka, 2014. V. 4. 653 p. (in Russian).
27. Li M., Zhao Z., Miao X., Zhou J. Genetic diversity and population structure of Siberian apricot (*Prunus sibirica* L.) in China. *Int. J. Mol. Sci.* 2014. No. 15. P. 377–400. DOI: 10.3390/ijms15010377.
28. Decroocq S., Cornille A., Tricon D., Babayeva S., Chague A., Eyquard J.P., Karychev R., Dolgikh S., Kostriysyna T., Liu S., Liu W., Geng W., Liao K., Asma B.M., Akparov Z., Giraud T., Decroocq V. New insights into the history of domesticated and wild apricots and its contribution to Plum pox virus resistance. *Mol. Ecol.* 2016. No. 19. P. 4712–4729. DOI: 10.1111/mec.13772.
29. Zhebentyayeva T.N., Reighard G.L., Gorina V.M., Abbott A.G. Simple sequence repeat (SSR) analysis for assessment of genetic variability in apricot germplasm. *Theor Appl Genet.* 2003. No. 106. P. 435–444. DOI:10.1007/s00122-002-1069-z.
30. Bourguiba H., Audergon J.M., Krichen L., Trifi-Farah N., Mamouni A., Trabelsi S., D'Onofrio C., Asma B., Santoni S., Khadari B. Loss of genetic diversity as a signature of apricot domestication and diffusion into the Mediterranean Basin. *BMC Plant Biol.* 2012. No. 12 (1). DOI: 10.1186/1471-2229-12-49.
31. Zhang Q.P., Liu D.C., Liu S., Liu N., Wei X., Zhang A.M., Liu W.S. Genetic diversity and population structure of the North China populations of Apricot (*Prunus armeniaca* L.). *Sci. Agric. Sinica.* 2013. no. 46. P. 89–98.
32. Krichena L., Audergon J.M., Trifi-Faraha N. Assessing the genetic diversity and population structure of Tunisian apricot germplasm. *Sci. Hort.* 2014. No. 172. P. 86–100.
33. Romero C., Pedryc A., Munoz V., Lacer G., Badenes M.L. Genetic diversity of different apricot geographical groups determined by SSR markers. *Genome.* 2003. No. 46. P. 244–252. DOI: 10.1139/g02-128.

УДК 630\*232.1: 502.171(072)

## АНАЛИЗ СОДЕРЖАНИЯ БИОЛОГИЧЕСКИХ ПИГМЕНТОВ В ЛИСТЬЯХ ДРЕВЕСНЫХ РАСТЕНИЙ ПРИ СТРЕССОВЫХ ВОЗДЕЙСТВИЯХ

Семенютина В.А., Беляев А.И., Свинцов И.П.

Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения  
Российской академии наук, Волгоград, e-mail: VSem89@mail.ru

В Волгоградской области засуха является одним из главных экологических стрессов для древесных растений. В полевых условиях проведено экспериментальное изучение засухоустойчивости по содержанию биологических пигментов. В исследовании использовали портативный измеритель флавоноидов, антоцианов и хлорофилла DUALEX SCIENTIFIC+. Объектами исследований являлись листья 10-летних организмов древесного растения *Zizyphus jujuba* (крупноплодных – «Та-ян-цзао», «Южанин»; среднеплодных – «Дружба», «Финик»; мелкоплодных форм – «Сочинский», «Темрюкский»), произрастающих на каштановых почвах (Волгоградская область, коллекции ФНЦ агроэкологии РАН). Годы исследований: 2018 (с засушливым летним периодом) и 2019 (более благоприятный в гидрологическом отношении). Инструментально выявлены различия показателей содержания пигментов в зависимости от влияния экологических стрессов (летние засухи, освещенность в пределах кроны, климатические факторы места произрастания). В течение вегетационных периодов отмечено наибольшее содержание биологических пигментов в листовом аппарате крупноплодных форм (хлорофилл: 23,22–29,48 мг/см<sup>2</sup>; флавоноиды: 1,57–1,73 мг/см<sup>2</sup>; антоцианы: 0,10–0,16 мг/см<sup>2</sup>). Листья растений мелкоплодных форм характеризуются меньшим содержанием пигментов (хлорофилл: 13,99–24,80 мг/см<sup>2</sup>; флавоноиды: 1,79–1,96 мг/см<sup>2</sup>; антоцианы: 0,14–0,21 мг/см<sup>2</sup>). В засушливый период содержание хлорофилла снижается, содержание флавоноидов и антоцианов возрастает, что обуславливает механизмы адаптации растений к стрессовым факторам недостатка воды. В ответ на засушливые условия листья мелкоплодных форм интенсивнее накапливали и синтезировали флавоноиды и антоцианы, что подтверждает их адаптацию к неблагоприятным условиям среды. Исследование хлорофилла выявило различия в его содержании по вертикальному профилю кроны – оно увеличивается сверху вниз. Установлено, что в пределах кроны содержание антоцианов и флавоноидов находится в обратной зависимости от концентрации хлорофилла. У более засухоустойчивых растительных организмов *Zizyphus jujuba* («Темрюкский», «Сочинский») в условиях водного дефицита меньше повреждаются системы клеток за счет изменений в содержании биологических пигментов.

**Ключевые слова:** *Zizyphus jujuba*, хлорофилл, флавоноиды, антоцианы, засушливый период, стрессовый фактор, адаптация

## ANALYSIS OF THE CONTENT OF BIOLOGICAL PIGMENTS IN LEAVES OF WOOD PLANTS UNDER STRESS

Semenyutina V.A., Belyaev A.I., Svintsov I.P.

Federal Scientific Centre of Agroecology, Complex Melioration and Protective Afforestation of Russian Academy of Sciences, Volgograd, e-mail: VSem89@mail.ru

In the Volgograd region, drought is one of the main environmental stresses for woody plants. In the field, an experimental study of drought resistance by the content of biological pigments was carried out. The study used a portable meter of flavonoids, anthocyanins and chlorophyll – DUALEX SCIENTIFIC+. The objects of research were the leaves of 10-year-old plant organisms of the bush *Zizyphus jujuba* (large-fruited – 'Ta-yan-tszao', 'Yujanin'); medium-fruited – 'Friendship', 'Finik'; small-fruited forms – 'Sochinsky', 'Temryuksky') on chestnut soils (Volgograd region, collections of the Federal Research Center for Agroecology of the Russian Academy of Sciences). Years of research: 2018 (with a dry summer period) and 2019 (hydrologically more favorable). Using a portable instrument, differences in the pigment content were revealed depending on the influence of environmental stresses (summer droughts, light exposure within the crown, climatic factors of the place of growth). During the growing season, the highest content of biological pigments was noted in the leaf apparatus of large-fruited forms (chlorophyll: 23.22–29.48 mg/cm<sup>2</sup>; flavonoids: 1.79–1.96 mg/cm<sup>2</sup>; anthocyanins: 0.14–0.21 mg/cm<sup>2</sup>). The leaves of small-fruited plants are characterized by a lower pigment content (chlorophyll: 13.99–24.80 mg/cm<sup>2</sup>; flavonoids: 1.57–1.73 mg/cm<sup>2</sup>; anthocyanins: 0.10–0.16 mg/cm<sup>2</sup>). In the dry period, the chlorophyll content decreases; the content of flavonoids and anthocyanins increases, which determines the mechanisms of plant adaptation to stress factors of a lack of water. In response to arid conditions, light intensity and water scarcity, the leaves of small-fruited varieties accumulated and synthesized flavonoids and anthocyanins more intensively, which confirms the best adaptation of these varieties to adverse environmental conditions. A study of chlorophyll revealed differences in its content along the vertical profile of the crown – it increases from top to bottom within the crown. It was established that, within the crown, the content of anthocyanins and flavonoids is inversely related to the concentration of chlorophyll. In more drought-resistant plant organisms, *Zizyphus jujuba* ('Temryuksky', 'Sochinsky') under water deficiency, cell systems are less damaged due to changes in the content of biological pigments. The accumulation of flavonoids and anthocyanins can be part of the stress signal caused by drought and affect the adaptive reactions of plant organisms.

**Keywords:** *Zizyphus jujuba*, chlorophyll, flavonoids, anthocyanins, dry period, stress factor, adaptation

Засуха является одним из главных экологических стрессов, ограничивающих продуктивность растений [1]. Растения страдают от засухи, когда у них нет

доступа к достаточному количеству воды для установления баланса между поглощением и потерей воды [2]. Растительные организмы используют различные адаптации

для преодоления водного дефицита и выживания. Они делятся на две категории: предотвращение засухи и устойчивость к засухе – и зависят от интенсивности, продолжительности и вида стресса, а также способности растения адаптироваться на молекулярном, биохимическом и физиологическом уровнях [3]. При воздействии засухи снижается скорость фотосинтеза, что приводит к меньшей ассимиляции органического вещества для роста и урожайности. Растения могут частично защитить себя при мягком стрессе от засухи путем накопления осмолитов. Накопление биологических пигментов может быть частью сигнала стресса, влияющего на адаптивные реакции [4].

Флавоноиды представляют собой группу многофункциональных растительных вторичных метаболитов, которые играют ключевую роль в защите растений от ультрафиолетового излучения, патогенных микроорганизмов и абиотических стрессов [5].

Часть биохимической адаптации включает в себя изменение типа или количества флавоноидных соединений, а также изменение их транспорта и закономерности распределения в растительных тканях / органах [6]. Они определяют цвет плодов и семян, а также отвечают за аллелопатию, симбиоз растительных бактерий и контролируют рост и развитие растений через торможение транспорта ауксина. Кроме того, защитная задача флавоноидов в растениях связана с их антиоксидантной активностью. Гидроксильные группы флавоноидов, как доноры электронов или водорода, инициируют удаление свободных радикалов. Клетки высшего растения содержат не только основные органические вещества, такие как углеводы, белки, жиры или нуклеиновые кислоты, но также и широкий спектр других молекул с фенольной химической структурой. Доказано, что некоторые из их функций в растениях связаны с адаптацией к вредному УФ-излучению, взаимодействию растений и травоядных животных или химической защитой от вредителей и патогенов [3, 4, 7].

Актуально изучение накопления и динамики содержания биологических пигментов в клетках растительных организмов как части агроэкологического мониторинга устойчивости и адаптивных реакций растений.

Цель исследования: изучить влияние факторов среды (освещенность – нижняя, средняя и верхняя части кроны; воздействие климатических стресс-факторов –

засуха, интенсивность света) на накопление биологически активных веществ – флавоноидов, хлорофиллов, антоцианов у различных форм *Zizyphus jujuba* (мелко-, средне- и крупноплодных).

#### Материалы и методы исследования

Объектами исследований являлись листья 10-летних растительных организмов кустарника *Zizyphus jujuba* (крупноплодных – «Та-ян-цзао», «Южанин»; среднеплодных – «Дружба», «Финик»; мелкоплодных форм – «Сочинский», «Темрюкский»), произрастающих на каштановых почвах (Волгоградская область, коллекции ФНЦ агроэкологии РАН). Годы исследований: 2018 (с засушливым летним периодом) и 2019 (более благоприятный в гидрологическом отношении). Изучен пигментный комплекс листьев растений двух представительных участков (г. Волгоград – шесть сортов и г. Камышин – растения мелкоплодной формы) [8].

Измерения проводились с июня по август в течение 2018 и 2019 гг. устройством DUALEX SCIENTIFIC + (рис. 1).



Рис. 1. Процесс измерения содержания биологически активных веществ в листьях *Zizyphus jujuba*

Для измерений биологических пигментов (хлорофилл  $a + b$ , флавоноиды, антоцианы) в полевых условиях с помощью переносного прибора (DUALEX SCIENTIFIC +) отмечались маркером прикрепленные листья в верхней, средней и нижней частях кроны. Для измерения УФ-поглощения эпидермисом зажим прибора размещали на участках листа без крупных боковых и центральной жилок. Измерения проводились в каждом ярусе на 10 листьях каждого

растения в 10-кратной повторности. Диаметр измеряемой поверхности 5 мм. Измерения проводились каждую декаду месяца (в полуденные часы). Температура (°C) и влажность воздуха (%) фиксировались с помощью HYGROMETER testo 608-H1.

Принцип работы прибора Dualex: измерение оптической абсорбции УФ-лучей при определении количества флавоноидов; при измерении содержания хлорофилла – пропускание в двух длинах инфракрасного излучения.

Статистическая обработка данных осуществлялась при помощи программных пакетов Excel MS Office-2010 и Statistica 10.

**Результаты исследования и их обсуждение**

Под влиянием высокой температуры ксероморфность растений повышается как важный показатель адаптации к засушливым условиям [4, 7]. Это согласуется с анализом содержания биологически активных веществ флавоноидов, хлорофиллов и антоцианов (табл. 1).

Наблюдаются сортовые различия в накоплении биологически активных веществ.

Наибольшее накопление БАВ у листьев крупноплодных сортов, что очевидно связано с тем, что их листья более мясистые и сочные, характеризуются большей массой, толщиной и объемом (хлорофилл: 23,22–29,48 мг/см<sup>2</sup>; флавоноиды: 1,57–1,73 мг/см<sup>2</sup>; антоцианы: 0,10–0,16 мг/см<sup>2</sup>). Листья растений мелкоплодных форм кожистые с большим количеством жилок характеризуются меньшим содержанием пигментов (хлорофилл: 13,99–24,80 мг/см<sup>2</sup>; флавоноиды: 1,79–1,96 мг/см<sup>2</sup>; антоцианы: 0,14–0,21 мг/см<sup>2</sup>).

Водный стресс подавляет фотосинтез, воздействуя на компоненты хлорофилла. Содержание хлорофилла связано с водоудерживающей способностью листьев древесных растений. Меньше хлорофилла накапливалось под влиянием тепла и света в засушливый летний период 2018 г. 2019 год был благоприятен в гидрологическом отношении, характеризовался частыми обильными осадками на территории Нижнего Поволжья, в этот период зафиксировано максимальное содержание хлорофилла у крупноплодных сортов (27,15–29,48 мг/см<sup>2</sup>).

**Таблица 1**

Концентрации некоторых пигментов в тканях листьев сортов унаби (путем измерения содержания хлорофилла (Chl), флавоноидов (Flav), антоцианов (Anth) в листьях) DUALEX SCIENTIFIC +

Сорт	Содержание, мг/см <sup>2</sup>					
	2018			2019		
	хлорофилл <i>a + b</i>	флавоноиды	антоцианы	хлорофилл <i>a + b</i>	флавоноиды	антоцианы
«Та-ян-цао»	$24,54 \pm 1,09$ 24,00–25,79	$1,73 \pm 0,08$ 1,64–1,78	$0,16 \pm 0,010$ 0,15–0,17	$29,48 \pm 1,13$ 28,70–30,79	$1,66 \pm 0,17$ 1,54–1,85	$0,10 \pm 0,018$ 0,08–0,12
«Южанин»	$23,22 \pm 1,13$ 22,27–24,18	$1,69 \pm 0,08$ 1,64–1,78	$0,16 \pm 0,009$ 0,15–0,16	$27,15 \pm 1,08$ 25,98–28,11	$1,57 \pm 0,21$ 1,33–1,71	$0,10 \pm 0,018$ 0,10–0,03
«Дружба»	$20,73 \pm 0,66$ 20,15–21,44	$1,76 \pm 0,14$ 1,63–1,90	$0,17 \pm 0,022$ 0,15–0,20	$26,90 \pm 1,95$ 24,50–28,85	$1,72 \pm 0,01$ 1,71–1,72	$0,13 \pm 0,004$ 0,12–0,13
«Финик»	$19,83 \pm 3,40$ 17,15–23,66	$1,76 \pm 0,09$ 1,66–1,84	$0,17 \pm 0,028$ 0,15–0,20	$26,09 \pm 2,34$ 24,42–28,78	$1,70 \pm 0,04$ 1,68–1,76	$0,13 \pm 0,022$ 0,10–0,14
«Сочинский»	$16,15 \pm 1,77$ 14,33–17,86	$1,96 \pm 0,13$ 1,81–2,04	$0,21 \pm 0,004$ 0,21–0,22	$24,80 \pm 2,77$ 21,83–27,32	$1,96 \pm 0,13$ 1,57–0,21	$0,15 \pm 0,005$ 0,14–0,15
«Темрюкский»	$13,99 \pm 1,79$ 12,54–15,99	$1,84 \pm 0,04$ 1,80–1,89	$0,18 \pm 0,015$ 0,17–0,19	$21,89 \pm 3,05$ 18,41–24,10	$1,79 \pm 0,01$ 1,77–1,80	$0,14 \pm 0,003$ 0,13–0,15
Температура воздуха, °C	33,84–36,26			31,02–31,92		
Влажность воздуха, %	25–34			46–49		

Примечание. \*В числителе – среднее значение и стандартное отклонение значений; в знаменателе – минимальное и максимальное значения.

Флавоноиды и антоцианы поглощают избыточную солнечную радиацию, последние способны также выполнять роль осморегулятора клеток при водном стрессе. В ответ на засушливые условия, интенсивность света и дефицит воды листья мелкоплодных сортов интенсивнее накапливали и синтезировали флавоноиды и антоцианы, что подтверждает лучшее приспособление данных сортов к неблагоприятным условиям среды.

Исследование содержания хлорофилла выявило различия в содержании вертикального профиля кроны – содержание хлорофилла увеличивается сверху вниз в пределах кроны. Содержание антоцианов и флавоноидов, как показали наши результаты, находится в обратной зависимости от концентрации хлорофилла. Это связано с уменьшением освещенности. Листья верхней части кроны на однолетних зеленых побегах текущего года содержат боль-

ше хлорофилла и флавоноидов в сравнении с многолетними побегами, что типично для интенсивно растущих вегетативных органов (табл. 2; рис. 2).

Сравнение содержания биологически активных веществ в листьях мелкоплодной формы *Zizyphus jujuba* выявило, что наблюдается тенденция снижения накопления пигментов при продвижении субтропических растений в более северные условия произрастания. Этот факт объясняется снижением разрушающего действия солнечной радиации и воздействия водного стресса (рис. 3).

Полученные данные согласуются с данными других авторов [3, 4, 6]. В сухих условиях (Волгоградская область) под действием высокой температуры происходит разрушение хлоропластов, синтез хлорофилла *a* и *b* прерывается и прочность связи изменяется.

Таблица 2

Изменение концентрации пигментов в листьях сортов *Zizyphus jujuba* в пределах кроны (июль)

часть кроны	Содержание, мг/см <sup>2</sup>					
	2018			2019		
	хлорофилл <i>a + b</i>	флавоноиды	антоцианы	хлорофилл <i>a + b</i>	флавоноиды	антоцианы
верхняя	$23,18 \pm 5,33$ 18,82–29,12	$1,51 \pm 0,11$ 1,38–1,58	$0,21 \pm 0,002$ 0,20–0,21	$25,49 \pm 4,18$ 20,67–28,23	$1,89 \pm 0,03$ 1,86–1,92	$0,12 \pm 0,004$ 0,11–0,13
средняя	$26,60 \pm 0,96$ 25,74–27,64	$1,31 \pm 0,06$ 1,25–1,37	$0,16 \pm 0,011$ 0,15–0,17	$28,29 \pm 1,53$ 26,62–29,64	$1,75 \pm 0,08$ 1,66–1,81	$0,09 \pm 0,014$ 0,08–0,10
нижняя	$27,26 \pm 1,95$ 26,62–28,12	$1,59 \pm 0,05$ 1,42–1,71	$0,14 \pm 0,024$ 0,13–0,15	$30,65 \pm 0,568$ 28,72–31,32	$1,78 \pm 0,114$ 1,67–1,85	$0,09 \pm 0,020$ 0,08–0,10

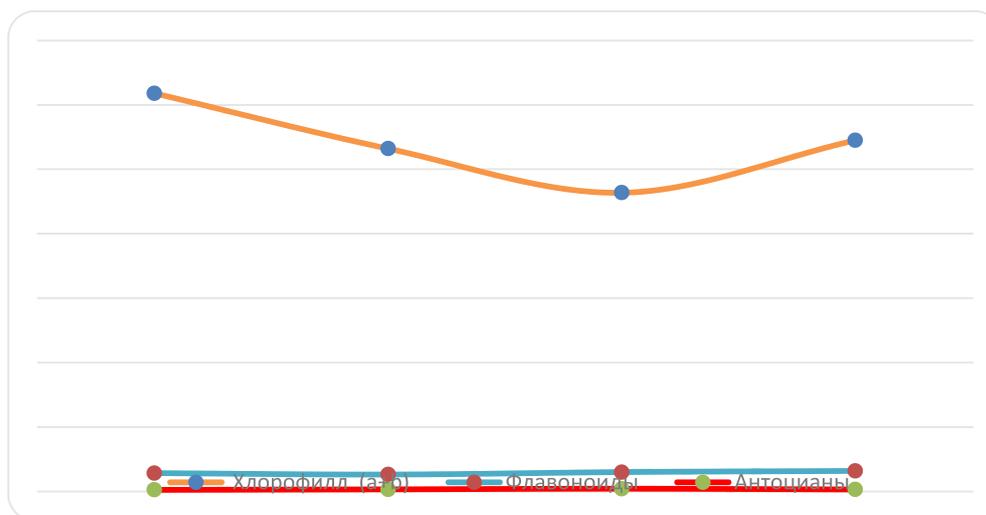


Рис. 2. Зависимость содержания биологически активных веществ в листьях мелкоплодной формы *Zizyphus jujuba* Mill. от условий освещенности (Камышин, 2018)

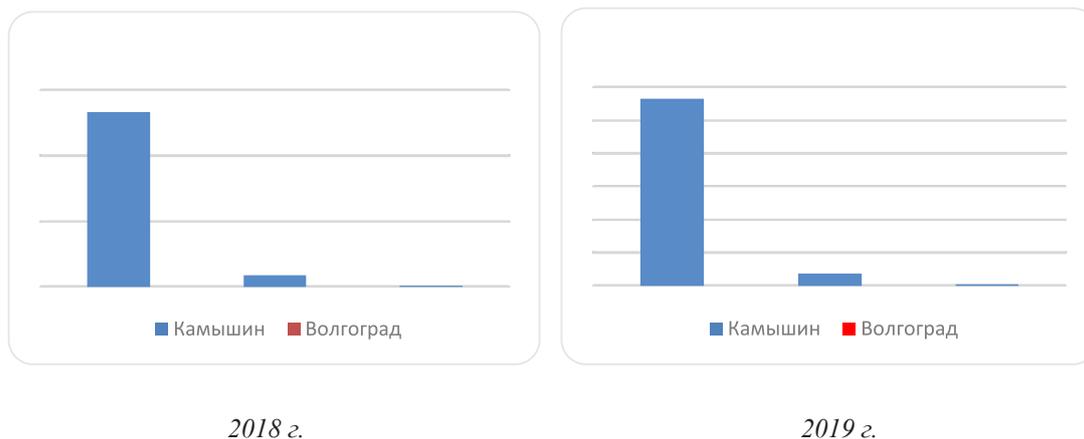


Рис. 3. Сравнение содержания (мг/см<sup>2</sup>) биологически активных веществ в листьях мелкоплодной формы *Zizyphus jujuba*

### Заключение

Выявлено, что в ответ на засушливые условия, интенсивность света и дефицит воды листья засухоустойчивых растительных организмов интенсивнее накапливали и синтезировали флавоноиды и антоцианы, что подтверждает лучшее приспособление данных сортов к неблагоприятным условиям среды. Использование устройства DUALEX SCIENTIFIC + для сбора данных на месте позволяет быстро количественно определять хлорофилл *a* и *b*, каротиноиды и антоцианы в растениях. Многие из функций флавоноидов в листе могут быть исследованы с помощью Dualex: защита от ультрафиолетового излучения; защита от атаки патогенов; защита от травоядных (насекомых или позвоночных животных); защита от окислительного стресса, удаление свободных радикалов; хелатирование металлов; устойчивость к засухе. С помощью Dualex можно оценить физиологическое состояние растений, которое влияет на содержание флавоноидов в листе.

Содержание пигментов в листьях изученных древесных растений *Zizyphus jujuba* различно. На него оказывают влияние летние засухи, освещенность в пределах кроны, климатические факторы места произрастания. Выявлено наибольшее накопление БАВ у листьев крупноплодных сортов (хлорофилл: 23,22–29,48 мг/см<sup>2</sup>; флавоноиды: 1,79–1,96 мг/см<sup>2</sup>; антоцианы: 0,14–0,21 мг/см<sup>2</sup>). Листья растений мелкоплодных форм кожистые с большим количеством жилок, характеризуются меньшим содержанием пигментов (хлорофилл:

13,99–24,80 мг/см<sup>2</sup>; флавоноиды: 1,57–1,73 мг/см<sup>2</sup>; антоцианы: 0,10–0,16 мг/см<sup>2</sup>). В благоприятные в гидрологическом отношении годы (2019) содержание хлорофилла меньше, а флавоноидов и антоцианов больше, чем в засушливый период (2018), что обуславливает механизмы адаптации растений к стрессовым факторам недостатка воды. Исследование содержания хлорофилла выявило различия по вертикальному профилю кроны – содержание хлорофилла увеличивается сверху вниз в пределах кроны. Установлено, что содержание антоцианов и флавоноидов находится в обратной зависимости от концентрации хлорофилла. Наблюдается тенденция снижения накопления пигментов при продвижении субтропических растений в более северные условия произрастания.

Флавоноиды и антоцианы накапливаются в растениях в ответ на дефицит воды. Результаты исследования предполагают, что реакции на стресс от засухи являются динамическими, а интенсивность и продолжительность стресса может играть ключевую роль в накоплении листьями флавоноидов и антоцианов в ответ на различные уровни дефицита воды.

Таким образом, в дополнение к экофизиологическим исследованиям, Dualex может найти применение в сельском и лесном хозяйстве, садоводстве, при защите от вредителей, анализе светообеспеченности, выборе лекарственных растений, независимо от условий проведения эксперимента. Изменение содержания биологических пигментов в листьях древесных растений при стрессовых воздействиях является од-

ним из критериев подбора и мобилизации ассортимента для обогащения деградированных территорий.

*Исследования выполнены по теме Государственного задания № 0713-2019-0004 ФНЦ агроэкологии РАН.*

#### Список литературы / References

1. Кулик К.Н., Барабанов А.Т., Жданов Ю.М., Крючков С.Н., Кулик А.К., Манаенков А.С., Острая Т.И., Пугачева А.М., Рулев А.С., Семенютина А.В. Стратегия развития защитного лесоразведения в Волгоградской области на период до 2025 года. Волгоград: ФНЦ агроэкологии РАН, 2017. 39 с.  
Kulik K.N., Barabanov A.T., Zhdanov Yu.M., Kryuchkov S.N., Kulik A.K., Manaenkov A.S., Ostraya T.I., Pugacheva A.M., Rulev A.S., Semenyutina A.V. The development strategy of protective afforestation in the Volgograd region for the period until 2025. Volgograd: FNTS agroekologii RAN, 2017. 39 p. (in Russian).
2. Akinci S., Lösel D.M. The effects of water stress and recovery periods on soluble sugars and starch content in cucumber cultivars. *Fresen. Environ. Bull.* 2010. Vol. 19 (2). P. 164–171.
3. Хоconostle-Cazares B., Ramirez-Ortega F.A., Flores-Elenes L., Ruiz-Medrano R. Drought Tolerance in Crop Plants. *Am. J. Plant Physiol.* 2010. Vol. 5. P. 241–256. DOI: 10.3923/ajpp.2010.241.256.
4. Boyer John S. Plant Water Relations: A Whirlwind of Change. In book: *Progress in Botany*. 2017. DOI: 10.1007/124\_2017\_3.
5. Fathi A., Barari D. Effect of Drought Stress and its Mechanism in Plants. *International Journal of Life Sciences*. 2016. Vol. 10.1. P. 1–6. DOI: 10.3126/ijls.v10i1.14509.
6. Bagheri A. Effects of drought stress on chlorophyll, proline and rates of photosynthesis and respiration and activity of superoxide dismutase and peroxidase in millet (*Panicum milencium* L.). National conference on water scarcity and drought management in agriculture. Islamic Azad University Arsanjan, 2009. 16 p.
7. Семенютина А.В., Свинцов И.П., Хужахметова А.Ш., Семенютина В.А., Жукова О.И. Адаптация древесных видов в экстремальных условиях и критерии отбора хозяйственно ценных растений // *Международные научные исследования*. 2017 № 1. (30). С. 77–85.  
Semenyutina A.V., Svintsov I.P. Khuzhakhmetova A.Sh., Semenyutina V.A., Zhukova O.I. Adaptation of tree species in extreme conditions and selection criteria for economically valuable plants // *International Scientific Research*. 2017. № 1 (30). P. 77–85 (in Russian).
8. Свинцов И.П., Семенютина В.А. Влияние эдафических и климатических факторов на экологическую пластичность растений *Zizyphus jujuba* Mill // *АгроЭкоИнфо*. 2018. № 3. [Электронный ресурс]. URL: [http://agroecoinfo.narod.ru/journal/STATYI/2018/3/st\\_366.doc](http://agroecoinfo.narod.ru/journal/STATYI/2018/3/st_366.doc) (дата обращения: 24.06.2020).  
Svintsov I.P., Semenyutina V.A. The influence of edaphic and climatic factors on the ecological plasticity of plants *Zizyphus jujuba* Mill // *AgroEcolInfo*. 2018. № 3. [Electronic resource]. URL: [http://agroecoinfo.narod.ru/journal/STATYI/2018/3/st\\_366.doc](http://agroecoinfo.narod.ru/journal/STATYI/2018/3/st_366.doc) (date of access: 24.06.2020) (in Russian).

УДК 630\*2:634.5:631.532

## АДАПТИВНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ ОРЕХОПЛОДНЫХ КУСТАРНИКОВ И КОМПЛЕКСНЫЕ МЕТОДЫ ИХ МОБИЛИЗАЦИИ ДЛЯ ЗАЩИТНЫХ ЛЕСНЫХ НАСАЖДЕНИЙ

Хужахметова А.Ш., Семенютина А.В.

ФГБНУ Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук, Волгоград, e-mail: vnialmi@yandex.ru

Многоцелевое использование вновь создаваемых защитных лесонасаждений во многом определяется оптимальным подбором видового состава древесных растений. Особое место должны занять адаптированные виды кустарников за счет увеличения доли их участия в защитных лесных насаждениях различного целевого назначения на деградированных территориях. Хозяйственная ценность деревьев и кустарников тесно связана с адаптивным потенциалом. Обоснована перспективность мобилизации адаптированных орехоплодных кустарников (на примере сортов *Corylus pontica*) с учетом современного состояния защитных лесных насаждений и прогноза развития защитного лесоразведения в Волгоградской области. Изучение опытных растений в коллекции ФНЦ агроэкологии РАН в системе «генотип – среда» позволило определить деструктивные сочетания погодных условий. Установлен основной стресс-фактор (температура воздуха ниже  $-30^{\circ}\text{C}$ ), который влияет на общее состояние фундука в следующие вегетационные периоды. Выявлена вариабельность сортов по зимостойкости и засухоустойчивости. Для региона характерно лето с высокими температурами, дефицитом влаги и низкой относительной влажностью воздуха. Изучение водного режима сортового разнообразия *C. pontica* C. Koch. позволило также выявить уязвимость сорта «Футкурами» в острозасушливые годы. Сорт «Черкесский-2» наиболее толерантный к воздействию вышеперечисленных стресс-факторов. Установлена разная долговечность побеговых систем. У «Футкурами» она на 2–4 года меньше, чем у остальных опытных сортов – «Черкесский-2» и «Президент». Поэтому при эксплуатации маточных насаждений следует учитывать возраст снижения порослеобразовательной способности (у «Футкурами» снижение происходит в 13–15-летнем возрасте). Экспериментально показана успешность мобилизации орехоплодных кустарников при учете показателей адаптивного потенциала, морфогенеза побеговых систем и соблюдении полного цикла агротехнологических приемов.

**Ключевые слова:** адаптивный потенциал, орехоплодные кустарники, комплексные методы, мобилизация, посадочный материал, светло-каштановые почвы, засушливые условия

## ADAPTIVE POTENTIAL OF NUTRY FRUIT SHUSTERS AND INTEGRATED METHODS OF THEIR MOBILIZATION FOR PROTECTIVE FOREST PLANTATIONS

Khuzhakhmetova A.Sh., Semenyutina A.V.

Federal Scientific Center for Agroecology, Complex Melioration and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences, Volgograd, e-mail: vnialmi@yandex.ru

The multi-purpose use of newly created protective forest stands is largely determined by the optimal selection of the species composition of woody plants. A special place should be given to adapted shrub species by increasing their participation in protective forest stands for various purposes in degraded territories. The economic value of trees and shrubs is closely related to adaptive potential. The prospects of mobilization of adapted nut-bearing shrubs (on the example of *Corylus pontica* varieties) are substantiated, taking into account the current state of protective forest stands and the forecast of development of protective afforestation in the Volgograd region. The study of experimental plants in the collection of the Federal research CENTER of Agroecology of the Russian Academy of Sciences in the «genotype-environment» system allowed us to determine the destructive combinations of weather conditions. The main stress factor (air temperature below  $-30^{\circ}\text{C}$ ) that affects the overall condition of hazelnuts in the following growing seasons has been established, which affects the general condition of hazelnuts in the following growing periods. Variability of varieties in winter hardiness and drought tolerance was revealed. The region is characterized by summers with high temperatures, moisture deficit and low relative humidity. Study of the water regime of varietal diversity of *C. pontica* C. Koch. also revealed the vulnerability of the Futkura variety in extremely arid years. Variety 'Circassian-2' is the most tolerant to the effects of the above stress factors. Different durability of shoot systems has been established. 'Futkury' is 2-4 years less than the other experimental varieties 'Cherkessky-2' and 'President'. During exploitation the operation of mother plantations, the age of the decline in the overgrowth ability should be taken into account (decline at 'Futkurami' occurs at the age of 13-15). The success of mobilization of nut bushes with experimentally taking into account adaptive potential indicators, morphogenesis of shoot systems and observing the full cycle of agrotechnological techniques has been experimentally shown.

**Keywords:** adaptive potential, nut bushes, complex methods, mobilization, planting material, light chestnut soils, arid conditions

Мероприятия по созданию защитных лесных насаждений в рамках национального проекта «Экология» направлены на поддержание и повышение лесистости деградированных территорий, в первую

очередь малолесных регионов юга России. Эффективность и возможность многоцелевого использования вновь создаваемых защитных лесонасаждений во многом определяется оптимальным подбором видового

состава экономически важных древесных растений согласно регламенту безопасного и устойчивого использования биоразнообразия древесных растений при защитном лесоразведении [1, 2]. Особое место должны занять адаптированные виды кустарников за счет увеличения доли их участия в защитных лесных насаждениях различного целевого назначения [3–5]. Разработанный каталог древесных растений для питомниководства [6] позволяет осуществлять подбор видов, форм, гибридов и сортов для различных групп и типов насаждений для засушливых регионов. Однако для широкого внедрения предложенного ассортимента и сохранения в естественных и искусственных условиях коллекций живых растений требуется разработка мероприятий по их эффективному размножению.

Объемы лесоразведения в настоящее время сведены к минимуму и осуществляются на площади около 13 тыс. га на землях различного целевого назначения. Так, во многих субъектах РФ (Астраханская, Волгоградская, Тамбовская области и др.) нуждаются в защите почв от эрозии вследствие проведения снижения работ по защитному лесоразведению [7].

Согласно прогнозу ученых ФНЦ агроэкологии РАН [8, с. 95] «...для полного адаптивно-ландшафтного обустройства всей сельскохозяйственной территории области определена площадь земель, подлежащих защите (лесомелиоративный фонд). Она составляет 8,7 млн га, из которых около 5,8 млн га пашни, 2,8 млн га сенокосов и пастбищ. В общей сложности на этой тер-

ритории должно находиться свыше 330 тыс. га ЗЛН всех видов. Дополнительно к имеющимся следует создать 200 тыс. га» (рис. 1).

Вегетативный способ получения саженцев сортового разнообразия связан со способностью порослеобразования фундука [9].

Цель исследования: изучить адаптивный потенциал орехоплодных кустарников рода *Corylus* L. и разработать приемы воспроизводства перспективных сортов.

#### Материалы и методы исследования

Объекты исследований – представители рода *Corylus* (сорта лещины понтийской (*C. pontica* C. Koch.) – «Президент», «Футкурами», «Черкесский-2»). Эколого-экспериментальные исследования роста и развития орехоплодных кустарников проводятся с 1998 г. в коллекциях ФНЦ агроэкологии РАН. По общепринятым методикам [2, 10, 11] ежегодно проводили биометрические измерения показателей побеговых систем сортового разнообразия *C. pontica* C. Koch. с целью определения их долговечности, а также выявления побегообразовательной способности в условиях светло-каштановых почв. Показатели адаптивного потенциала (зимо-, засухоустойчивость, репродуктивная способность и др.) при воздействии стресс-факторов фиксировались в полевых и лабораторных условиях согласно методике [2, 12, 13]. Определение толерантности к хлоридно-засолению опытных образцов не проводилось, содержание водорастворимых минеральных солей не превышало порог токсичности (рис. 2).

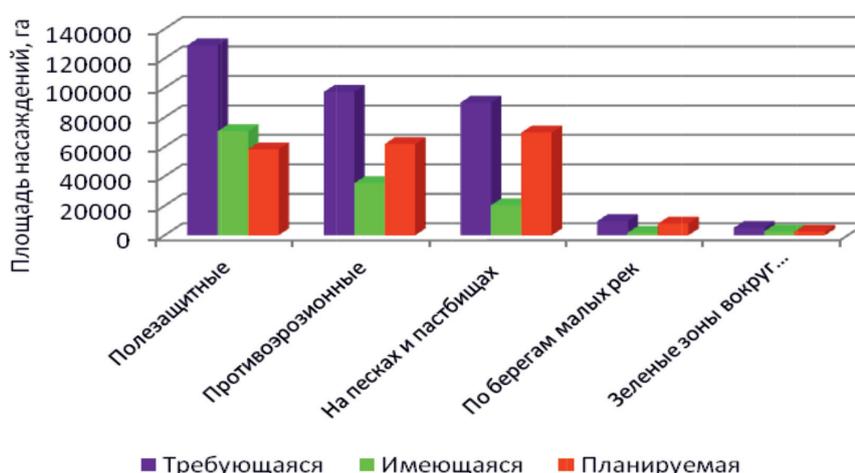
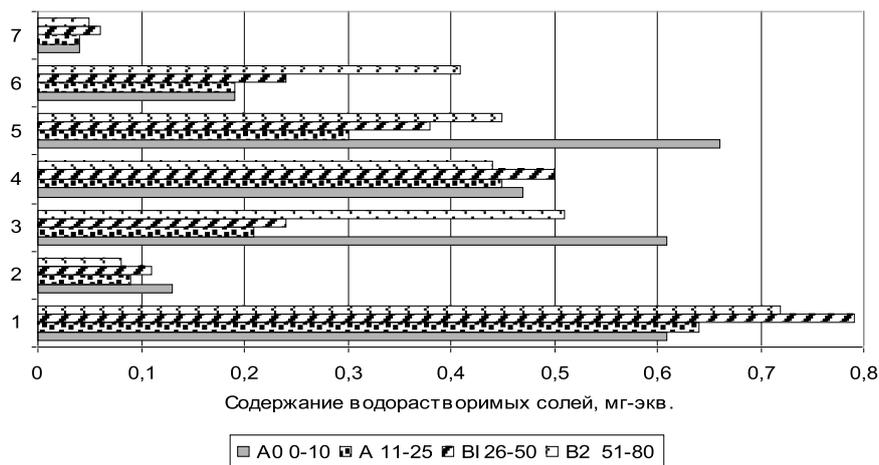


Рис. 1. Структура площадей защитных лесных насаждений, га [8]



1 – HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, 2 – Cl<sup>-</sup>, 3 – SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, 4 – Ca<sup>2+</sup>, 5 – Mg<sup>2+</sup>, 6 – Na<sup>+</sup>, 7 – K<sup>+</sup>

Рис. 2. Нетоксичность почв по показателям содержания водорастворимых минеральных солей (мг-экв.)

Анализ погодных условий зимнего периода в годы эксперимента по интродукции проводили для выявления деструктивных сочетаний. Учет зимних повреждений по 8-балльной шкале [12]. Кластерный анализ всех показателей и параметров проводили для ранжирования сортов по перспективности с учетом их сохранности, таксационных характеристик и репродуктивной способности.

### Результаты исследования и их обсуждение

Для прогноза развития и долговечности функционирования маточных насаждений *S. pontica* С. Koch. необходимо кроме хозяйственно-биологических показателей маточных растений знать их адаптивный потенциал, морфогенез побеговых систем, архитектуру кроны, репродуктивную способность.

Изучение водного режима сортового разнообразия *S. pontica* С. Koch. позволило также выявить уязвимость сорта «Футкурами» в острозасушливые годы (рис. 3).

Недостаток влаги в течение вегетации отразился на водном дефиците листьев, показатели которого превышали 16%. При равных погодных условиях, у «Президента» и «Черкесского-2» варьирование составляло от 6,5 до 14,9% от общего содержания воды в листе. В благоприятные вегетационные периоды водный дефицит растений поддерживался на оптимальном уровне. Аналогичные результаты отмечены при определении содержания пигментов в листьях сорта «Футкурами» (рис. 4).

«Черкесский-2» имеет более низкие показатели варьирования по содержанию суммы хлорофиллов а + б – 22,2–30,24, флавоноидов – 0,19–2,03, антоцианов – 0,12–0,23 мг/см<sup>2</sup>. Стабильная плодовая продуктивность подтверждена параметрами плодоношения сорта «Черкесский-2». Освещенность кроны влияет на размещение основного урожая.

За годы эксперимента (1998–2020 гг.) зимний период 2019/20 гг. выделился как самый теплый. Температура воздуха превышала норму от +3,4°C (декабрь 2019) до +4,5°C (январь 2020), +4,6°C (февраль 2020). Рекордно высокая температура (15,8°C) воздуха зафиксирована 27 февраля. Минимальная – минус 20,6°C (10 февраля 2020) [14]. Март 2020 г. также можно охарактеризовать как рекордно теплый – среднемесячная температура составила +5,4°C, что выше нормы на +5,3°C. Погода в апреле и мае установилась прохладная (фактическая температура была ниже нормы на 2,5 и 2,2°C соответственно). 2 апреля температура воздуха снизилась до –9,1°C, что затормозило наступление фенологических фаз. Для мая были характерны ливневые дожди (суточная сумма осадков 43,0 мм). По данным [14] сумма осадков за этот месяц составила 122,0 мм.

Ранее [12] нами был выделен зимний период (2005/06 г.), который нанес наибольший вред трем сортам фундука, в том числе цветению. Мужские соцветия при длительном понижении температуры (–37°C) оказались неспособными к цветению. Установлено, что наиболее подвержены отрицательному влиянию зимних условий

растения сорта «Футкурами» (средний балл зимостойкости 2,5). Растения других опытных образцов в благоприятные годы более зимостойки (1,5–2,0 балла), что связано с более коротким периодом роста верхушечных и побеговых побегов.

Установлена эффективность мобилизации орехоплодных кустарников в условиях светло-каштановых почв, которая связана с показателями адаптивного потенциала и побегообразовательной способности,

а также с соблюдением агротехнологии создания и эксплуатации маточных насаждений. Приемы мобилизации перспективных сортов основаны на методе вертикальных отводков, которые получают после обрезки молодых растений (трехлетнего возраста) перед вегетацией. Выявлена разная долговечность побеговых систем. У «Футкурами» она на 2–4 года меньше, чем у остальных опытных сортов – «Черкесский-2» и «Президент» (рис. 5).

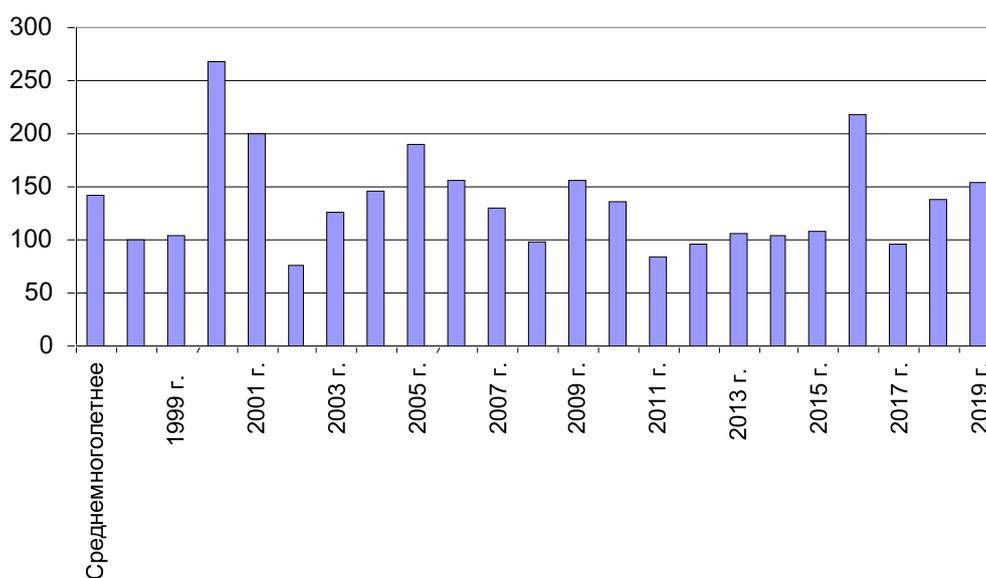
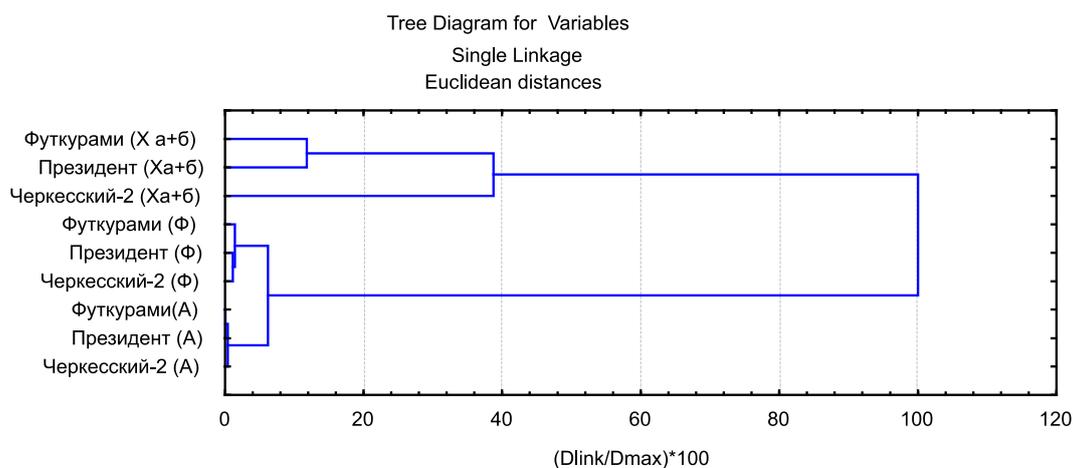


Рис. 3. Количество осадков за апрель – август, мм



Ха + б – хлорофиллы (а + б), Ф – флавоноиды, А – антоцианы

Рис. 4. Сходство сортов фундука по содержанию пигментного комплекса

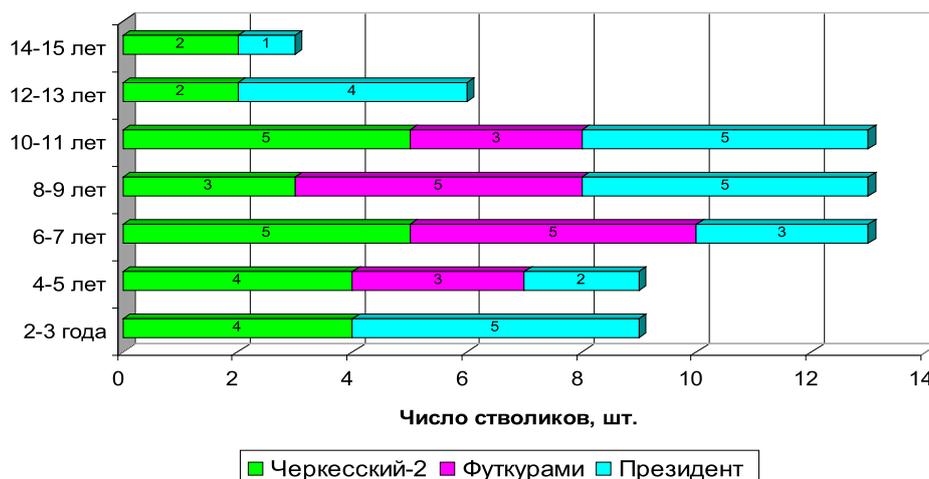


Рис. 5. Структура побеговых систем маточных растений *Corylus L.*

### Заключение

По данным ученых ФНЦ агроэкологии РАН определена площадь земель сельскохозяйственного назначения (8,7 млн га) для полного адаптивно-ландшафтного обустройства. Здесь должно произрастать свыше 330 тыс. га ЗЛН всех видов и требуется создать новые 200 тыс. га насаждений. Обоснована перспективность мобилизации адаптированных орехоплодных кустарников с учетом современного состояния защитных лесных насаждений и прогноза развития защитного лесоразведения в Волгоградской области.

Установлен основной стресс-фактор (температуры воздуха ниже  $-30^{\circ}\text{C}$ ), который влияет на общее состояние фундука в следующие вегетационные периоды. Выявлена вариабельность сортов по зимостойкости и засухоустойчивости. Для региона характерно лето с высокими температурами, дефицитом влаги и низкой относительной влажностью воздуха. Сорт «Черкесский-2» наиболее толерантный к воздействию вышеперечисленных стресс-факторов.

Вегетативный способ получения саженцев сортового разнообразия связан со способностью порослеобразования фундука.

Приемы мобилизации перспективных сортов основаны на методе вертикальных отводков. Приемы мобилизации перспективных сортов основаны на методе вертикальных отводков, которые получают после обрезки молодых растений (3-летнего возраста) перед вегетацией.

Установлена разная долговечность побеговых систем. У «Футкурами» она на 2–4 года меньше, чем у остальных опытных сортов – «Черкесский-2» и «Президент». При эксплуатации маточных насаждений следует учитывать возраст снижения порослеобразовательной способности (например, в условиях светло-каштановых почв, у «Футкурами» это происходит в 13–15-летнем возрасте).

Эффективность и возможность многоцелевого использования вновь создаваемых защитных лесонасаждений во многом определяется оптимальным подбором видового состава древесных растений. Особое место должны занять адаптированные хозяйственно ценные виды кустарников за счет увеличения доли их участия в защитных лесных насаждениях различного целевого назначения на деградированных территориях. Хозяйственная ценность деревьев и кустарников тесно связана с адаптивным потенциалом.

*Исследования выполнены по теме Государственного задания № 0713-2019-0004 ФНЦ агроэкологии РАН.*

### Список литературы / References

1. Semenyutina A.V., Podkovyrova G.V., Khuzhakhmetova A.Sh., Svintsov I.P., Semenyutina V.A., Podkovyrov I.Yu. Engineering implementation of landscaping of low-forest regions. International journal of mechanical engineering and technology. 2018. Vol. 9. Issue 10. P. 1415–1422.
2. Semenyutina A.V., Svintsov I.P., Huzhahmetova A.Sh., Semenyutina V.A. Regulations of safe and sustainable use of biodiversity of woody plants in protective afforestation. Journal of Agriculture and Environment. 2018. № 3 (7). P. 3. DOI: 10.23649/jae.2018.3.7.3.

3. Карачанский А.Т., Чепурной В.С., Махно В.Г. Совершенствование сортимента для промышленного фундуководства на юге России // Плодоводство и виноградарство Юга России. 2017. № 47 (5). С. 68–79.
- Karachansky A.T., Chepurnoy V.S., Makhno V.G. Improving the assortment for industrial hazelnut growing in the South of Russia // *Plodovodstvo i vinogradarstvo Yuga Rossii*. 2017. № 47 (5). P. 68–79 (in Russian).
4. Чепурной В.С., Левченко Е.В., Карачанский А.Т. Влияние конструкции насаждений фундука на урожайность и формирование противозерозионных параметров древесных частей растений // Плодоводство и виноградарство Юга России. 2017. № 46 (4). С. 66–79.
- Chepurnoy V.S., Levchenko E.V., Karachansky A.T. Influence of the design of hazelnut plantations on productivity and formation of anti-erosion parameters of woody parts of plants // *Plodovodstvo i vinogradarstvo Yuga Rossii*. 2017. № 46 (4). P. 66–79 (in Russian).
5. Андрушко Т.А., Терешкин А.В. Анализ влияния кустарников на изменение микроклиматических показателей и условий рекреации на склоновых землях в условиях г. Саратова // Научное обозрение. 2015. № 10–1. С. 26–30.
- Andrushko T. A., Tereshkin A. V. Analysis of the influence of shrubs on changes in microclimatic indicators and recreation conditions on slope lands in the conditions of Saratov // *Nauchnoye obozreniye*. 2015. № 10–1. P. 26–30 (in Russian).
6. Семенютина А.В., Хужахметова А.Ш., Семенютина В.А., Кулик Д.К., Дрепина О.И. Каталог древесных растений для питомниководства Волгоградской области // Свидетельство о регистрации базы данных РФ № 2015620060, 13.01.2015. Патентообладатель ФГБНУ ВНИАЛМИ. 2015.
- Semenyutina A.V., Khuzhakhmetova A.Sh., Semenyutina V.A., Kulik D.K., Drepina O.I. Catalog of woody plants for nursery Volgograd region // Certificate of registration of the database of the Russian Federation No. 2015620060, 01/13/2015. Patent holder of FSBNU VNIALMI. 2015. (in Russian).
7. Объемы работ по инвентаризации фонда лесовосстановления в 2020 году увеличатся. [Электронный ресурс]. URL: <https://proderevo.net/news/indst/ob-emy-rabot-po-inventarizatsii-fonda-lesovosstanovleniya-v-2020-godu-uvlechatsya.html> (дата обращения: 23.06.2020).
- Reforestation fund inventory in 2020 will increase. [Electronic resource]. URL: <https://proderevo.net/news/indst/ob-emy-rabot-po-inventarizatsii-fonda-lesovosstanovleniya-v-2020-godu-uvlechatsya.html> (date of access: 23.06.2020) (in Russian).
8. Kulik K.N., Varabanov A.T., Manaenkov A.S., Kulik A.K. Forecast assumption and analysis of the development of protective afforestation in the Volgograd region. Studies on Russian Economic Development. 2017 T. 28. № 6. P. 641–647. DOI: 10.1134/S1075700717060053.
9. Махно В.Г. Современные приемы выращивания посадочного материала фундука в специализированных маточниках // Садоводство и виноградарство. 2004. № 2. С. 16–18.
- Makhno V.G. Modern methods of growing hazelnut planting material in specialized mother planting // *Sadovodstvo i vinogradarstvo*. 2004. № 2. P. 16–18 (in Russian).
10. Мазуренко М.Т., Хохряков А.П. Структура и морфогенез кустарников. М.: Наука, 1977. 160 с.
- Mazurenko M.T., Khokhryakov A.P. Structure and morphogenesis of shrubs. M.: Nauka, 1977. 160 p. (in Russian).
11. Рындин А.В., Белоус О.Г., Мальяровская В.И., Припула З.В., Абильфазова Ю.С., Кожевникова А.М. Использование физиолого-биохимических методов для выявления механизмов адаптации субтропических, южных плодовых и декоративных культур в условиях субтропиков России // Сельскохозяйственная биология. 2014. № 3. С. 40–48.
- Ryndin A.V., Belous O.G., Malyarovskaya V.I., Pritula Z.V., Abilfazova Yu.S., Kozhevnikova A.M. Using physiological and biochemical methods to identify adaptation mechanisms of subtropical, southern fruit and ornamental crops in the conditions of subtropics of Russia // *Selskhozaystvennaya biologiya*. 2014. № 3. P. 40–48 (in Russian).
12. Свинцов И.П., Хужахметова А.Ш., Семенютина В.А., Семенютина А.В. Эколого-хозяйственный потенциал субтропических растений для искусственных сухостепных насаждений многоцелевого назначения // Успехи современного естествознания. 2019. № 9. С. 31–35. DOI: 10.17513/use.37193.
- Svintsov I.P., Khuzhakhmetova A.Sh., Semenyutina V.A., Semenyutina A.V. Ecological and economic potential of subtropical plants for artificial dry-steppe multi-purpose plantations // *Advances in current natural sciences*. 2019. № 9. P. 31–35 (in Russian).
13. Penuelas J., Filella I. Visible and near-infrared reflectance techniques for diagnosing plant physiological status. *Trends in Plant Science*. 1998. № 3. P. 151–156.
14. Погода в Волгограде. Температура воздуха и осадки. Май 2020 г. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.pogodaiklimat.ru/monitor.php?id=34560&month=5&year=2020> (дата обращения: 23.06.2020).
- Weather in Volgograd. Air temperature and precipitation. May 2020. [Electronic resource]. URL: <http://www.pogodaiklimat.ru/monitor.php?id=34560&month=5&year=2020> (date of access: 23.06.2020) (in Russian).

## СТАТЬИ

УДК 556(268.46)

**ЗАВИСИМОСТИ ХАРАКТЕРНЫХ ДАТ ЛЕДОВОГО РЕЖИМА БЕЛОГО МОРЯ ОТ ТЕМПЕРАТУРНОГО ФОНА НАД ЕГО АКВАТОРИЕЙ****Баклагин В.Н.**

*Институт водных проблем Севера – обособленное подразделение Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Карельский научный центр Российской академии наук», Петрозаводск, e-mail: slava.baklagin@mail.ru*

Особенности формирования ледового режима на Белом море оказывают существенное влияние на социально-экономическую деятельность региона. Это связано прежде всего с тем, что в акватории Белого моря проложено большое количество судоходных путей, по которым проходит транспортировка товаров промышленного назначения. Знания о протекании ледового режима, сроках формирования и разрушения ледяного покрова на Белом море необходимы для организации и осуществления планирования в навигационный период. В работе проведено исследование, направленное на уточнение и актуализацию ранее полученных сведений о формировании ледового режима Белого моря, а также установлены регрессионные зависимости, определяющие сроки формирования ледового режима (даты начала формирования ледовых явлений и полного очищения акватории моря ото льда). При этом использованы современные методы получения данных о ледовой ситуации на море, которые включают в себя применение данных дистанционного зондирования земли, в частности ежедневные данные спутниковых наблюдений, обладающих высоким пространственно-временным разрешением. Анализ спутниковых данных показал, что средняя продолжительность ледового режима на Белом море составляет 153 дня, максимально – 178 дней, минимально – 128 дней. В среднем формирование ледовых образований в акватории моря начинается при достижении сумм накопления отрицательных температур воздуха над акваторией моря  $-113^{\circ}\text{C}$ , а полное очищения моря ото льда – при достижении сумм накопления положительных температур воздуха над акваторией моря  $+61^{\circ}\text{C}$ . На основании ежедневных рядов о температуре воздуха в пунктах на побережье Белого моря получены регрессионные зависимости для определения характерных дат ледового режима Белого моря, которые могут быть использованы для решения научно-практических задач, связанных с организацией и планированием навигационного периода на море.

**Ключевые слова:** Белое море, ледовый режим, характерные даты, ледовитость, температура воздуха

**VARIATIONS OF INDICATIVE DATES OF THE ICE REGIME ON THE WHITE SEA BY THE TEMPERATURE ABOVE ITS SURFACE****Baklagin V.N.**

*Northern Water Problems Institute of the Karelian Research Centre of the Russian Academy of Sciences, Petrozavodsk, e-mail: slava.baklagin@mail.ru*

Features formation of the ice regime on the White Sea has a significant impact on the socio-economic activity of the region. This is primarily because a large number of shipping routes have been laid on the White Sea, along which industrial goods are transported. Knowledge about the features formation of the ice regime, the timing of the formation and destruction of the ice cover on the White Sea are necessary for planning and organizing the navigation period. The study conducted a study aimed at clarifying and updating the previously obtained information on the formation of the ice regime on the White Sea, and also established regression dependencies that determine the timing of the formation of the ice regime. At the same time, modern methods of obtaining data on the ice situation at sea were used, which include the use of remote sensing data, in particular, daily satellite observation data with high spatial-temporal resolution. On average, the formation of ice formations in the sea begins when the accumulation of air temperatures above the sea reaches  $-113^{\circ}\text{C}$ , and complete cleansing of the sea from ice at  $61^{\circ}\text{C}$ . Based on the daily series of air temperature in points on the White Sea coast, regression dependencies were obtained to determine the indicative dates of the ice regime on the White Sea, which can be used to solve scientific and practical problems related to the organization and planning of the navigation period at sea.

**Keywords:** White Sea, ice regime, indicative dates, ice coverage, air temperature

Формирование ледяного покрова в акватории многих морей Северного полушария является неотъемлемой частью гидрологического цикла. Сведения о формировании ледового режима необходимы для планирования и организации водного транспорта в навигационный период, а также возможности транспортировки людей и/или грузов по установившемуся льду [1; 2]. Это особенно важно для тех морей, по которым осуществляются морские грузоперевозки, имеющие не только коммерческое, но и хозяйственное значение.

Белое море – это внутреннее море, расположенное на севере европейской части России, оно относится к Северному Ледовитому океану. Площадь его акватории составляет 90 тыс. км<sup>2</sup>, наибольшая глубина составляет 343 м. Также Белое море сообщается с обширным Баренцевым морем, что оказывает влияние на протекание ледовых процессов на Белом море благодаря смягчению климатических условий [3]. Необходимо отметить, что ежегодно поверхность акватории Белого моря в зимнее время практически полностью покрывается

льдом, а весной море полностью освобождается ото льда. Значение морских перевозок по акватории Белого моря трудно переоценить. Через Белое море проходит масса судоходных путей, которые связывают города России, расположенные в северной ее части, с центральными областями России. Наиболее крупным портом является Архангельск, откуда проложены пути в другие порты, находящиеся на побережье Белого моря – Мезень, Северодвинск, Беломорск и другие. Например, доставка товаров по Белому морю в Кандалакшу жизненно необходима для градообразующего предприятия города. Также одним из важнейших портов является Беломорск, который связан с центральными областями России благодаря Беломорско-Балтийскому каналу.

Для организации логистики перевозок по Белому морю необходимо располагать сведениями о ледовой ситуации на море, закономерностях происходящих ледовых явлений, среднестатистических сроках формирования и разрушения ледовых образований. Следует отметить, что подобные исследования Белого моря были проведены ранее. Первые систематические наблюдения за состоянием ледяного покрова у берегов Белого моря были начаты маячной службой Российского Морского ведомства на маяках (1894–1898 гг.). В период 1918–1985 гг. систематические ледовые наблюдения проводились на 30 прибрежных станциях. Также с 1909 г. наблюдения за ледяным покровом осуществлялись с ледоколов и зверобойных судов. А с 1927 г. предпринимались авиационные вылеты для проводки судов через льды. Наиболее полные сведения о протекании ледовых процессов на Белом море собраны в трудах, предоставленных государственным Океанографическим институтом СССР [3], где представлены различные статистические характеристики, описывающие происходящие на Белом море ледовые явления по материалам авиаразведок, судовых наблюдений, производимых на береговых станциях и постах за период вплоть до 1985 года. Все эти материалы представляют большой научный и практический интерес, однако следует отметить, что, как отмечается многими исследователями [4; 5], в последние десятилетия по всему миру происходят существенные изменения климатических условий, связанные с глобальным потеплением, что приводит к изменению протекания ледовых процессов на озерах и морях, в связи с чем полученные ранее данные необходимо актуализировать с учетом сложившихся нетипичных клима-

тических условий за последние десятилетия в данном регионе. Кроме того, необходимо отметить, что современные методы наблюдения за состоянием ледяного покрова озер и морей включают использование спутниковой съемки [6; 7], которая в полной мере не была доступна исследователям XX века. Данные спутниковых наблюдений позволяют существенно расширить и уточнить знания и сведения о протекании ледового режима на многих водоемах, в том числе и Белом море, поскольку обладают высоким пространственным и временным разрешением, что немаловажно для оценки динамики изменений ледовых образований.

Цель исследования: установление закономерностей характерных дат ледового режима на Белом море в зависимости от температурного фона над его акваторией, а также уточнение и актуализация статистических характеристик ледового режима по данным спутниковых наблюдений за период последних лет (2004–2020 гг.).

#### Материалы и методы исследования

Для анализа и оценки протекания ледового режима на Белом море в данном исследовании использованы наборы спутниковых данных за период 2004–2020 гг., предоставленные Национальной воздухоплавательной и космической администрацией США NASA (датчик MODIS, с пространственным разрешением до 250 м), Национальным центром данных по снегу и льду NSIDC (4–6 км), Центром спутниковых приложений и исследований NOAA NESDIS (4–6 км). Для комплексной оценки изменения ледовитости в ледовый период в данном исследовании рассчитаны суммы суточных значений ледовитости за каждый период ледовых явлений ( $\sum ice$ ) по формуле, приведенной в работе [6].

Ежедневные данные о среднесуточной температуре воздуха за период 2003–2020 гг., полученные в метеорологических пунктах наблюдений (с индексом ВМО): г. Кандалакша (222170), п. Каневка (222490), п. Шойна (22710), п. Ковда (223120), п. Умба (223240), с. Кашкаранцы (223340), с. Пялица (223490), Абрамовский маяк (223650), п. Соловецкий (2240290), остров Жижгин (224380), Зимнегорский маяк (224480), г. Мезень (224710), пристань Кемь (225200), д. Растьнаволоок (225250), с. Колежма (225290), Унский маяк (225410), г. Северодвинск (225460), аэропорт (Талаги) Архангельск (225500), г. Онега (226410) – предоставлены Национальным

центром климатических данных NOAA США (NCDC NOAA) [8]. Оценка метеорологический условий над акваторией Белого моря осуществлялась осреднением данных о температуре воздуха, полученных в пересчитанных выше пунктах.

**Результаты исследования и их обсуждение**

Анализ спутниковых данных о ледовой ситуации на акватории Белого моря за период 2004-2020 гг. (рис. 1) показал, что акватория Белого моря ежегодно почти полностью покрывается льдом, однако из-за наличия трещин и высокой подвижности ледовых образований (дрейфом), связанных с наличием сильных ветровых явлений над акваторией Белого моря, значение ледовитости никогда не достигает 100%.

Средняя продолжительность ледового режима на Белом море ( $L$ , дни) составляет 153 дня, максимально – 178 дней, минимально – 128 дней в период 2004–2020 гг.

Характерные даты ледового режима на Белом море: дата формирования ледовых образований и дата полного освобождения акватории моря ото льда в среднем за период 2004-2020 гг. выпадают на 6 декабря и 8 мая соответственно (рис. 2).

Посредством регрессионного анализа удалось установить закономерности наступления характерных дат ледового периода Белого моря, исходя из среднемесячных температур воздуха, предшествующих искомым датам периодов. Дата начала формирования ледяного покрова на Белом море  $D_{freezing}$  определяется зависимостью (коэффициент детерминации – 0.43):

$$D_{freezing} = 0.0634 \cdot \bar{T}_{XII}^2 - 0.4427 \cdot \bar{T}_{XI}^2 - 1.3208 \cdot \bar{T}_X^2 + 2.0259 \cdot \bar{T}_{IX}^2 - 0.3438 \cdot \bar{T}_{XII} + 3.3986 \cdot \bar{T}_{XI} - 4.1200 \cdot \bar{T}_X - 30.125 \cdot \bar{T}_{IX} + 145.336,$$

где  $D_{freezing}$  – продолжительность периода с 1 ноября до начала формирования ледовых образований, дни;  $\bar{T}_i$  – средняя температура воздуха над акваторией озера в  $i$ -й месяц, °С.

Соответственно дата полного очищения акватории моря ото льда  $D_{free}$  определяется зависимостью (коэффициент детерминации – 0.74):

$$D_{free} = -0.4454 \cdot \bar{T}_V^2 + 2.1126 \cdot \bar{T}_{IV}^2 - 0.06176 \cdot \bar{T}_{III}^2 + 4.1715 \cdot \bar{T}_V + 0.5959 \cdot \bar{T}_{IV} - 3.4410 \cdot \bar{T}_{III} + 9.0817,$$

где  $D_{free}$  – продолжительность периода с 1 апреля до наступления полного очищения моря ото льда, дни.

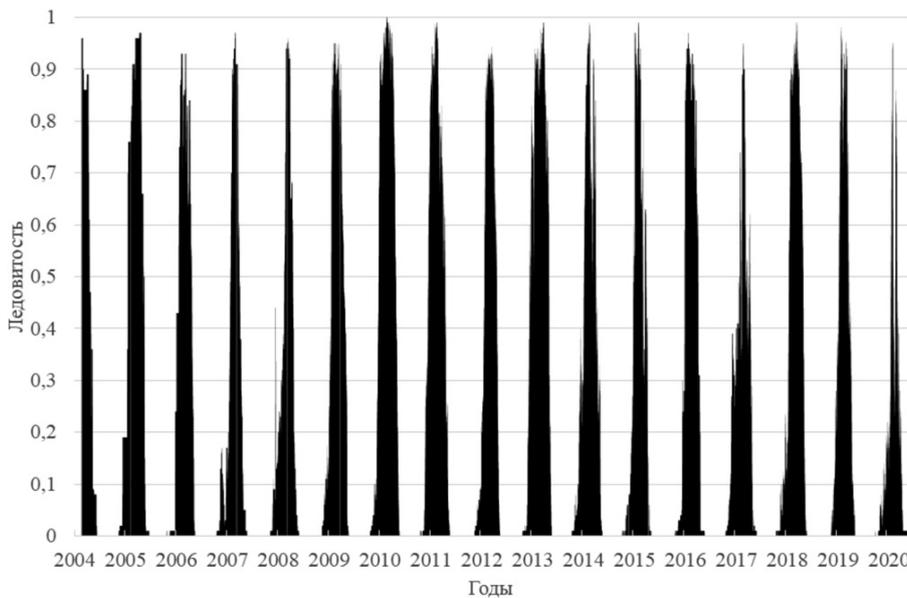


Рис. 1. Фактические значения ледовитости Белого моря за период 2004–2020 гг.

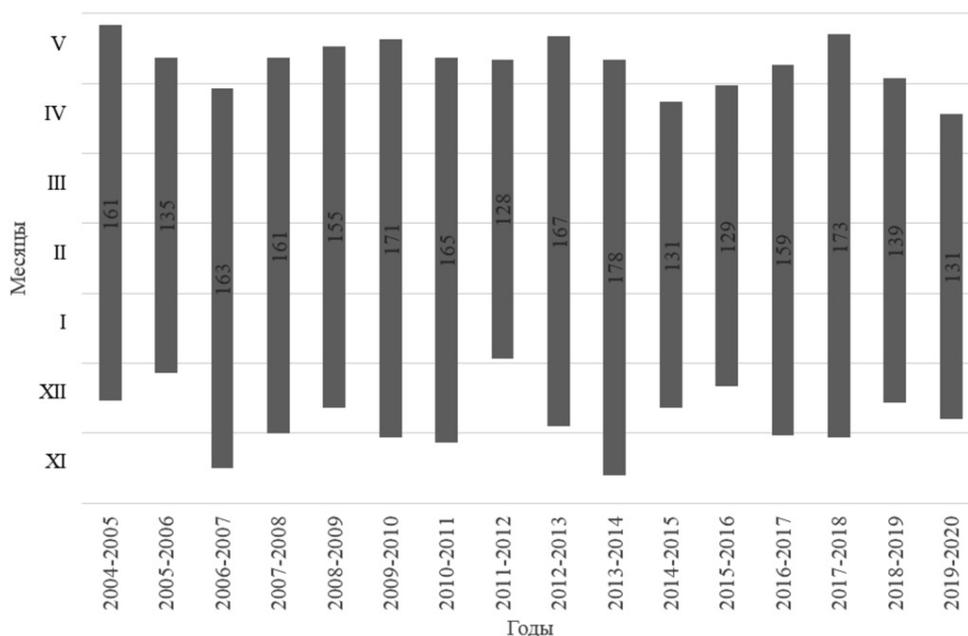


Рис. 2. Характерные даты и продолжительности ледового периода Белого моря за 2004–2020 гг.

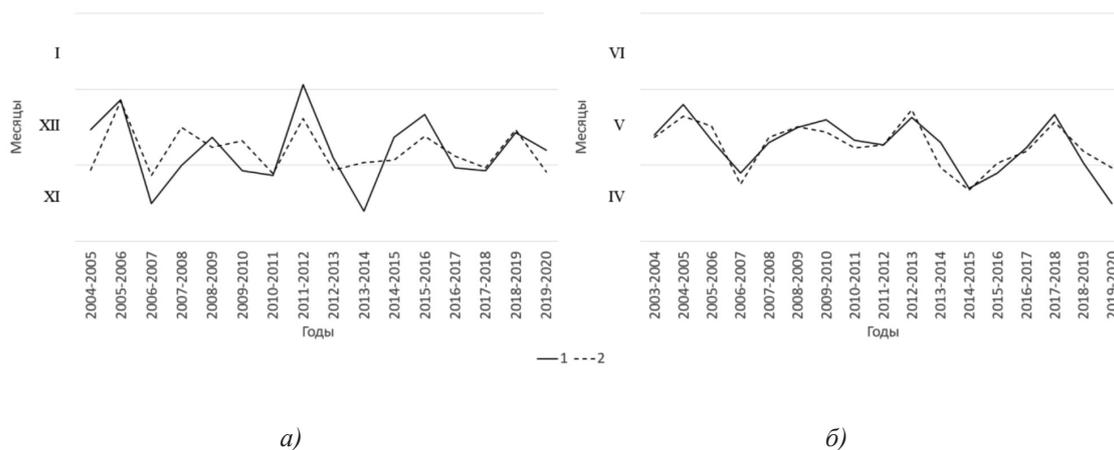


Рис. 3. Фактические (1) и расчетные (2) характерные даты ледового режима Белого моря: а) начало формирования ледовых образований; б) полное освобождение акватории моря от льда

Сравнительный анализ полученных регрессионных уравнений показал (рис. 3), что средняя ошибка при расчете дат начала формирования ледяного покрова составляет 8.0 дней, а при расчете дат полного освобождения моря от льда – 3.9 дня.

Коэффициент парной корреляции между величинами  $L$  и среднегодовой температурой воздуха над акваторией Белого моря ( $\bar{T}$ , °C) составляет  $-0.41$ , что указывает на умеренную силу связи (по шкале Чеддока) между этими характеристиками. Сле-

дует отметить, что в значительной степени большее влияние на формирование ледового режима оказывают температуры воздуха в зимний период. Так, среднее значение сумм накопления отрицательных температур воздуха над акваторией Белого моря  $\sum T_{-\max}$  за период 2004–2020 гг. составляет  $-1046$  °C, а коэффициент парной корреляции между величинами  $\sum ice$  и  $\sum T_{-\max}$  составляет  $-0.84$ , что указывает на высокую силу связи между этими характеристиками.

Анализ сумм накопления температур воздуха над акваторией Белого моря за периоды, включающие характерные даты ледового режима, показал, что в среднем начало формирования ледяного покрова на Белом море происходит при достижении сумм накопления отрицательных температур воздуха над акваторией моря ( $\sum T_{freezing}$ , °C) значения  $-113$  °C, а освобождение ото льда ( $\sum T_{free}$ , °C) – при достижении значения  $+61$  °C. Однако эти значения являются осредненными при высоких коэффициентах вариации соответствующих статистических рядов – 55% и 80% соответственно.

В результате исследования было установлено, что  $\sum T_{free}$  имеет тесную корреляционную связь (коэффициент парной корреляции  $-0.78$ ) с величиной  $\sum T_{-max}$ , что свидетельствует о том, что сумма накопления положительных температур воздуха, необходимых для полного очищения акватории Белого моря ото льда, зависит от суммы отрицательных температур за предшествующий вскрытию холодный сезон. Это факт может объясняться тем, что большее значение толщины ледяного покрова, который образуется за холодный сезон, препятствует быстрому освобождению акватории моря ото льда и требует большего количества положительных температур воздуха; также справедлива и противоположная ситуация. Следует также отметить, что корреляционный анализ показал, что между суммами накопления положительных температур воздуха за теплый сезон  $\sum T_{+max}$  и суммами накопления положительных температур воздуха на начало формирования ледяного покрова  $\sum T_{freezing}$  корреляционная связь не наблюдается (коэффициент парной корреляции 0.01). Подобная ситуация наблюдается и для Онежского озера, как было показано в работе [9]. В результате корреляционного анализа было также установлено, что наилучшая статистическая связь наблюдается между величинами  $\sum T_{freezing}$  и  $\sum T_{60}$  (сумма накопления положительных температур воздуха над акваторией Белого моря за последние 60 дней перед началом холодного сезона), коэффициент парной корреляции составляет  $-0.3$ . Следует отметить, что коэффициент парной корреляции между данными величинами составляет  $-0.33$  и для Онежского озера, что показано при исследовании зависимостей формирования ледового режима Онежского озера в зависимости от метеорологических факторов [9]. Это свидетельствует о том, что на формирование ледяных образований

большое влияние оказывают другие метеорологические факторы, не связанные с температурой воздуха, например скорость и направление ветра.

Регрессионный анализ позволил выявить уравнения, связывающие величины  $\sum T_{free}$  и  $\sum T_{-max}$  (коэффициент детерминации 0.61),  $\sum T_{freezing}$  и  $\sum T_{60}$ :

$$\sum T_{free} = -0.160 \cdot \sum T_{-max} - 106.034,$$

$$\sum T_{freezing} = -0.675 \cdot \sum T_{60} - 80.130.$$

Данные уравнения потенциально могут иметь весьма широкое практическое применение, поскольку в совокупности с данными об ожидаемых температурах воздуха возможно осуществлять ориентировочный прогноз дат формирования и разрушения ледяного покрова на Белом море.

### Заключение

В работе уточнены характерные даты ледового режима Белого моря, а также получены регрессионные зависимости определения характерных дат ледового режима, исходя из среднемесячных температур воздуха, таких как начало формирования ледовых явлений и полного очищения моря ото льда. Также установлены значения сумм накопления температур воздуха, необходимых для наступления характерных ледовых явлений на Белом море, и выявлены закономерности между этими значениями. Результаты этого исследования существенно расширяют и актуализируют знания о формировании ледового режима на Белом море и могут использоваться для решения научно-практических задач при планировании навигационного периода.

*Работа выполнена в рамках темы госзадания «Закономерности изменений экосистем Белого моря при интенсификации освоения Арктической зоны региона и под влиянием изменений климата», № АААА-А18-118032290034-5.*

### Список литературы / References

1. Сало Ю.А., Назарова Л.Е. Многолетняя изменчивость ледового режима Онежского озера в условиях нестационарности регионального климата // Известия русского географического общества. 2011. Т. 143. № 3. С. 50–55.
2. Salo Yu.A., Nazarov L.E. Multiannual variability of the Onega Lake ice regime in conditions of variability of the regional climate // Izvestiya Russkogo Geograficheskogo Obshchestva. 2011. Vol. 143. № 3. P. 50–55 (in Russian).
3. Karetnikov S., Naumenko M. Lake Ladoga ice phenology: Mean condition and extremes during the last 65 years. Hy-

drological processes. 2011. vol. 25. no. 18. P. 2859–2867. DOI: 10.1002/hyp.8048.

3. Глуховский Б.Х. Гидрометеорология и гидрохимия морей СССР. Белое море. Ленинград: Гидрометеиздат, 1991. 240 с.

Glukhovskiy B.H. Hydrometeorology and hydrochemistry of the seas of the USSR. White Sea. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1991. 240 p. (in Russian).

4. Brown L.C., Duguay C.R. The response and role of ice cover in lake-climate interactions. *Progress in Physical Geography: Earth and Environment*. 2010. vol. 34. no. 5. P. 671–704. DOI: 10.1177/0309133310375653.

5. Efremova T.V., Palshin N.E., Zdorovenov R.E. Long-term characteristics of ice phenology in Karelian lakes. *Estonian Journal of Earth Sciences*. 2013. vol. 62. no. 1. P. 33–41. DOI: 10.3176/earth.2013.04.

6. Баклагин В.Н. Изменчивость ледовитости Онежского озера в период 2000–2018 гг. по спутниковым дан-

ным // Лёд и Снег. 2018. Т. 58 № 4. С. 552–558. DOI: 10.15356/2076-6734-2018-4-552-558.

Baklagin V.N. Variability of the Lake Onega ice coverage in the period 2000–2018 according to the satellite data // *Ice and Snow*. 2018. Vol. 58. № 4. P. 552–558 (in Russian).

7. Tilling R.L., Ridout A., Shepherd A. Near-real-time Arctic sea ice thickness and volume from CryoSat-2. *The Cryosphere*. 2016. vol. 10 no. 5. P. 2003–2012. DOI: 10.5194/tc-10-2003-2016.

8. National Centers for Environmental Information NOAA: Data Access. [Electronic resource]. URL: <ftp://ftp.ncdc.noaa.gov/pub/data/noaa/> (date of access: 15.06.2020).

9. Баклагин В.Н. Влияние метеорологических условий на формирование ледового режима Онежского озера // Лёд и Снег. 2019. Т. 59 № 4. С. 546–556. DOI: 10.15356/2076-6734-2019-4-413.

Baklagin V.N. Influence of meteorological conditions on the formation of ice regime of the Lake Onega // *Ice and Snow*. 2019. Vol. 59 № 4. P. 546–556 (in Russian).

УДК 911.3:338.1:316.3(571.53)

**АНАЛИЗ СТРУКТУРЫ ТУРИСТСКОГО ПОТОКА  
В СЛЮДЯНСКИЙ РАЙОН ИРКУТСКОЙ ОБЛАСТИ****Бибаева А.Ю.***ФГБУН Институт географии им. В.Б. Сочавы СО РАН, Иркутск, e-mail: pav\_a86@mail.ru*

Статья посвящена изучению внутригодовой структуры туристского потока в разрезе туристско-рекреационных зон Слюдянского района Иркутской области с целью разработки научно обоснованного подхода к территориальной организации туристско-рекреационной деятельности в Центральной экологической зоне Байкальской природной территории. Моделирование туристского потока производилось с учетом различных категорий рекреантов: организованный отдых в коллективных средствах размещения, самодельный палаточный отдых, маршрутный туризм, зимний спортивный отдых на горнолыжных курортах, экскурсионный и событийный туризм. Исходными материалами послужили официальные статистические данные, представленные администрацией Слюдянского района. В работе производилось восполнение недостающей информации посредством расчета по формулам, в том числе с использованием данных полевых исследований и социологических опросов. Отмечаются сложные моменты при учете различных категорий туристов. Так, в систему официальной статистической отчетности не включены микропредприятия; большинство туристов, следующих по маршрутам в горы Хамар-Дабан, не регистрируются в главном управлении МЧС России. Согласно проведенной оценке объем турпотока в Слюдянский район в 2019 г. составляет 370–380 тыс. чел. В структуре туристского потока наибольшее число прибытий дают зимний спортивный туризм (34%), центром которого является Утуликско-Байкальская туристско-рекреационная зона, организованный туризм (29%) и экскурсионный туризм по Кругобайкальской железной дороге (23%). Территории вне туристско-рекреационных зон дают незначительную долю годового потока рекреантов – около 3,6% в год. В дальнейшем полученные данные о пространственно-временной структуре туристского потока послужат основой для расчета и регулирования рекреационных нагрузок на различные участки Центральной экологической зоны Байкальской природной территории.

**Ключевые слова:** Байкальская природная территория, моделирование, оценка, туристский поток, туристско-рекреационная зона, Центральная экологическая зона

**ANALYSIS OF TOURIST FLOW STRUCTURE  
TO THE SLYUDYANSKIY DISTRICT OF THE IRKUTSK REGION****Bibaeva A.Yu.***V.B. Sochava Institute of Geography SB RAS, Irkutsk, e-mail: pav\_a86@mail.ru*

The article is devoted to the study of the intra-annual structure of the tourist flow of the context of tourist and recreational zones of the Slyudyanskiy district of the Irkutsk region. The research was carried out in the framework of the project to develop a scientifically-based approach to the territorial organization of tourist and recreational activities in the central zone of the Baikal natural territory. The modeling of the tourist flow was carried out taking into account various tourist's categories: organized recreation in collective accommodation facilities, camping on the coast of the Lake Baikal, route tourism, winter sports recreation at ski resorts, sightseeing and event tourism. The source materials are official statistics provided by the administration of the Slyudyanskiy district. In the study, the missing information was filled in by calculation using formulas and using data from field studies and opinion polls. There were difficult moments in accounting various categories of tourists. So, microenterprises are not included in the system of official statistical accounting; most of the tourists following the routes to the Khamar-Daban mountains are not registered at the main department of the Russian Emergencies Ministry. According to the assessment, the volume of tourist flow in the Slyudyanskiy district in 2019 is 370-380 thousand people. The largest volume of tourist flow are winter sports tourism (34%) which is concentrated in the Utulik-Baikal tourist and recreation zone, organized tourism (29%) and excursion tourism along the Circum-Baikal Railway (23%). Territories outside the tourist and recreational areas account for a small proportion of the annual flow of recreants – about 3.6% per year. In the future, the obtained data on the space-time structure of the tourist flow will serve as the basis for calculating and regulating the recreational loads on various ecosystems of the Central ecological zone of the Baikal natural territory.

**Keywords:** Baikal natural territory, modeling, assessment, tourist flow, tourist and recreational zone, Central Ecological Zone

Ядром региональной туристской системы является озеро Байкал, которое формирует вокруг себя уникальное ландшафтно-географическое поле, требующее разработки научно обоснованного подхода к территориальной организации туристско-рекреационной деятельности с учетом действующих природоохранных требований и направлений социально-экономического развития муниципальных районов. С этой целью Институт географии им. В.Б. Со-

чавы в 2017 г. были проведена научно-исследовательская работа «Расчет норм рекреационной нагрузки для организованного и неорганизованного отдыха в центральной экологической зоне Байкальской природной территории Иркутской области», в рамках которой осуществлено туристско-рекреационное зонирование муниципальных районов центральной экологической зоны Байкальской природной территории Иркутской области [1].

Настоящее исследование является продолжением начатых в 2017 г. работ [2, 3] по регулированию рекреационных нагрузок на природные экосистемы Байкальской природной территории.

Цель работы: оценка структуры туристского потока в туристско-рекреационные зоны Слюдянского района Иркутской области в 2018–2019 гг.

#### Материалы и методы исследования

В настоящее время информация, предоставляемая государственными органами статистики, а также материалы ежегодной отчетности органов власти, уполномоченных в области туризма, не позволяют получить требуемого массива данных для реализации целей исследования – а именно прогноза и регулирования рекреационных нагрузок на различные участки ЦЭЗ БПТ [1]. Возникает необходимость формирования собственной базы данных по каждой категории туристов.

С целью экспертной оценки туристского потока в Слюдянский район Иркутской области потоки посетителей были разбиты на следующие категории: организованный отдых в коллективных средствах размещения, самостоятельный палаточный отдых, маршрутный туризм, зимний спортивный отдых на горнолыжных курортах, экскурсионный туризм.

Основным источником информации о туристских потоках послужили статистические данные за 2018–2019 гг., предоставленные Администрацией Слюдянского района: количество КСР, численность размещенных лиц, число ночевков, коэффициент загрузки КСР, %, количество неорганизованных туристов, событийный туризм, численность туристов на КБЖД, форма 1-КСР за 2019 г. Восполнение недостающей информации производилось по разработанной методике [4] расчета по формулам с учетом данных социологических исследований и полевых наблюдений. На основе исходных данных для каждой категории туристских потоков рассчитывались следующие показатели: количество одновременно пребывающих туристов, ежемесячный и годовой поток отдыхающих, объем туристского потока за определенный период (день, месяц, сезон, год) в человеко-днях по рекреационным местностям, муниципальным образованиям и туристско-рекреационным зонам.

Сложность учета потока *организованных туристов* заключается в том, что

в систему официального статистического учета включены в основном крупные гостиничные комплексы, санатории и курорты, крупные базы отдыха, ранее имевшие статус ведомственных. Малые предприятия (микропредприятия, частные базы отдыха), преобладающие в границах ЦЭЗ БПТ, не подлежат обязательному учету и до недавнего времени в поле региональной статистики не включались [4].

В соответствии с формой 1-КСР «Сведения о деятельности коллективного средства размещения» в 2019 г. по МО Слюдянский район число функционирующих коллективных средств размещения составило 32 единицы, из них 10 гостиниц, 10 других организаций гостиничного типа, 8 баз отдыха и других организаций отдыха (кроме турбаз), 2 туристические базы, 1 санаторий и 1 кемпинг. По периоду функционирования КСР подразделяются на круглогодичные – 28 единиц и сезонные (летний период) – 4 единицы.

Для полноты оценки туристского потока в Слюдянский район требуется учет деятельности микропредприятий, к которым в соответствии с п. 1 ч. 1.1 ст. 4 ФЗ «О развитии малого и среднего предпринимательства в Российской Федерации» № 209-ФЗ от 24.07.2007 г. [5] относятся субъекты предпринимательства, у которых за предшествующий календарный год среднесписочная численность работников не превышала 15 человек (пп «а» п. 2 ст. 4 ФЗ № 209), а доход не превысил 120 млн руб. [6]. Таким образом, недоучет потенциала номерного фонда микропредприятий приводит к недоучету части турпотока.

В реестре КСР Администрации Слюдянского района числится 37 коллективных средств размещения, ведущих деятельность в 2019 г., с общим потенциалом размещения 2688 койко-мест. Номерной фонд составил 955 единиц, из них 6 номеров высшей категории и 1 номер, приспособленный для проживания людей с ограниченными возможностями. По данным Администрации Слюдянского района в 2018 г. в КСР разместились 32 971 человек.

По фондовым материалам Института географии им. В.Б. Сочавы СО РАН [7] число субъектов предпринимательства, оказывающих услуги по коллективному размещению физических лиц, с учетом микропредприятий, на 2017 г. составило 113 единиц, предоставляющих 5370 койко-мест сезонного размещения и 4288 койко-мест круглогодичного размещения, из них около 90%

общего числа мест размещений сосредоточено в границах туристско-рекреационных зон (ТРЗ).

Основной проблемой учета *туристов, следующих по маршрутам*, является их стихийный характер и невыполнение руководителями групп обязательств по регистрации маршрута в главном управлении МЧС России по Иркутской области. Особенно остро эта проблема стоит в Слюдянском районе, где наибольшей популярностью пользуются маршруты различных категорий сложности в горы Хамар-Дабана (пешие, велосипедные, сплавы по рекам). В последние годы заявки по учету туристских групп принимаются в электронном виде без посещения отделения МЧС.

Так, по данным подразделения ОГБУ «Пожарно-спасательная служба» Иркутской области в г. Слюдянка, за период с 29 мая 2019 г. по 1 февраля 2020 г. зарегистрировано 332 человека (из них 35% детей) в составе 38 туристских групп. На пик Черского через гидрометеостанцию (ГМС) проследовало 237 человек в составе 27 групп. Согласно журналу учета МЧС по маршрутам других направлений отправилось 95 человек в составе 11 групп. Они посетили следующие природные достопримечательные объекты: пер. Чертовы Ворота, пер. Поперечный, гора Босан, гора Золотая, голец Бабха, оз. Туристское, оз. Сердца, водопад Чарующий, р. Серебрянка, сплавы по рекам Иркут, Солзан, Утулик и др. Остальные группы автоматически выпали из статистического учета. По данным,

предоставленным Администрацией Слюдянского района, годовой поток туристов, следующих по маршруту на пик Черского, составляет порядка 15 тыс. чел.

### Результаты исследования и их обсуждение

Согласно проведенной экспертной оценке объем турпотока в Слюдянский район в 2019 г. составляет 370–380 тыс. чел. Наибольшее число прибытий дают три категории туристского потока: зимний спортивный туризм – 34% (включая туристов, размещенных в КСР на территории БКГ «Гора Соболиная»), организованный туризм – 29,7% (около 110 тыс. чел.), экскурсионный туризм по Кругобайкальской железной дороге – 23% (рис. 1).

Структура туристского потока в Слюдянский район в разрезе туристско-рекреационных зон (ТРЗ) представлена в таблице.

Годовой турпоток в *Култукско-Слюдянскую туристско-рекреационную зону* в 2019 г. оценивается в 36 тыс. чел. Основной объем туристского потока дают организованный (37%) и маршрутный туризм (42%) (рис. 2). На территории зоны находятся 32 коллективных средства размещения, из них 6 расположены в п. Култук, 23 – в г. Слюдянка и 3 – в п. Сухой ручей. Общий фонд мест размещения составляет 700 единиц – все круглогодичного использования. Поток организованных туристов оценивается в 13,5 тыс. чел. ≈ 12% от общего потока туристов данной категории в Слюдянский район.

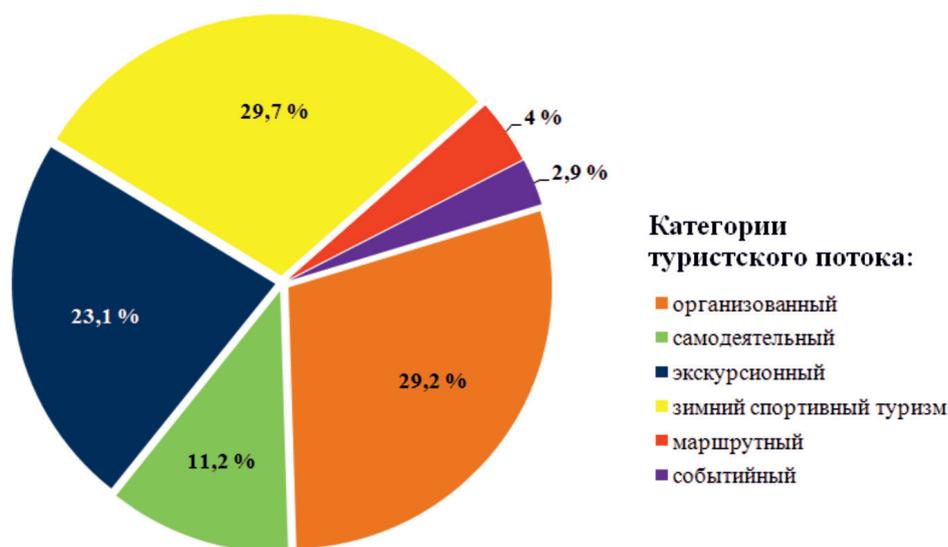


Рис. 1. Структура турпотока в Слюдянский район в 2019 г.

## Структура турпотока в ТРЗ Слюдянского района по состоянию на 2018 г.

№	Туристско-рекреационная зона	Категория туристов						Всего
		Организованные	Самодетельные	Маршрутный туризм	Зимний спортивный	Событийный*	Экскурсионный	
1	Култукско-Слюдянская	13502	3500	15000	–	4044	нет данных	36046
2	Утуликско-Байкальская	71316	12321	–	111835	11529	87000	207001
3	Портбайкальская	5763	–	нет данных	–	–	нет данных	92763
4	Муринская	3890	4315	нет данных	–	–	нет данных	8205
5	Снежинская	6979	19469	нет данных	–	–	нет данных	26448
6	Вне ТРЗ	10586	3138	нет данных	–	–	нет данных	13724

Примечание. \* В соответствии с событийным календарем Слюдянского района [8].

Численность туристов, прошедших по маршруту на пик Черского, по данным Администрации Слюдянского района, составляет около 15 тыс. чел. Согласно записям журнала учета ОГБУ «Пожарно-спасательная служба» Иркутской области в г. Слюдянка, за период с 29 мая 2019 г. по 1 февраля 2020 г. на пик Черского через гидрометеостанцию проследовало 237 человек в составе 27 групп, из них в холодный сезон (с 1 октября 2019 г. по 1 февраля 2020 г.) – 74 чел. в составе 9 групп, в теплый сезон (с 29 мая по 31 сентября 2019 г.) – 163 чел. в составе 18 групп. В летний период в составе туристских групп преобладают дети – 56% (92 ребенка).

Поток самостоятельных туристов оценивается в 3,5 тыс. чел., что составляет около 8% от общего потока данной категории туристов в Слюдянский район.

Число прибытий в туристско-рекреационную зону, связанных с проведением различных мероприятий, составляет более 4 тыс. чел. Наиболее значимыми событиями в границах зоны являются «Лыжня Байкала», День города Слюдянки, День железнодорожника, «Скайраннинг – этап кубка России по бегу в гору». С 2005 г. в г. Слюдянка проводится празднование Дня Рождения Байкальского Деда Мороза, которое посещают около 3000 чел. В рамках фестиваля проводятся лыжные гонки, конкурсы детских творческих работ. В последние несколько лет становятся популярными «Именины Ероши» (бурундучка – символа г. Слюдянка) и тропы на пик Черского.

В рамках экспедиции в Слюдянский район в феврале 2020 г. было проведено исследование числа рекреантов, отдыхающих (без ночевки) в зимний период на побережье Байкала в районе мыса Шаманский в г. Слюдянка. Подсчет туристов проводился в будние и выходные дни. Единовременное число отдыхающих в среднем составило 65 человек в будние дни и 128 человек – в выходные дни. Принимая во внимание период устойчивого безопасного ледового покрова оз. Байкал (февраль – март), кратность заездов в день равным 2, число выходных дней за указанный период – 19, будних дней – 40, поток отдыхающих в прибрежной зоне в зимний период составляет не менее 10 тыс. чел.

Турпоток в Утуликско-Байкальскую туристско-рекреационную зону обеспечивает около 54% всех прибытий Слюдянского района, что составляет более 207 тыс. туристов в год (таблица). В настоящее время по имеющемуся фонду мест размещения Утуликско-Байкальская ТРЗ занимает лидирующие позиции в Слюдянском районе – 3,4 тыс. койко-мест, что составляет 31,5% от общего потенциала размещения. Из них около 82% мест используется круглогодично. По данным экспертной оценки, в 2019 г. здесь разместилось более 71 тыс. чел.

Поток самостоятельных туристов, размещающихся в палатках, составляет 12,3 тыс. чел. и приурочен к прибрежным зонам оз. Байкал в п. Утулик (в районе турбаз «Байкал», «Солнечный берег Байкала», от устья р. Утулик до ул. Российская), п. Солзан (в устье р. Солзан), в районе устья р. Бабха.

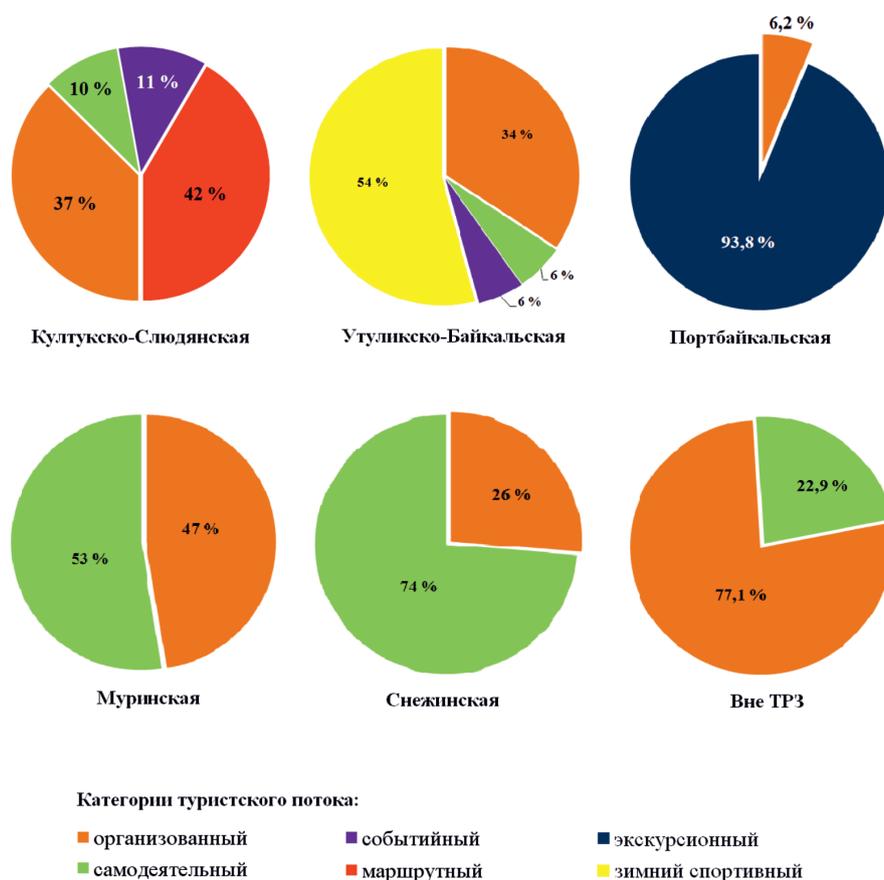


Рис. 2. Структура турпотока в туристско-рекреационных зонах Слюдянского района в 2019 г.

Маршрутный туризм развивается вдоль рек Утулик, Бабха и Солзан. Оценка турпотока по маршрутам требует дополнительных полевых исследований.

Мощнейшим стимулом для посещения территории является событийный туризм, который является дополнительным источником привлечения более 11,5 тыс. туристов в течение всего года и в межсезонье. Они составляют около 71% потока данной категории туристов Слюдянского района; из них около 11 тыс. чел. приходится на г. Байкальск (таблица, рис. 2).

Центром притяжения зимнего спортивного и событийного туризма является БГК «Гора Соболиная». С целью популяризации горнолыжного спорта, привлечения к активному и здоровому образу жизни БГК «Гора Соболиная» организует ряд зимних мероприятий – «Рождественские старты», «Кубок Горы Соболиной» (1-й, 2-й этапы, «Соболёк»), «Сибирячок», «Королева горы», посвященный Международному женскому дню, «День защитника Отечества», «Спуск в купальниках», Кубок

«Сервико», Кубок «КрайсНефти», в рамках которых проходят соревнования по зимним видам спорта среди детей, мужчин и женщин. Летний туристический сезон связан с такими мероприятиями, как фестиваль «Территория лета», Конкурс «GrillFest», фестиваль скандинавской ходьбы «Байкальский нордик» и др. Согласно данным Администрации Слюдянского района мероприятия, организуемые БГК «Гора Соболиная», в 2019 г. посетило не менее 7,5–8 тыс. чел., при этом в 2019 г. годовой поток туристов сюда составил 126,7 тыс. чел., из них около 110 тыс. чел., занимающихся зимним спортивным туризмом.

Визитной карточкой Слюдянского района и г. Байкальска в частности является Клубничный фестиваль «Виктория». Он проходит в середине июля, в рамках фестиваля проводится культурно-развлекательная программа, организуются рынки, где можно приобрести свежую ягоду и различные лакомства из клубники. По оценкам Администрации Слюдянского района фестиваль посещают около 1,5 тыс. чел.

Объем турпотока в *Портбайкальскую туристско-рекреационную зону* в 2019 г. оценивается в 92,7 тыс. чел. (таблица). Территория является труднодоступной с точки зрения транспортной инфраструктуры. Основной категорией туристов здесь являются экскурсионные группы, путешествующие по Кругобайкальской железной дороге (КБЖД). Архитектурно-ландшафтный комплекс КБЖД является памятником архитектуры и инженерного искусства мирового уровня, национальным достоянием России, имеющим исключительную эстетическую ценность. С полотна железной дороги открываются живописнейшие панорамные пейзажи дальней перспективы, гармонично сочетающие таежные «моря», острепленные склоны со скальными останцами, круто обрывающиеся в бескрайние воды Байкала скальные уступы и сотни рукотворных уникальных нетиповых сооружений – тоннелей, каменных галерей, мостов и виадуков, подпорных стенок, подчеркивающих и преумножающих эстетические достоинства уникальных природных ландшафтов.

Однодневные туры по Кругобайкальской железной дороге совершают три вида железнодорожных составов.

1. Кругобайкальский экспресс. В качестве локомотива используется тепловоз с двигателем внутреннего сгорания, работающим на дизельном топливе (РА-1, РА-2). Это современный состав с 8–10 комфортабельными вагонами на 50–60 посадочных мест, курсирует в теплый период года – с мая до середины ноября, осуществляет 6 рейсов в неделю.

2. Ретропоезд. В качестве локомотива используется паровоз с паросиловой установкой, работающей на угле. Состав ретропоезда включает 8–10 комфортабельных вагонов на 50–60 посадочных мест, курсирует в теплый период года – с мая до середины ноября, осуществляет 6 рейсов в неделю.

3. Рельсовый автобус – тепловоз модели РА-1, РА-2 (на дизельной тяге) с 8–10 утепленными вагонами на 50–60 посадочных мест, курсирует в зимний период года – с декабря по апрель, осуществляет 4 рейса в неделю или менее в зависимости от наполняемости вагонов.

По сравнению с 2017 г. в 2019 г. увеличилось число вагонов в составе поезда до 10 единиц, соответственно, увеличилось максимальное единовременное число пассажиров для перевозки – до 500–600 чел., что

обусловлено растущим спросом на экскурсионные туры данного направления [9]. Обследование, проведенное в августе 2017 г., показало уровень загрузки вагонов поезда 70%. Для расчета потока туристов в зимний период доля загрузки вагонов поезда принята за 40%. Таким образом, число туристов, посетивших КБЖД в 2018 и 2019 гг., может составлять от 72 тыс. до 87 тыс. чел. в год, или около 9,5–11,5 тыс. чел. ежемесячно в теплый период года и 1,7–2,1 тыс. чел. ежемесячно в холодный период года.

В границы ТРЗ входит единственный населенный пункт – п. Байкал, в котором расположено 7 коллективных средств размещения. Доля мест для круглогодичного использования в общей численности мест размещения туристов и отдыхающих составляет 100% (160 койко-мест). Поток организованных туристов в туристско-рекреационную зону составляет 5,7 тыс. чел. – около 5% от потока организованных туристов в Слюдянский район.

Самодельный туризм не развит в силу практического отсутствия пляжных полос, вдоль побережья преобладают скалистые обрывы. Оценка потока туристов по маршрутам вдоль железной дороги требует полевых исследований. Мероприятий, проводимых в данной ТРЗ, в событийном календаре [8] Слюдянского района не числится.

Общий объем турпотока в *Муринскую туристско-рекреационную зону* в 2019 г. оценивается в 8,2 тыс. чел. (таблица), что составляет около 2% годового туристского потока Слюдянского района. Структура годового турпотока в Муринскую туристско-рекреационную зону представлена на рис. 2. Вклад в туристский поток исследуемой зоны вносят две категории рекреантов – организованные и самодельные. В соответствии с реестром КСР услуги по размещению туристов оказывают 2 объекта в п. Мурино – база отдыха «Энергетик» на 156 мест круглогодичного использования и база отдыха «Мурино», предоставляющая 25 мест в гостевых домиках (сезонность не определена). Согласно полученным данным, в 2019 г. число посетителей, разместившихся в КСР Муринской туристско-рекреационной зоны, составило 3,9 тыс. чел. (47%); доля в годовом турпотоке организованных туристов Слюдянского района составляет 3,5%.

Места самодельного отдыха локализованы в районе п. Мурино на побережье оз. Байкал. Годовой поток данной категории

отдыхающих соизмерим с потоком организованных туристов и составляет 4,3 тыс. чел. – 53%; доля в годовом турпотоке самостоятельных туристов Слюдянского района составляет 10%.

Данные о прохождении туристов по маршрутам в данной туристско-рекреационной зоне немногочисленны. За период с 29 мая 2019 г. по 1 февраля 2020 г. имеется одна запись в журнале учета отделения МЧС в г. Слюдянка – пеший маршрут группой из 5 взрослых человек на 7 дней на Осиновский голец с выходом к р. Хара-Мурин.

Годовой объем турпотока *Снежинской туристско-рекреационной зоны* составляет 26,5 тыс. чел. В границах ТРЗ находятся 3 коллективных средства размещения: База отдыха «Гостевые домики» на 33 койко-места, которая в 2019 г. не функционировала ввиду устранения нарушений; рекреационный комплекс «S\*нежная», обеспечивающий 122 койко-места в теплый сезон, из которых 63 используются круглогодично; гостиница «Теплые озера на Снежной», предоставляющая для размещения 200 койко-мест круглогодично. Общий фонд койко-мест в 2019 г. составляет 322 единицы сезонного использования и 263 единицы круглогодичного использования. Численность организованных туристов в 2019 г., согласно экспертной оценке, составила около 7 тыс. чел., что составляет 6% от годового потока организованных туристов в Слюдянском районе.

Для данной туристско-рекреационной зоны характерно преобладание самостоятельного вида туристской деятельности над организованным в 2,8 раза. Поток самостоятельных туристов оценивается в 19,5 тыс. чел., что обеспечивает почти половину – 46% (!) годового потока самостоятельных туристов Слюдянского района. Наиболее популярные места палаточного отдыха сосредоточены на побережье оз. Байкал в районе п. Паньковка 2-я (0,7 тыс. чел.) и п. Новоснежная (16,9 тыс. чел.) и на побережье р. Снежная – Теплые озера (1,8 тыс. чел.). При этом основная рекреационная нагрузка приходится на прибрежную зону п. Новоснежная, где одновременное число отдыхающих составляет 900–1000 чел.

*За пределами туристско-рекреационных зон* находятся 18 коллективных средств размещения общим фондом койко-мест 551 сезонного и 392 круглогодичного использования, расположенных в п. Буровщина, п. Мангутай, п. Солзан, п. Муравей, вдоль

КБЖД – п. Половинная, п. Шарыжалгай, п. Ангасолка. Общий объем организованного потока туристов составляет 10,5 тыс. чел. в год, что составляет около 9,5% от общего потока организованных туристов Слюдянского района.

Поток самостоятельных туристов составляет 3,1 тыс. чел. и направлен главным образом на побережье Байкала в районе п. Буровщина, п. Паньковка 1-я, п. Мангутай, п. Муравей. Ввиду широкого распространения берегов с крутыми и отвесными склонами и фрагментарным развитием аккумулятивных форм рельефа береговой зоны вдоль полотна КБЖД поток самостоятельных туристов, ночующих в палатках на побережье, здесь незначителен. Вклад самостоятельных туристов в годовую поток данной категории отдыхающих Слюдянского района составляет около 7%.

Для территорий, не вошедших в ТРЗ, характерно преобладание организованного потока туристов над самостоятельным в 3,4 раза (!).

Данные по маршрутному туризму немногочисленны. В журнале учета отделения МЧС в г. Слюдянка в период с 29 мая 2019 г. по 01 февраля 2020 г. зарегистрирована одна группа из четырех человек, прошедших в течение четырех дней в сентябре по маршруту вдоль р. Солзан на водопад Чарующий.

Таким образом, годовой турпоток вне туристско-рекреационных зон Слюдянского района составляет 13,7 тыс. чел. – 3,6% от годового турпотока Слюдянского района (таблица, рис. 2).

### Заключение

В соответствии с экспертной оценкой, основной туристский поток Слюдянского района направлен в Утуликско-Байкальскую туристско-рекреационную зону, являющуюся центром зимнего спортивного туризма, и Портбайкальскую туристско-рекреационную зону, лидирующую по потоку экскурсантов (рис. 3). Наименьший вклад в объем турпотока в Слюдянский район вносит Муринская туристско-рекреационная зона (2,1%). Территории вне туристско-рекреационных зон дают незначительную долю годового потока рекреантов – около 3,6% в год.

Основными категориями туристов в Слюдянском районе, обеспечивающими примерно равное количество посетителей, являются организованные, зимнего спортивного отдыха и экскурсионные.



Рис. 3. Распределение годового турпотока по туристско-рекреационным зонам Слюдянского района в 2019 г.

Данные об объеме и структуре турпотока в Слюдянский район являются основой для организации мониторинга рекреационных воздействий на ландшафты и контроля состояния и охраны природно-рекреационного потенциала территории. Для оценки туристских потоков в полном объеме органам местного самоуправления рекомендуется, тщательно вести реестры КСР по всем показателям; проводить учет экскурсантов, самостоятельных туристов, отдыхающих на пляжах и идущих по маршрутам (пеших, по воде и др.) посредством социологических исследований путем опроса или анкетирования. Это позволит им владеть информацией, иметь доказательную базу при решении вопросов, связанных с оценкой рекреационных нагрузок, и инструмент регулирования и планирования рекреационной деятельности.

*Исследование выполнено за счет средств государственного задания АААА-А17-117041910167-0 и при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-45-380012 p\_a.*

#### Список литературы / References

1. Евстропьева О.В., Бардаш А.В., Будаева Д.Г. Методологические подходы к туристско-рекреационной дифференциации территорий с особыми условиями использования // Современные проблемы сервиса и туризма. 2019. Т.13. № 1. С. 7–21. DOI: 10.24411/1995-0411-2019-10102.
2. Евстропьева О.В., Бардаш А.В., Будаева Д.Г. Methodological approaches to the tourism and recreational differentiation of territories with special use conditions // Sovremennye problemy servisa i turizma. 2019. V.13. № 1. P. 7–21 (in Russian).
3. Корытный Л.М., Евстропьева О.В. О разработке правил организации туризма и отдыха в центральной эко-

логической зоне Байкальской природной территории // Современные проблемы сервиса и туризма. 2018. Т.12. № 3. С. 31–42. DOI: 10.24411/1995-0411-2018-10303.

Korytny L.M., Evstropeva O.V. On the developing the rules for organization of tourism and recreation in the central ecological zone of the Baikal natural territory // Sovremennye problemy servisa i turizma. 2018. V. 12. № 3. P. 31–42 (in Russian).

3. Заборцева Т.И., Евстропьева О.В., Дуля К.В. Потенциал развития туристско-рекреационной деятельности на территории ЦЭЗ БИТ (по результатам пилотного анкетирования) // Современные проблемы сервиса и туризма. 2019. Т. 13. № 1. С. 60–69. DOI: 10.24411/1995-0411-2019-10107.

Zabortseva T.I., Evstropeva O.V., Dulya K.V. Development potential of tourist and recreational activities in the territory of the Central ecological zone of the Baikal Natural Territory (pilot survey-based evaluation) // Sovremennye problemy servisa i turizma. 2019. V. 13. № 1. P. 60–69 (in Russian).

4. Евстропьева О.В., Бибаева А.Ю., Санжеев Э.Д. Моделирование туристских потоков на региональном и локальном уровнях. Опыт реализации в ЦЭЗ БИТ // Современные проблемы сервиса и туризма. 2019. Т.13. № 1. С. 85–97. DOI: 10.24411/1995-0411-2019-10110.

Evstropeva O.V., Bibaeva A.Yu., Sanzheev E.D. Modeling tourist flows at the regional and local levels. Experience of implementation in the Central ecological zone of Baikal natural territory // Sovremennye problemy servisa i turizma. 2019. V. 13. № 1. P. 85–97 (in Russian).

5. О развитии малого и среднего предпринимательства в Российской Федерации: Федеральный закон № 209-ФЗ от 24.07.2007 г. (с изменениями от 27.12.2019 и доп., вступ. в силу с 01.01.2020). Консультант Плюс. [Электронный ресурс]. URL: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_52144](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_52144) (дата обращения: 25.05.2020).

On the development of small and medium-sized enterprises in the Russian Federation: Federal Law № 209-FL of July 24, 2007 (changed 27.12.2019 and 01.01.2020). Konsultant Plyus. [Electronic resource]. URL: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_52144](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_52144) (date of access: 25.05.2020) (in Russian).

6. О предельных значениях дохода, полученного от осуществления предпринимательской деятельности, для каждой категории субъектов малого и среднего предпринимательства: Постановление Правительства Российской Федерации № 265 от 4 апреля 2016 г. Консультант Плюс. [Электронный ресурс]. URL: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_196415/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_196415/) (дата обращения: 25.05.2020).

On the limit values of income derived from entrepreneurial activity for each category of small and medium-sized enterprises: Decree of the Government of the Russian Federation № 265 of April 4, 2016. Konsul'tant Plyus. [Electronic resource]. URL: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_196415/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_196415/) (date of access: 25.05.2020) (in Russian).

7. Расчет норм рекреационной нагрузки для организованного и неорганизованного отдыха в центральной экологической зоне Байкальской природной территории Иркутской области. Отчет о научно-исследовательской работе. Иркутск: Институт географии им. В.Б. Сочавы СО РАН, 2017. 428 с.

Calculation of the norms of recreational load for organized and unorganized recreation in the central ecological zone of the Baikal natural territory of the Irkutsk region. Research Report. Irkutsk: Institut geografii im. V.B.Sochavy SO RAN, 2017. 428 p. (in Russian).

8. Событийный календарь южного Прибайкалья (Слюдянский район). [Электронный ресурс]. URL: <http://www.sludyanka.ru/cobytijnyj-kalendar> (дата обращения: 05.06.2020).

Event calendar of the southern Baikal region (Slyudyanskiy district). [Electronic resource]. URL: <http://www.sludyanka.ru/cobytijnyj-kalendar> (date of access: 05.06.2020) (in Russian).

9. ВСЖД: Движение туристических поездов по КБЖД планируем сделать круглогодичным. Сибирское информационное агентство, 2019. [Электронный ресурс]. URL: [https://sia.ru/?section=484&action=show\\_news&id=385385](https://sia.ru/?section=484&action=show_news&id=385385) (дата обращения: 25.05.2020).

ESR: it is planned to make the movement of tourist trains on the Circum-Baikal Railway year-round. Sibirskoe informacionnoe agentstvo, 2019. [Electronic resource]. URL: [https://sia.ru/?section=484&action=show\\_news&id=385385](https://sia.ru/?section=484&action=show_news&id=385385) (date of access: 25.05.2020) (in Russian).

УДК 624.131.37:624.131.43

**ДЕФОРМАЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ИСКУССТВЕННО  
ПРИГОТОВЛЕННЫХ ОБРАЗЦОВ МЁРЗЛЫХ ГРУНТОВ ПРИ ОТТАИВАНИИ****Вахрин И.С., Кузьмин Г.П.***ФГБУН Институт мерзлотоведения им. П.И. Мельникова СО РАН, Якутск,  
e-mail: VakhLIG2010@yandex.ru, kuzmin@mpi.ysn.ru*

Статья посвящена процессу осадки мёрзлых грунтов при оттаивании, закономерности протекания которого необходимы для решения задачи обеспечения устойчивости зданий и инженерных сооружений, возводимых с использованием мёрзлых грунтов основания в оттаявшем состоянии или допущением оттаивания в период эксплуатации. В современных условиях потепления климата изучение осадки мёрзлых грунтов при оттаивании становится очень важным. В настоящее время отсутствует база данных о деформационных характеристиках оттаивающих грунтов и не установлены зависимости их от основных показателей физических свойств мёрзлых грунтов. В связи с этим целью исследования является определение коэффициентов оттаивания и сжимаемости мёрзлых грунтов при оттаивании и выявление зависимости их от физических характеристик различных типов грунтов. В результате определения гранулометрического состава исследуемых грунтов ситовым и ареометрическим анализом, грунты представлены в виде песка мелкого, супеси пылеватой и суглинка лёгкого пылеватого. Излагается методика приготовления образцов грунта для определения деформационных характеристик оттаивающих грунтов методом компрессионного сжатия. Приведены физические характеристики трёх типов исследованных грунтов и результаты определения коэффициентов оттаивания и сжимаемости их. Установлены зависимости коэффициентов оттаивания и сжимаемости исследуемых грунтов в диапазоне влажности от 0 до полной влагоёмкости при постоянных значениях пористости. На основе регрессионного анализа полученных значений деформационных характеристик получены зависимости их от влажности превышающих полную влагоёмкость в супеси и суглинке, которые линейно повышаются и от пористости. Установлено, что изменение деформационных характеристик при изменении пористости выражается одной зависимостью.

**Ключевые слова:** грунт, оттаивание, компрессионные испытания, физические характеристики, деформационные характеристики

**THAW DEFORMATION CHARACTERISTICS OF ARTIFICIALLY  
PREPARED FROZEN SOIL SAMPLES****Vakhnin I.S., Kuzmin G.P.***Melnikov Permafrost Institute SB, Yakutsk, e-mail: VakhLIG2010@yandex.ru, kuzmin@mpi.ysn.ru*

This article addresses the problem of thaw settlement of permafrost soils. Understanding how this process proceeds is necessary to solve building stability problems when the foundations are used either in a thawed state or designed to provide for thaw penetration during the service life of the structure. With on-going climate warming, research on thaw settlement becomes increasingly important. However, no databases are presently available on thaw strain characteristics of frozen soils, and no relationships to the main physical properties have been obtained as yet. The purpose of this study is to determine the coefficients of thawing and compressibility of frozen soils, as well as to relate them to physical properties of various soil types. The study soils are fine sand, silty sand, and sandy silt, as defined by grain-size analyses with the sieve and hydrometer methods. A sample preparation procedure is presented for consolidation tests performed to determine thaw deformation characteristics. The physical properties, as well as the coefficients of thawing and compressibility obtained for the three soil types are given. The relationships for the thawing and compressibility coefficients are presented which have been established over the range of moisture contents from 0 to full saturation at a constant porosity. Based on the regression analysis of the deformation characteristics, their relationships to moisture content for oversaturated silty sand and sandy silt which increase linearly, as well as to porosity are shown. The results indicate that variation of the deformation characteristics with porosity is expressed with a single relationship.

**Keywords:** soil, thawing, compression tests, physical characteristics, deformation characteristics

Мёрзлые дисперсные грунты под действием собственной массы и приложенной нагрузки при оттаивании уменьшаются в объёме [1]. Осадка мёрзлых грунтов основания при оттаивании, особенно неравномерная, приводит к деформациям и разрушениям зданий и сооружений [2]. Деформационные характеристики оттаивающих грунтов выражаются коэффициентом оттаивания, определяющим осадку мёрзлых грунтов при оттаивании под действием соб-

ственной массы грунта, и коэффициентом сжимаемости, определяющим осадку оттаявшего грунта под действием приложенной внешней нагрузки. Они используются для расчёта осадки оттаивающих грунтов основания сооружений, возводимых с предварительным оттаиванием или допущением оттаивания в период строительства и последующей эксплуатации сооружений (принцип II). Изучение осадки мёрзлых грунтов при оттаивании в условиях потепления

климата становится ещё более актуальным. Коэффициенты оттаивания и сжимаемости определяются в компрессионном приборе в условиях невозможности бокового расширения образца грунта [3]. Принимается, что грунты в массиве находятся также в подобных условиях. Величины этих коэффициентов зависят от состава и строения мёрзлых грунтов. Поэтому при изучении деформационных свойств оттаивающих мёрзлых грунтов определяют их физические характеристики. Для обеспечения однородности состава и строения грунтов исследования проводились на искусственно приготовленных образцах.

Целью исследования является установление зависимости деформационных характеристик оттаивающих грунтов от их физических свойств. Эти зависимости необходимы при решении задачи обеспечения устойчивости зданий и сооружений, возводимых с использованием грунтов основания по принципу II. В условиях потепления климата это требование становится ещё более важным.

#### Материалы и методы исследования

Деформационные характеристики оттаивающих грунтов изучались на искусственно приготовленных образцах с различной заданной влажностью трёх основных типов

дисперсных грунтов – песка, супеси и суглинка. В табл. 1 приведены результаты определения гранулометрического состава исследованных грунтов ситовым и ареометрическим анализом [4–6] и минералогического состава иммерсионным методом [7].

Подготовка образцов грунта для определения физических и деформационных характеристик оттаивающих грунтов выполнялась следующим образом. Отобранный для испытания грунт высушивали при температуре 105 °С до установления постоянной массы. Часть высушенного грунта использовалась для определения по стандартной методике плотности твёрдых частиц. Расчёт её производился по формуле

$$\rho_s = \frac{m_d}{V_d}, \quad (1)$$

где  $m_d$  – масса образца высушенного грунта;  $V_d$  – объём твердых частиц.

Другой частью высушенного грунта наполняли кольцо компрессионного прибора [8]. Кольцо с грунтом взвешивали и находили начальную плотность сухого образца по формуле

$$\rho_{d0} = \frac{m_d}{V_0}, \quad (2)$$

где  $V_0$  – начальный объём образца.

Таблица 1

Гранулометрический и минеральный состав исследованных грунтов

Наименование	Содержание частиц разного размера (мм) в %							Содержание минералов в %	
	2,0-0,5	0,5-0,25	0,25-0,1	0,1-0,05	0,05-0,01	0,01-0,002	< 0,002		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Песок мелкий	4,90	35,90	56,50	2,70	–	–	–	Кварц	41,20
								Полевые шпаты	56,40
								Биотит	0,60
								Обломки породы	1,80
Супесь пылеватая	–	0,40	2,20	26,70	60,40	4,70	5,60	Кварц	18,00
								Полевые шпаты	61,50
								Карбонаты	10,30
								Разрушенная слюда	7,30
								Обломки породы	2,90
Суглинок лёгкий пылеватый	–	0,30	1,30	15,80	53,20	16,70	12,70	Кварц	17,70
								Полевые шпаты	63,60
								Карбонаты	9,10
								Разрушенная слюда	3,60
								Обломки породы	6,00

По найденным значениям плотности твёрдых частиц и начальной плотности сухого грунта определяли начальную пористость образца по формуле

$$n_0 = \frac{\rho_s - \rho_{d0}}{\rho_s}. \quad (3)$$

Затем образец в кольце компрессионного прибора увлажняли. Необходимое количество воды для получения заданной влажности образца грунта определяли по формуле

$$m_b = m_d * w, \quad (4)$$

где  $w$  – влажность грунта.

После этого образец в кольце компрессионного прибора для равномерного распределения воды выдерживался при положительной температуре в течение 24 ч, затем его замораживали. Образец в процессе выдерживания в течение суток для равномерного распределения в нём воды замораживания и испытания в компрессионном приборе предохраняли от иссушения. Для контроля возможных потерь воды из образцов после компрессионных испытаний кольцо с образцом снова взвешивалось. При компрессионном сжатии грунта в условиях невозможности бокового расширения объём образца выражается зависимостью

$$V = S * (h - \Delta h), \quad (5)$$

где  $S$  – площадь поперечного сечения образца;  $\Delta h$  – деформация образца;  $h$  – начальная высота образца.

На основании (5) на ступенях компрессионного сжатия физические характеристики выражаются зависимостями:

– плотность сухого грунта [9]

$$\rho_d = \frac{\rho_{d0}}{1 - \frac{\Delta h}{h}}, \quad (6)$$

– пористость грунта [9]

$$n = 1 - \frac{\rho_{d0}}{\rho_s * \left(1 - \frac{\Delta h}{h}\right)}. \quad (7)$$

При изучении осадки мёрзлых грунтов при оттаивании важным показателем физических свойств грунтов является полная влагоёмкость, которая определяется по формуле

$$w_{sab} = \rho_w * \frac{\rho_s - \rho_{d0}}{\rho_s * \rho_{d0}}, \quad (8)$$

где  $\rho_w$  – плотность воды.

В диапазоне изменения влажности от 0 до полной влагоёмкости только плотность грунта зависит от влажности, остальные физические характеристики грунта остаются постоянными.

В табл. 2 представлены значения физических характеристик песка мелкого, супеси пылеватой и суглинка лёгкого пылеватого в талом состоянии.

**Таблица 2**

Основные физические характеристики исследованных грунтов в талом состоянии

№ п/п	$w$ , %	$\rho$ , г/см <sup>3</sup>	$\rho_d$ , г/см <sup>3</sup>	$\rho_s$ , г/см <sup>3</sup>	$n$ , %	$w_{sab}$ , д.е.	$w_p$ , %	$w_p$ , %	$I_p$ , %	Наименование грунта
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	5,0	1,71	1,63	2,66	38,72	0,237	–	–	–	Песок мелкий
2	10,0	1,79								
3	15,0	1,87								
4	20,0	1,96								
5	23,7	2,02								
6	5,0	1,63	1,55	2,70	42,59	0,274	20,7	16,1	4,6	Супесь пылеватая
7	10,0	1,71								
8	15,0	1,78								
9	20,0	1,86								
10	27,4	1,97								
11	5,0	1,59	1,51	2,71	44,28	0,292	30,5	21,3	9,2	Суглинок лёгкий пылеватый
12	10,0	1,66								
13	15,0	1,74								
14	20,0	1,81								
15	25,0	1,89								
16	29,2	1,95								

**Таблица 3**

Физические и деформационные характеристики исследованных грунтов при оттаивании

№ п/п	Среднее значение по пяти определениям				Наименование грунта
	$w_{tot}, \%$	$n, \%$	$A_m, \text{ д.е.}$	$m, \text{ МПа}^{-1}$	
1	2	3	4	5	6
1	4,96	38,72	0,0149	0,0208	Песок мелкий
2	9,96	38,72	0,0147	0,0206	
3	14,98	38,72	0,0148	0,0206	
4	20,02	38,72	0,0149	0,0208	
5	23,50	38,72	0,0149	0,0209	
6	5,10	42,59	0,095	0,046	Супесь пылеватая
7	10,0	42,59	0,093	0,045	
8	15,0	42,59	0,097	0,046	
9	20,0	42,59	0,095	0,045	
10	27,2	42,59	0,098	0,046	
11	30,9	49,78	0,109	0,053	
12	35,3	53,11	0,101	0,056	
13	39,0	55,41	0,128	0,058	Суглинок лёгкий пылеватый
14	5,0	44,28	0,123	0,062	
15	10,0	44,28	0,123	0,062	Суглинок лёгкий пылеватый
16	15,0	44,28	0,124	0,062	
17	20,0	44,28	0,124	0,062	
18	25,0	44,28	0,123	0,063	
19	29,1	44,28	0,123	0,063	
20	35,0	53,07	0,145	0,074	
21	40,0	56,24	0,153	0,079	
22	45,0	59,04	0,162	0,085	

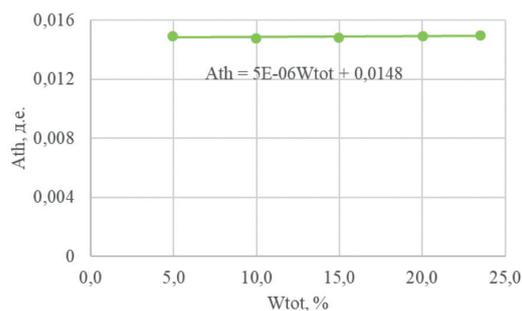
Образцы грунта в компрессионном приборе испытывались под ступенчато-возрастающими давлениями. На каждой ступени нагрузки определяли по принятой методике коэффициенты оттаивания и сжимаемости и по формулам (6) и (7) рассчитывали величины плотности сухого грунта и пористости.

**Результаты исследования и их обсуждение**

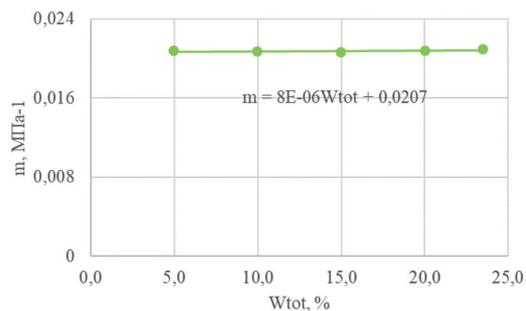
Результаты определений физических и деформационных характеристик, искусственно приготовленных образцов песка, супеси и суглинка при оттаивании приведены в табл. 3.

На рис. 1–5 представлены графики зависимости деформационных характеристик всех трёх типов исследованных грунтов от влажности и пористости. Влажность образцов песка изменялась в пределах диапазона от 0 до полной влагоёмкости  $w_{sab}$ , а супеси и суглинка от 0 до  $w > w_{sab}$ .

Величины коэффициентов оттаивания и сжимаемости всех трёх типов исследованных грунтов в диапазоне изменения влажности от 0 до полной влагоёмкости при одинаковой пористости, как и следовало ожидать, не изменяются (рис. 1, 2 и 4). При влажностях, превышающих полную влагоёмкость в супеси и суглинке (рис. 3 и 5), коэффициенты оттаивания и сжимаемости линейно повышаются с увеличением влажности грунта. Это вызвано раздвиганием частиц и увеличением пористости грунта при промерзании. На основе регрессионного анализа значений деформационных характеристик получены зависимости их от влажности и от пористости грунта. Как видно из рис. 3 и 5, изменение деформационных характеристик при изменении пористости грунта выражается одной зависимостью. Поэтому при изучении осадки мёрзлых грунтов при оттаивании рекомендуется пользоваться подобной зависимостью.

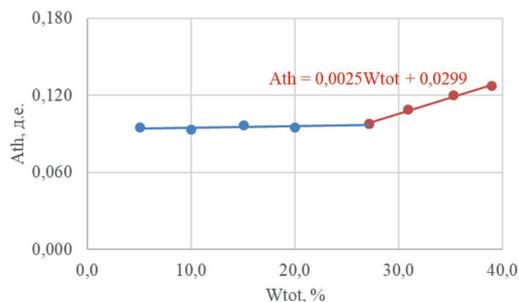


a)

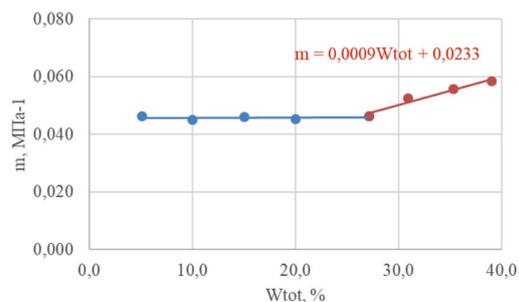


б)

Рис. 1. Зависимость коэффициентов оттаивания (а) и сжимаемости (б) песка мелкого в диапазоне влажности от 0 до полной влагёмкости при постоянном значении пористости, равном 38,72%

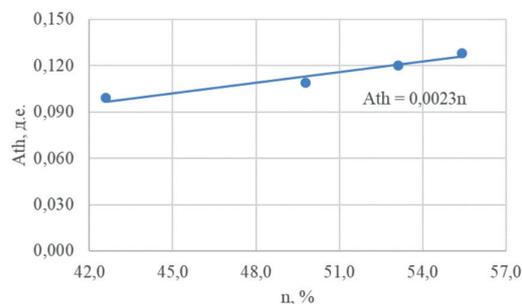


a)

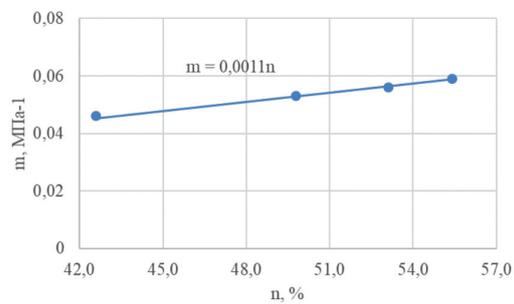


б)

Рис. 2. Зависимость коэффициентов оттаивания (а) и сжимаемости (б) супеси пылевой от влажности



a)



б)

Рис. 3. Зависимость коэффициентов оттаивания (а) и сжимаемости (б) супеси пылевой от пористости

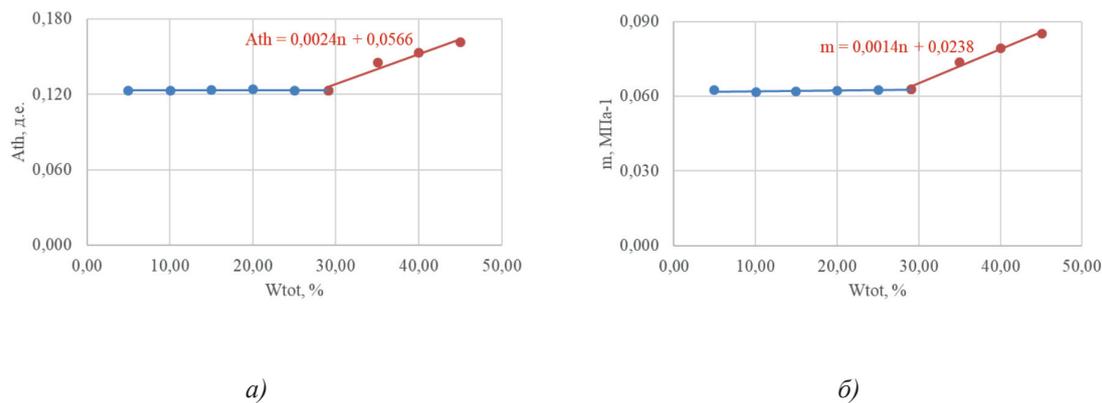


Рис. 4. Зависимость коэффициентов оттаивания (а) и сжимаемости (б) суглинка лёгкого пылеватого от влажности

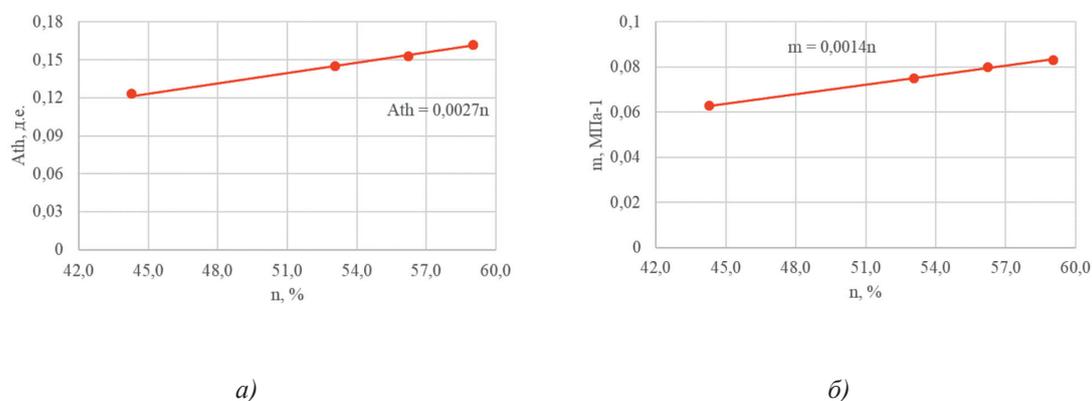


Рис. 5. Зависимость коэффициентов оттаивания (а) и сжимаемости (б) суглинка лёгкого пылеватого от пористости

### Заключение

Изучение осадки мёрзлых дисперсных грунтов при оттаивании в современных условиях потепления климата приобретает все большее значение. Экспериментальными исследованиями установлены закономерности изменения деформационных характеристик трёх основных типов мёрзлых грунтов при оттаивании. Получены зависимости коэффициентов оттаивания и сжимаемости от влажности и пористости исследованных грунтов. Сделан вывод о том, что деформационные характеристики оттаивающих грунтов следует выражать в виде зависимости от пористости грунта.

### Список литературы / References

1. Хрусталёв Л.Н. Основы геотехники в криолитозоне: учебник. М.: ИНФРА-М, 2019. 543 с.

Khrustalev L.N. Fundamentals of geotechnics in permafrost: textbook. M.: INFRA, 2019-M. 543 p. (in Russian).

2. Стрелецкий Д.А., Шикломанов Н.И., Гребенец В.И. Изменение несущей способности мёрзлых грунтов в связи с потеплением климата на севере Западной Сибири // Криосфера Земли. 2012. Т. XVI. № 1. С. 22–32.

Streletskiy D.A., Shiklomanov N.I., Grebenets V.I. Changes of foundation bearing capacity due to climate warming in Northwest Siberia // Cryosphere earth. 2012. V. XVI. № 1. P. 22–32 (in Russian).

3. ГОСТ 12248-2010. Грунты. Методы лабораторного определения характеристик прочности и деформируемости. М.: МНТКС, 2011. 162 с.

4. ГОСТ 25100-2011. Грунты. Классификация. М.: Межгосударственный стандарт, 2013. 63 с.

5. ГОСТ 5180-2015. Грунты. Методы лабораторного определения физических характеристик. М.: Стандартинформ, 2016. 23 с.

6. Трофимов В.Т., Вознесенский Е.А., Королёв В.А. Инженерная геология России. Т. 1. Грунты России. М.: КДУ, 2011. 672 с.

Trofimov V.T., Voznesenskiy E.A., Korolev V.A. Engineering geology of Russia. Volume 1. Soils of Russia. M.: KDU, 2011. 672 p. (in Russian).

7. Ложкин В.В. Диагностика минералов россыпей. Практическое руководство. М.: Государственное научно-техническое издательство литературы по геологии и охране недр, 1962. 243 с.

Lozhkin V.V. Diagnostics of Placer Minerals. Practical guide. M.: Gosudarstvennoye nauchno-tekhnicheskoye izdatel'stvo literatury po geologii i okhrane neдр, 1962. 243 p. (in Russian).

8. Болдырев Г.Г. Методы определения механических свойств грунтов с комментариями к ГОСТ 12248-2010. М.: ООО «Прондо», 2014. 812 с.

Boldyrev G.G. Methods for Determining the Mechanical Properties of Soils with Comments to GOST 12248-2010. M.: ООО Prondo, 2014. 812 p. (in Russian).

9. Вахрин И.С., Кузьмин Г.П. Намывные грунты в г. Якутске и определение физических их свойств на основе компрессионных испытаний // Успехи современного естествознания. 2019. № 7. С. 66–70. DOI: 10.17513/use.37161.

Vakhrin I.S., Kuzmin G.P. Hydraulic-fill soils in Yakutsk and determination of their physical properties from consolidation tests // Advances in current natural sciences. 2019. № 7. P. 66–70 (in Russian).

УДК 504.3.054/.064.36

## ПЕРСПЕКТИВЫ БЛАГОУСТРОЙСТВА ЧАСТИ АВТОЗАВОДСКОГО ПАРКА НИЖНЕГО НОВГОРОДА КАК СТРУКТУРНОГО ЭЛЕМЕНТА ЭКОЛОГО-ПРИРОДНОГО КАРКАСА ГОРОДА

Вершинина И.В., Мартынова Д.А.

*ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный педагогический университет имени Козьмы Минина», Нижний Новгород, e-mail: vershinina.iv@gmail.com*

В работе на основе принципов ландшафтно-экологического и геоэкологического проектирования рассмотрены основные функциональные особенности элементов экологического каркаса города. Уточняется, что на законодательном уровне не существует категории «экологический каркас», а при градостроительном проектировании чаще всего опираются на термин «зеленые насаждения», который не отражает комплексный характер городского эколого-природного каркаса. Представлена характеристика территории, прилегающей к озеру Парковое, как структурного элемента эколого-природного каркаса г. Нижнего Новгорода в черте Автозаводского района. Озеро Парковое имеет искусственное происхождение и изолировано древесными насаждениями от плотной жилой застройки с трех сторон, с четвертой – северной стороны зеленые насаждения минимальны. Проведен учет численности и породного состава древесных культур, в ходе которого выявлен доминант – береза бородавчатая. Установлено, что жизненное состояние деревьев зеленого массива территории озера Парковое для более чем 90% древесных культур относится к категории «ослабленные». Основными проблемными аспектами функционирования парковой территории у озера является высокая антропогенная нагрузка, ослабленное состояние древостоя в составе зеленых насаждений рекреационного объекта, отсутствие комплексных работ по благоустройству. Представлены перспективные проектные решения по благоустройству парковой территории в районе озера, которые позволят оптимизировать экологическое состояние части Автозаводского парка и укрепить экологический каркас г. Нижнего Новгорода. Обоснован выбор основных элементов благоустройства парковой территории: вид древесных насаждений, организация и структура дорожно-тропиночной сети, расположение и оборудование пляжной зоны, детской и спортивной площадок. Реализация проекта благоустройства территории, прилегающей к озеру Парковое, первой очереди, позволит не только сохранить основные черты городской территории, исторические аспекты и особенности, но и оптимизирует экологическое состояние озера и территории парка как структурного элемента экологического каркаса города, а также позволит создать крупную зону в центральной части Автозаводского района для ежедневной рекреации населения.

**Ключевые слова:** экологический каркас, озелененные территории, проектирование, благоустройство, рекреация, парк, озеро

## PROSPECTS FOR BEAUTIFICATION OF PART OF THE AVTOZAVODSKY PARK OF NIZHNY NOVGOROD AS A STRUCTURAL ELEMENT OF THE ECOLOGICAL AND NATURAL FRAME OF THE CITY

Vershinina I.V., Martynova D.A.

*Minin Nizhny Novgorod State Pedagogical University, Nizhny Novgorod, e-mail: vershinina.iv@gmail.com*

In the work on the basis of the principles of landscape-ecological and geo-ecological design, the basic functional features of the elements of the ecological framework of the city are considered. It is specified that at the legislative level there is no category of «ecological framework», and in urban planning they most often rely on the term «green plantings», which does not reflect the complex nature of the urban ecologic-natural framework. The characteristic of the territory of Lake Parkovoe as a structural element of the ecological-natural framework of the city of Nizhny Novgorod within the Avtozavodsky district is presented. The water body – Lake Parkovoe is of artificial origin and is isolated by woodland from a dense multi-story residential development on three sides, on the fourth – north side the green space is minimal. The abundance and species composition of arboreal crops were recorded, during which the dominant – was identified – warty birch. It has been established that the vitality of trees of the green massif of the territory of Lake Parkovoe for more than 90% of tree crops is classified as «weakened». The main problematic aspects of the functioning of the park area near the lake is the high anthropogenic load, the weakened state of the stand in the green spaces of the recreational facility, and the lack of comprehensive beautification. It presents promising design solutions in the field of beautification the territory of Lake Parkovoe of the first stage, which will allow to optimize the environmental status of part of the Avtozavodsky park and strengthen the ecological framework of the city of Nizhny Novgorod. The choice of the basic elements of beautification the park territory has been substantiated: the type of tree plantings, the organization and structure of the road-topping network, the location and equipment of the beach area, children and sport grounds. The implementation of the project of beautification the territory of Lake Parkovoe of the first stage will not only preserve the main features of the city territory, historical aspects and features, but also optimizes the ecological state of the lake and the adjacent territory as a structural element of the ecological framework of the city, as well as create a large zone in the central part of the Avtozavodsky district for daily recreation of the population.

**Keywords:** ecological frame, green areas, design, beautification, recreation, park, lake

Современные города являют собой ресурс. Процессы, сопровождающие развитие городов, имеют различную направленность и степень воздействия, но при

этом характеризуются сходными тенденциями, которые проявляются в ухудшении состояния атмосферного воздуха, деградации водных ресурсов, сокращении площади территорий, используемых в рекреационных целях, неблагоприятном изменении микроклимата, негативном воздействии на организм человека электромагнитных полей и иных излучений. Возросшие объемы жилищного строительства, и в частности уплотнительная городская застройка местности, приводят к ухудшению социальной и инженерной инфраструктуры, городских условий и возрастанию рекреационной нагрузки на имеющиеся озелененные территории общего пользования [1].

Центрами стабилизации в условиях городской среды преимущественно являются озелененные территории общего пользования: парки, сады, скверы, набережные и иные рекреационно-природные территории, которые представляют собой функциональный и структурный элемент экологического каркаса города [2–4]. В научной литературе достаточно широко используется термин «экологический каркас», однако на законодательном уровне Российской Федерации такой категории не существует, ввиду чего при градостроительном проектировании и благоустройстве городских территорий основной акцент сосредоточен на понятии «зеленые насаждения», которое не учитывает эмерджентные свойства городского экологического каркаса, заключающиеся в целостности, связности и иерархичности компонентов окружающей природной среды, которые обеспечивают стабилизацию городской среды [5; 6]. Создание сбалансированной системы экологического каркаса способно обеспечить устойчивость урбанизированных территорий и создать благоприятные условия жизни городского населения [7].

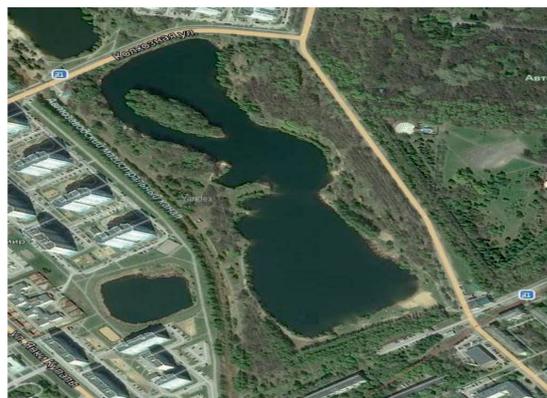
Целью исследования явилась оценка современного состояния и разработка проекта благоустройства прилегающей территории у озера Парковое первой очереди Автозаводского района г. Нижнего Новгорода на основе принципов ландшафтно-экологического проектирования, анализа структуры и функциональных особенностей экологического каркаса городских территорий, оценки экологического состояния основных природных компонентов экосистемы в условиях урбанизированной среды.

#### **Материалы и методы исследования**

В соответствии с научно-теоретическими основами экологического проекти-

рования при планировании и организации городских территорий необходимо руководствоваться принципами геоэкологического и ландшафтного планирования, которые обеспечивают оптимизацию и гармонизацию отношений между человеком и природой в условиях городской среды. Основная цель ландшафтно-экологического проектирования состоит в формировании благоприятной среды жизни для человека с сохранением основных функций природных ландшафтов. Учет природных и социально-экономических функций ландшафта обеспечивает создание максимально комфортной и благоприятной среды в условиях города [8]. Путем реализации природных функций формируются среда обитания живых организмов, стабильность гидрологического режима и оптимальные показатели климатических условий. Социально-экономические функции проявляются посредством организации рекреационных и санитарно-защитных зон, создания эстетичного архитектурного облика городской территории.

Объектом исследования явилась территория парка Автозаводский в черте озера Парковое первой очереди. Автозаводский парк культуры и отдыха представляет собой ключевой узел общественно доступной территории исторического городского ландшафта Автозаводского района г. Нижнего Новгорода и является крупным функциональным элементом экологического каркаса города. Озеро Парковое находится в южной части Автозаводского парка и имеет искусственное происхождение. Расположение водоема представлено на рисунке.



*Озеро Парковое первой очереди  
в структуре Автозаводского парка  
(Google-карты: вид со спутника)*

Водная гладь озера занимает 8,9 га, что составляет более 41% площади южной ча-

сти территории парка. Берег озера достаточно сильно изрезан и обрывист. Дно водоема преимущественно песчаное, местами – глинистое, максимальная глубина водного объекта составляет 9 м. В летний период озеро практически не подвержено процессу эвтрофикации и является функционирующей территорией рекреации с зоной купания без элементов благоустройства. Травянистый покров территории у акватории достаточно сильно угнетен, а по всему периметру озера имеются многочисленные стихийные извилистые грунтовые дорожки, что отражает высокий уровень антропогенной нагрузки на данную территорию парка.

С северной стороны водоем граничит с проезжей частью, за которой располагается жилой комплекс. С южной стороны парка проходит железнодорожное полотно, отделяющее зеленые насаждения от жилых домов. Вдоль западной границы парка проходит дренажный канал, русло которого замусорено твердыми бытовыми отходами. Между каналом и озером имеются частично сохранившиеся посадки березы бородавчатой (*Betula pendula* Roth.) и липы мелколистной (*Tilia cordata* Mill.). За территорией парка в этом направлении располагается многоэтажный жилой массив. С восточной стороны водного объекта озелененная территория представлена крупными древесными культурами: липой мелколистной (*Tilia cordata* Mill.), кленом остролистным (*Acer platanoides* L.), дубом черешчатым (*Quercus robur* L.) и сосной обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.). Основные зеленые насаждения парка заложены с 1945 по 1950 г., однако с течением времени планировочная структура парка регулярно изменялась, и состав зеленых насаждений расширялся [9]. Несмотря на то что для территории Нижнего Новгорода сформирована Программа развития парков и скверов на территории города [10], а также активно реализуется Программа по формированию комфортной городской среды, благоустройство территории Автозаводского парка в районе Паркового озера первой очереди не входит в перечень объектов данных концептуальных проектов и программ.

Отнесение зеленых насаждений на территории парка к той или иной категории жизненного состояния осуществлялось нами по модифицированной шкале В.А. Алексева. Ослабление состояния каждой древесной культуры на территории парка характеризовали на основании средневзвешенной величины оценок распреде-

ления запаса деревьев разных категорий состояния по формуле:

$$K_{cp} = \frac{P_1 \times K_1 + P_2 \times K_2 + P_3 \times K_3 + P_4 \times K_4 + P_5 \times K_5}{100},$$

где  $K_{cp}$  – средневзвешенная величина состояния породы;  $P_i$  – доля каждой категории состояния, %;  $K_i$  – индекс категории состояния дерева (1 – здоровое, 2 – ослабленное, 3 – сильно ослабленное, 4 – усыхающее, 5 – свежий сухостой).

### Результаты исследования и их обсуждение

Экологический каркас территории представляет собой совокупность природных комплексов, имеющих индивидуальный режим природопользования и образующих пространственно организованную инфраструктуру, которая обеспечивает экологическую устойчивость территории, предотвращая при этом деградиционные процессы ландшафта. Экологический каркас города имеет свою структурную организацию, элементы которой выполняют определенную функциональную роль, заключающуюся в установлении взаимосвязи между естественными (природными) и антропогенными процессами. Крупные парки и лесопарки формируют ядро экологического каркаса, определяющее устойчивость всей урбоэкосистемы. Экологический каркас города выполняет широкий спектр функций, от которых зависит формирование благоприятной городской среды. Наиболее важной является средообразующая функция, смысл которой сводится к организации среды обитания для существования всех живых организмов. Природоохранная функция реализуется посредством охраны биоразнообразия, что в свою очередь определяет степень устойчивости природных компонентов к антропогенному воздействию. Выполнение функции рекреации связано с возможностью использования отдельных элементов экологического каркаса для отдыха городского населения.

В настоящее время парк Автозаводского района является историческим центром притяжения граждан, имеет культурно-рекреационное назначение и представляет собой памятник ландшафтной архитектуры. За время существования парка управление, обеспечивающее материально-техническое и культурное развитие территории, многократно изменялось, результатом чего явилось сокращение площади озелененных территорий, утрата малых архитектурных

форм, нарушение дорожно-тропиночной сети. Уплотнительная застройка жилого сектора вокруг парка и отсутствие должного контроля за содержанием парковой территории привели к утрате исходной концепции Парка Автозаводского района и спровоцировали высокий уровень антропогенной нагрузки на природные компоненты всего парка. Среди рядовых и аллейных посадок лиственных и хвойных, заложенных в 40–50-х гг., сохранилась значительная часть древесных культур. Актуальная информация о видовом составе и численности деревьев, а также распределении жизненного состояния каждой древесной культуры на территории, прилегающей к озеру, представлена в таблице.

(*Betula pendula* Roth.), возраст которых составляет 15 лет, имеют хороший внешний вид без признаков ослабления, таких экземпляров на исследуемой территории насчитывается 133 шт., или 6,6% от общего числа древесных культур. К категории сильно ослабленных принадлежит только ива серебристая (*Salix alba* L.), доля которой составляет 2,6%. Естественная растительность и почвенный покров прилегающей к озеру территории сильно изменены в результате воздействия антропогенного фактора. Таким образом, современное состояние парковой территории остро нуждается в благоустройстве.

С целью сохранения и усиления функционального назначения и полезных свойств

Породный состав и категории жизненного состояния древесных культур на прилегающей территории у озера Парковое первой очереди Автозаводского парка г. Н. Новгорода

Порода (наименование древесной культуры)	Кол-во, шт.	Доля, %	Категория			К ср.
			1	2	3	
Клен ясенелистный ( <i>Acer negundo</i> L.)	249	12,4	–	249	–	2,0
Береза бородавчатая ( <i>Betula pendula</i> Roth.)	957	47,5	133	824	–	1,8
Дуб черешчатый ( <i>Quercus robur</i> L.)	4	0,2	–	4	–	2,0
Тополь серебристый ( <i>Populus alba</i> L.)	89	4,4	–	89	–	2,0
Тополь бальзамический ( <i>Populus balsamifera</i> L.)	76	3,8	–	76	–	2,0
Клен остролистный ( <i>Acer platanoides</i> L.)	209	10,4	–	209	–	2,0
Вяз гладкий ( <i>Ulmus laevis</i> Pall.)	350	17,3	–	350	–	2,0
Сосна обыкновенная ( <i>Pinus sylvestris</i> L.)	19	0,9	–	19	–	2,0
Липа мелколистная ( <i>Tilia cordata</i> Mill.)	10	0,5	–	10	–	2,0
Ива серебристая ( <i>Salix alba</i> L.)	52	2,6	–	–	52	3,0
Итого	2015	100	133	1830	52	1,9

Примечание: 1 – без признаков ослабления; 2 – ослабленные; 3 – сильно ослабленные.

Чуть менее половины всех исследуемых деревьев составляет береза бородавчатая (*Betula pendula* Roth.) – 47,5%. Субдоминантами можно назвать вяз гладкий (*Ulmus laevis* Pall.), клен ясенелистный (*Acer negundo* L.) и клен остролистный (*Acer platanoides* L.), все остальные древесные культуры представлены небольшим числом. Наименьшую долю составляет дуб черешчатый (*Quercus robur* L.) и липа мелколистная (*Tilia cordata* Mill.). Несмотря на значительное число древесных культур, их жизненное состояние в настоящее время относится к категории «ослабленные».

Значительное преобладание в составе древостоя ослабленных форм деревьев обусловлено возрастом древесных пород, доля их в общем составе древесных культур составляет 90,8%, или 1830 шт. Зеленые насаждения березы бородавчатой

насаждений, а также формирования комфортных условий среды необходимо в первую очередь осуществить реконструкцию объектов ландшафтной архитектуры. Проектом благоустройства предполагается дополнительное озеленение территории. Так, по границе с проезжей частью (ул. Колхозная) будет сформирована рядовая посадка липы крупнолистной (*Tilia platyphyllos* Scop.), поскольку она обладает достаточным ежегодным приростом и устойчивостью к агрессивным факторам среды. Для усиления поглотительного эффекта посадка липы будет дополнена живой изгородью из сирени венгерской (*Syringa josikaea* Jacq.). По западной границе территории парка будут высажены древесные культуры сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.), способные обеспечить создание прекрасного зеленого массива с фитон-

цидными свойствами. Дренажный канал в парке следует разделить от зоны отдыха зелеными насаждениями туи западной (*Thuja occidentalis* Smaragd), которая, кроме эстетических функций, отличается рядом функциональных и защитных свойств – способна защищать воздух от сажи и пылевых частиц, поглощать шум, сдерживать порывы ветра. С южной стороны озера, за территорией пляжа, вдоль существующей аллеи в соответствии с проектом благоустройства предусмотрено создание живой изгороди из можжевельника обыкновенного (*Juniperus communis* L.), что позволит изолировать пляжную зону от автомобильной парковки.

Сохранение, реабилитация и интенсификация использования существующей территории парка в черте озера Парковое первой очереди по функциональному назначению входят в основные задачи проекта благоустройства территории Автозаводского парка. Проектом предусмотрено функциональное зонирование парка на несколько основных компонентов с учетом рекреационного назначения территории, являющейся ядром экологического каркаса в Автозаводском районе г. Нижнего Новгорода. Основную рекреационную функцию выполняет озеро Парковое первой очереди, на южном берегу которого в настоящее время имеется необустроенный песчаный пляж. Выравнивание дна, очистка ложа водоема от иловых масс, берегоукрепление, создание пологого берега и небольшая его крутизна позволят создать необходимые условия для организации купания и принятия солнечных ванн. На пляже предусмотрена установка кабинок для переодевания, спасательной вышки и лежаков для принятия солнечных ванн. Кроме организации благоустроенной пляжной зоны, будут созданы детская площадка, спортивная площадка и остров в северной части озера. У пляжа, детской и спортивной площадки будут расположены парковочные зоны для велосипедов. По всему периметру дорожно-тропиночной сети парка предполагается разместить лавочки и освещение, а с целью соблюдения санитарно-гигиенических норм необходимо организовать установку урн и нескольких биотуалетов как на территории парковой зоны, так и на пляже. Кроме того, в пляжной зоне проектом благоустройства предусмотрена установка спасательной вышки и кабинок для переодевания. Береговая линия озера с западной и восточной стороны будет соедине-

на мостами через остров, на территории которого возможна установка арт-объекта и организация цветников. Детскую и спортивную площадки предполагается разместить в юго-восточной части береговой линии акватории на удалении друг от друга. Проектируемые площадки в соответствии с функциональным назначением будут оснащены необходимыми спортивными снарядами и тренажерами, а также игровыми комплексами для детей разных возрастов. Покрытие площадок следует выполнить из резиновой крошки, которая обеспечит отвод влаги в подстилающие слои, что обеспечит посещение данных площадок в любую погоду в период с весны и до глубокой осени. Каждая проектируемая площадка по периметру с целью защиты от ультрафиолетовых лучей и создания комфортного микроклимата будет озеленена: спортивная – кленом остролистным (*Acer platanoides* L.), а детская – пузыреплодником калинолистным (*Physocarpus opulifolius* Luteus).

Все проектируемые зоны территории у озера Парковое первой очереди будут соединены между собой дорожно-тропиночной сетью. Новые тротуарные и велосипедные дорожки позволят горожанам оптимально перемещаться по территории парка. Мощные тротуарные дорожки предполагается выполнить из натурального материала – шпунтовой деревянной доски, а для велосипедной дорожки в качестве твердого покрытия выбрана газонная перфорированная плитка, которая обеспечит увеличение площади зеленой почвопокровной фитомассы.

Проектом предусмотрено, что прилегающая к озеру Парковое территория в результате благоустройства будет представлять собой элемент искусственного фонда экологического каркаса г. Нижнего Новгорода. Учитывая тот факт, что в настоящее время территория Автозаводского парка остро нуждается в реконструкции и благоустройстве, а кроме того, отделена от других крупных озелененных территорий общего пользования города, следует предусмотреть создание линейных элементов, которые обеспечат включение парковой территории в экологический каркас города. Зеленые насаждения предполагается разместить вдоль основных магистралей, позволяющих соединить все крупные парки Автозаводского и Ленинского районов, а также выйти за черты города в лесопарковые зоны, где формируется зеленое кольцо пригородных лесов.

### Выводы

Озеро Парковое первой очереди и прилегающая к нему озелененная территория, входящие в состав Автозаводского парка, представляют собой структурно-функциональный элемент экологического каркаса г. Нижнего Новгорода. Территория у озера и само озеро является востребованным рекреационным объектом, однако антропогенная нагрузка на данную территорию в настоящее время чрезвычайно велика, о чем свидетельствует вытоптанность растительного покрова, значительное число грунтовых дорожек вокруг озера и общая захламленность территории бытовыми и прочими отходами. Все сохранившиеся на сегодняшний день зеленые насаждения более чем на 90% представлены древостоем, находящимся в «ослабленном» жизненном состоянии. Основную долю древесных культур на территории озера составляет береза бородавчатая (*Betula pendula* Roth.), пыльца которой является сильным аллергеном, что с неблагоприятной стороны характеризует рекреационный потенциал территории парка. Проект реконструкции прилегающей территории к озеру предполагает создание благоустроенных озелененных зон и площадок, обеспечивающих комфортную среду для отдыха горожан, а также формирование современной пляжной зоны, отвечающей санитарно-гигиеническим требованиям. Благоустройство территории у озера Парковое первой очереди не только позволит создать зону ежедневной рекреации жителей автозавода, сохранив при этом основные аутентичные черты городской территории, исторические аспекты и особенности, но и оптимизирует состояние озера Парковое и прилегающей территории как структурного элемента экологического каркаса города Нижнего Новгорода.

### Список литературы

1. Лыжин С.М., Ленский С.В. Агрессивное уплотнение крупнейших городов (на примере Екатеринбурга) // Академический вестник Уралниипроект РААСН. 2008. № 1. С. 90–92.
2. Карташова Н.П., Селиванова А.С., Молодых М.С. Ландшафтные приемы создания городской системы озеленения // Лесотехнический журнал. 2018. № 2. С. 122–131. DOI: 10.12737/article\_5b24060f315680.70076881.
3. Котлярова Е.В. Научная концепция проектирования «зеленого каркаса» в городской среде как основа обеспечения экологической безопасности и устойчивого развития урбанизированных территорий // Экономика строительства и природопользования. 2018. № 2 (67). С. 73–79.
4. Козлов А.В., Медведева Е.Б. Оценка обеспеченности горожан озелененными территориями в условиях современного развития города Нижнего Новгорода // Приволжский научный вестник. 2015. № 12 (1)–52. С. 15–18.
5. Пономарев А.А., Байбаков Э.И., Рубцов В.А. Экологический каркас: анализ понятий // Ученые записки Казанского университета. Серия: Естественные науки. 2012. Т. 154. № 3. С. 228–238.
6. Климанова О.А., Колбовский Е.Ю., Илларионова О.А. Экологический каркас крупнейших городов Российской Федерации: современная структура, территориальное планирование и проблемы развития // Вестник Санкт-Петербургского университета. Науки о Земле. 2018. Т. 63. Вып. 2. С. 127–146. DOI: 10.21638/11701/spbu07.2018.201.
7. Копосова Н.Н., Шайбекова М.Р. Проектирование парка «Мещерское озеро» как структурного элемента экологического каркаса города Нижнего Новгорода // Успехи современного естествознания. 2017. № 7. С. 81–85.
8. Дьяконов К.П. Экологическое проектирование и экспертиза. М.: Аспект Пресс, 2005. 384 с.
9. Воронина О.Н. Ландшафтная архитектура нижегородских парков. Н.Н.: Полиграфцентр ННГАСУ, 2013. 263 с.
10. Концепция программы развития парков и скверов Нижнего Новгорода. Н.Н.: ООО Архитектурно-ландшафтный центр «Архилэнд», 2016. 134 с.

УДК 504.03

## ОСОБЕННОСТИ СОЦИАЛЬНОЙ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ РЕКЛАМЫ КАК МЕХАНИЗМА ФОРМИРОВАНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ КУЛЬТУРЫ НАСЕЛЕНИЯ

<sup>1</sup>Волкова А.В., <sup>1</sup>Милованова А.Д., <sup>2</sup>Петрова Е.Н.

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный педагогический университет  
имени К. Минина», Нижний Новгород, e-mail: repulenko@mail.ru;

<sup>2</sup>ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет»,  
Нижний Новгород, e-mail: petrova-e1@yandex.ru

В статье рассмотрены основные особенности социальной экологической рекламы, изучено ее влияние на формирование экологической культуры населения. Показана важная роль экологической рекламы в привлечении населения к геоэкологическим проблемам, среди которых потепление климата, утилизация отходов, истощение природных ресурсов, перепотребление. Среди особенностей нами выявлены ориентация на все общество в целом, общедоступность для разных социальных групп, эмоциональность, направленность на осмысление поведенческих особенностей во взаимоотношениях с окружающей средой. При современном уровне развития Интернета для использования экологической рекламы появились новые возможности. Особенно успешно экологическая реклама задействована социальными группами, такая информация находит отклик не только у профессионалов. Экологическая информация в социальных группах популярна благодаря коммуникативным свойствам социальных групп, возможности непосредственного участия в дискуссиях, а также простому, популяризированному преподнесению информации, в отличие от профессиональных лекций и специфической литературы. Для ситуации, сложившейся в нашей стране с корреляцией законодательной и исполнительной власти, иногда только экологическая культура населения может повлиять на качество окружающей среды. Для ее формирования применяются много ресурсов, среди которых экологическая реклама. Об успешности и эффективности формирования экологической культуры можно судить по увеличивающемуся числу подписчиков социальных сетей, возрастающему количеству людей, посещающих экологические акции, сортирующих вторичное сырье. В статье также сделано предположение, что социальная экологическая реклама используется преимущественно общественными экологическими организациями, государство же, по мнению авторов статьи, применяет некоммерческую рекламу недостаточно, отводя экологической социальной рекламе при этом совсем небольшую роль. Для улучшения качества окружающей среды такую ситуацию необходимо исправить.

**Ключевые слова:** социальная экологическая реклама, геоэкологические проблемы, качество окружающей среды, социальная группа, экологическая культура

## FEATURE OF SOCIAL ECOLOGICAL ADVERTISING AS A MECHANISM FOR FORMING ECOLOGICAL CULTURE OF POPULATION

<sup>1</sup>Volkova A.V., <sup>1</sup>Milovanova A.D., <sup>2</sup>Petrova E.N.

<sup>1</sup>Kozma Minin Nizhny Novgorod State Pedagogical University, Nizhny Novgorod,  
e-mail: repulenko@mail.ru;

<sup>2</sup>Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering, Nizhny Novgorod,  
e-mail: petrova-e1@yandex.ru

The article considers the main features of social environmental advertising, the influence on the formation of the ecological culture of the population is studied. The article shows the important role of environmental advertising in attracting people to geo-environmental problems, including climate warming, waste management, exhaustion of natural resources, and overconsumption. Among the features we have identified orientation to the whole society as a whole, general accessibility for different social groups, emotionality, focus on understanding behavioral characteristics in relationships with the environment. With the current level of development of the Internet, new opportunities have appeared for using environmental advertising. Especially successfully environmental advertising is involved in social groups, such information is echoed not only by professionals. Environmental information in social groups is popular due to the communicative properties of social groups, the possibility of direct participation in discussions, as well as the simple, popularized presentation of information, in contrast to professional lectures and specific literature. For the situation in our country with the correlation of legislative and executive powers, sometimes only the ecological culture of the population can affect the quality of the environment. For its formation, many resources are used, including environmental advertising. Its success and the effectiveness of the formation of environmental culture can be judged by the increasing number of subscribers to social networks, the increasing number of people attending environmental events, sorting secondary raw materials. The article also suggests that social environmental advertising is used primarily by public environmental organizations, while the state, according to the authors of the article, does not use non-commercial advertising enough, assigning a very small role to environmental social advertising. To improve the quality of the environment, this situation needs to be fixed.

**Keywords:** social environmental advertising, geoeological problems, environmental quality, social group, environmental culture

На современную экологическую ситуацию в мире оказывает влияние множество факторов, среди которых особое значение

имеет экологическая культура населения. От уровня ее сформированности зависит эмоционально-ценностное отношение

к окружающей среде, в основе которого лежат экосообразные действия в интересах настоящего и будущих поколений.

Для формирования экологической культуры населения существуют разнообразные методы, среди которых система экологического образования на разных уровнях, система экологического законодательства в стране, экологическая политика государства, социальные мероприятия, проводимые экологическими общественными организациями, использование социальной экологической рекламы. Экологические организации применяют социальную рекламу для привлечения внимания населения к ряду геоэкологических проблем различного масштаба. Кроме того, экологическая социальная реклама может способствовать становлению экологического мышления, формированию коэволюционного мировоззрения.

Цель исследования заключается в изучении особенностей экологической рекламы как механизма повышения уровня экологических знаний у населения по основным геоэкологическим проблемам.

#### **Материалы и методы исследования**

Среди методов исследования особое внимание уделяется сравнительному, исследовательскому, описательному, аналитическому методам. Материалами для исследования послужили опубликованные исследования Федеральной службы государственной статистики, опубликованные отчеты некоммерческих экологических организаций, опубликованные рекламные проекты мировых, российских, региональных общественных экологических организаций.

#### **Результаты исследования и их обсуждение**

Общественная реклама представляется одним из видов некоммерческой рекламы. Информация в ней направлена на пробуждение различного рода эмоций в человеке, на привлечение внимания к локальным или региональным экологическим ситуациям, на популяризацию научных данных о глобальных геоэкологических проблемах.

Социальная экологическая реклама отличается от всех коммерческих видов рекламы тем, что не связана с продажами товаров или услуг, а направлена на информирование общества о каких-либо проблемах. Часто экологическая реклама обращается к образу семьи, поскольку семейные традиции – это вечные ценности, принимаемые боль-

шинством различных социальных групп населения. Коммерческая реклама нацелена на продажу товара, где обращение к семейным ценностям и искренним эмоциям имеет манипулирующую функцию, вызывает интерес к товару, доверие, а следовательно, пробуждает желание приобрести этот товар, что в конечном итоге увеличивает прибыль компаний. Социальная экологическая реклама тоже отчасти манипулирует подобными образами, но не в корыстных целях, в отличие от бизнеса, а для привлечения внимания населения, усиления психологического эффекта, осмысления своих действий, направленных на взаимоотношение с окружающей средой [1].

В настоящее время многие задумываются о качестве окружающей среды, геоэкологических проблемах. Вследствие процессов глобализации и ускоряющихся темпов технологического развития меняется облик нашей планеты. Быстрыми темпами возрастает антропогенная нагрузка на биосферу, приводя к серьезным последствиям, среди которых – деградация состояния окружающей среды и неблагоприятные изменения в общественной жизни [2]. Человечество не может существовать без природных благ, необходимых для его жизнедеятельности. Постоянно возрастающие темпы потребительского отношения к природе превосходят ее возможности самовосстановления.

Жесткая политика государства, взаимодействие законодательной и исполнительной власти, крупные штрафы приводят к улучшению качества окружающей среды, подтверждающим примером этого является государство Сингапур. В России подобная практика пока не применяется. В сложившейся ситуации наиболее продуктивным является формирование экологической культуры, с помощью только экономических мер и государственного регулирования справиться с экологическим кризисом довольно сложно. При сформированности экологически обдуманного поведения у населения необходимость жестких штрафов заметно снижается.

С распространением технического прогресса у человечества возникла возможность распространять информацию посредством мировой сети Интернет из любой точки планеты, находясь на территории любого государства, несмотря на уровень его социально-экономического развития. Это позволило намного быстрее вносить любую информацию в массы и получать от пользователей обратную связь. В своей

статье «Модульная социальная экологическая реклама в сети Интернет» исследователь Н.А. Гудзь отмечает потенциальные возможности Интернета, которые значительно больше, чем у других способов передачи информации. Это происходит благодаря интерактивным свойствам, гибкости и глобальности распространения [3]. Этот потенциал также подтверждается данными статистических исследований, в которых отмечается, что наиболее востребованным вариантом использования сети Интернет для россиян являются социальные сети, в которых свое время проводят 78% опрошенных [4]. Вследствие этого большее внимание в распространении социальной экологической рекламы стоит уделить социальным сетям. Они популярны у населения, обладают определенным влиянием на массы, пользователи в них могут не просто видеть полезную информацию, но и обмениваться мнением, общаться, участвовать в дискуссиях, пользуясь широкими коммуникационными возможностями.

Лидерами среди заказчиков экологической социальной рекламы являются международная экологическая ассоциация «Greenpeace» и международная общественная организация «Всемирный фонд дикой природы», разнообразие методов визуализации, форм и стратегий, продвижения своей рекламы которых не могут оставить без внимания не только общественность, но и эксперты в сфере экологического просвещения.

Авторами были проанализированы геоэкологические проблемы, к которым «Greenpeace» привлекает внимание населения, и способы преподнесения информации, которые при этом используются (табл. 1).

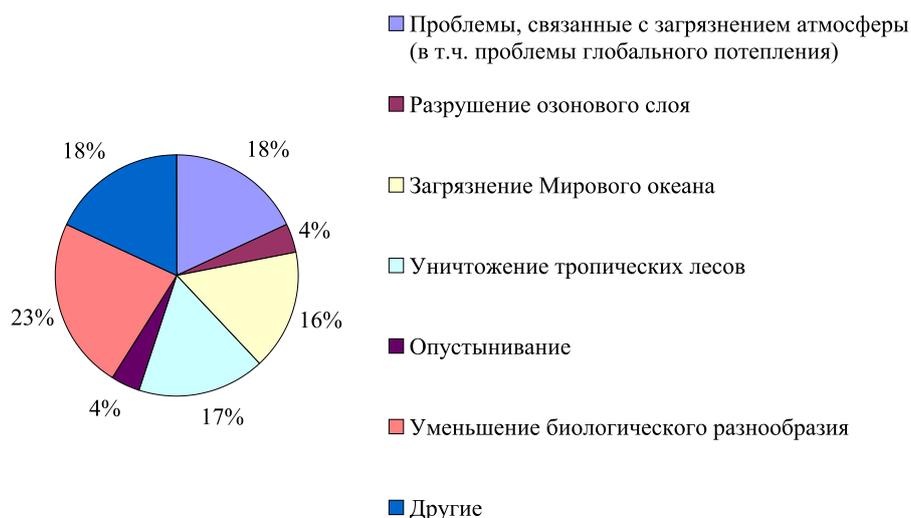
Проанализировав информацию, можно отметить, что для различных геоэкологических проблем представители «Greenpeace» выбирают определенные способы подачи информации, которые наиболее оптимальны, по их мнению, для восприятия населением. Так, самые жесткие, негативные образы используются для привлечения внимания к тем глобальным проблемам, которые вызваны прямым антропогенным воздействием, приводящим к быстрой гибели животных и растений. Среди них загрязнение Мирового океана, уничтожение тропических лесов. Экологические проблемы, имеющие отложенное действие, представляются в основном через футуристические модели будущего.

Изучив частоту упоминания различных геоэкологических проблем в рекламных проектах некоммерческой организации «Greenpeace», можно прийти к следующим выводам. Наиболее часто организация обращается к таким проблемам, как уменьшение биологического разнообразия, уничтожение тропических лесов, загрязнение Мирового океана, чуть реже – к проблемам глобального потепления климата и загрязнения атмосферного воздуха, к истощению природных ресурсов (рисунки).

**Таблица 1**

Анализ использования различных видов социальной рекламы организацией «Greenpeace» по наиболее важным геоэкологическим проблемам

Геоэкологическая проблема	Используемые средства и образы
Разрушение озонового слоя	Информация о негативном воздействии аэрозолей на озоновый слой представляется через ассоциативные образы
Глобальное потепление	При создании рекламных образов применяются негативные образы антропогенного воздействия на окружающую среду, наиболее часто – урбанизированных территорий и крупных промышленных объектов
Загрязнение Мирового океана	Особенностями рекламы являются обращения к чувствам населения, в основном через негативные образы. Целью применения таких образов служат сильные эмоции, способствующие изменению мировоззрения и поведения
Уменьшение биологического разнообразия	Создается единый образ человека и живой природы для достижения гармонии с ней, происходит обращение к истокам человечества
Уничтожение тропических лесов	Для привлечения внимания и объединения усилий общества по решению проблемы обезлесения часто используется обезличенное «мы». Применяются жестокие образы для эмоциональной реакции населения
Опустынивание	Используются образы футуристических моделей мира с целью обращения внимания на существующую проблему



*Соотношение различных видов геоэкологических проблем в общем количестве социальной рекламы «Greenpeace»*

Значимой геоэкологической проблемой также является проблема утилизации и переработки отходов, которая оказывает большое влияние на многие сферы жизни общества и состояние экосистемы в целом. Помимо отторжения все больших территорий для складирования отходов, существует также опасность накопления парниковых газов, вызывающих потепление климата. Это глобальная геоэкологическая проблема, которая объединяет все государства для поиска путей решения. Один из эффективных способов решения – приобщение населения к экологической культуре.

Попытку решения проблемы утилизации отходов можно проиллюстрировать на примере Нижегородской области, где существует большое количество экологических общественных организаций, ведущих в социальных сетях свои коммуникационные страницы. Среди них «Изменим мир», «Нижний Новгород – экологическая столица», «РазДельно», «42 – я имею право!» и многие другие. У каждой группы своя специфика, но все они преимущественно направлены на повышение правовой грамотности населения, формирование навыков экологически обдуманного поведения, приобщение к разделному сбору коммунальных отходов, отказу от перепотребления, решению глобальных геоэкологических проблем посредством гуманного отношения к окружающей среде.

Так, активисты движения экологической общественной организации «Изменим мир» посредством кампании «РазДельно»

несколько лет пропагандируют эффективность раздельного сбора отходов для сохранения окружающей природной среды, привлекая население разных возрастных групп. Волонтеры организации проводят ежемесячные акции во всех районах г. Нижнего Новгорода и в других городах области по сбору вторичного сырья, напрямую сотрудничая с фирмами-переработчиками [5].

Для привлечения внимания аудитории к такой геоэкологической проблеме, как утилизация и переработка коммунальных отходов, используются следующие ресурсы: размещение материалов интервью с ведущими экологами области, проведение фестивалей документальных фильмов, акций по приему вторсырья, размещение социальной экологической рекламы.

Можно выделить несколько уровней эффективности экологической рекламы. На начальном уровне происходит привлечение внимания населения к проблеме, на последующем – принятие, усвоение информации. Максимальный эффект наблюдается при формировании новых убеждений, изменении общественного мнения по какому-либо явлению, процессу, экологической проблеме. Исследовать результативность влияния экологической рекламы на формирование экологической культуры довольно сложно. Это осуществляется специалистами на государственном уровне посредством различных аналитических исследований, при проведении которых необходимо учитывать множество факторов.

**Таблица 2**

Итоги акций общественной организации «Изменим мир» по сбору вторичного сырья у населения в Нижегородской области (2019–2020 гг.)

Дата проведения акции	Количество точек сдачи вторсырья	Число добровольных помощников (человек)	Число участников в акции (человек)	Количество собранного вторсырья (кг)
Февраль 2019 г.	8	–	985	2536
Апрель 2019 г.	8	–	1010	2631,8
Август 2019 г.	9	–	1163	4385,9
Сентябрь 2019 г.	9	–	1056	3082,8
Октябрь 2019 г.	9	72	1501	3621
Ноябрь 2019 г.	10	119	1475	5216
Январь 2020 г.	11	126	1523	4404,8
Февраль 2020 г.	11	124	1455	4348,8

В более узком смысле об эффективности экологической рекламы в социальных сетях Нижегородской области можно судить по постоянно увеличивающемуся количеству подписчиков, возрастающему числу участников акций «РазДельно» для сбора вторичного сырья, а также расширяющейся географии подобных акций по городам области, появлению новых сервисов по совместному потреблению и повторному использованию, увеличению популярности таких сервисов среди населения.

Так, например, в организации «РазДельно» ведется статистика изменений доли подписчиков. В апреле 2018 г. в их группе было 3 000 подписчиков, в июле 2019 г. – 6 000 человек, в мае 2020 г. – более 8 000 граждан Нижегородской области. Ежегодное увеличение людей, состоящих в группе, заботящихся о состоянии окружающей среды, вызвано продуманной работой команды, успешной экологической рекламой.

Об успешности экологического просвещения также свидетельствуют статистические данные посещения акций по приему вторичного сырья (табл. 2).

Исходя из приведенных данных можно отметить, что происходит постоянное увеличение населения, участвующего в сдаче твердых коммунальных отходов для переработки, растет количество волонтеров. Так, при становлении проекта на каждой точке приема вторсырья было достаточно 3–4 человек, курирующих процесс приема, сейчас число волонтеров на некоторых пунктах достигает 18 человек. Продолжает увеличиваться и количество вторсырья, принесенного для переработки.

### Выводы

В процессе создания проекта социальной рекламы важно учитывать множество факторов, среди которых – особенности восприятия рекламы разными группами населения, особенности менталитета жителей страны и иные, делать акцент на деталях с учетом анализа психологических установок, использовать методы убеждения и внушения. Наиболее эффективно социальная реклама воспринимается при использовании необычных форм и новых подходов к воздействию на подсознание.

Общественные экологические организации для привлечения внимания к экологическим проблемам все больше используют возможности социальных сетей, поскольку они обладают рядом функций, позволяющих оказывать наиболее сильное воздействие на население.

На современном этапе развития экологического просвещения назревает необходимость государственного содействия в создании и размещении экологической социальной рекламы, поскольку сейчас в ее формировании принимают участие только общественные экологические организации. При участии правительства от социальной рекламы можно было бы ожидать еще большего желаемого эффекта в сфере привлечения внимания к экологическим проблемам не только всего мира, но и к региональным, и местным локальным проблемам при участии регионального управления.

### Список литературы / References

1. Помникова А.Ю. Семейная история в дискурсивном пространстве // Вестник Мининского университета. 2019. Т. 7. № 1. [Электронный ресурс]. URL: <https://>

vestnik.mininuniver.ru/jour/article/view/930 (дата обращения: 11.05.2020) DOI: 10.26795/2307-1281-2019-7-1-9.

Pomnikova A.Yu. Family stories in different types of discourse // Vestnik of Minin University. 2019. Vol. 7. № 1. [Electronic resource]. URL: <https://vestnik.mininuniver.ru/jour/article/view/930> (date of access: 11.05.2020) (in Russian).

2. Голубев Г.Н. Основы геоэкологии: учебник. 2-е изд. М.: Кнорус, 2013. 352 с.

Golubev G.N. Fundamentals of geoecology: a textbook. 2 ed. M.: Knorus, 2013. 352 p. (in Russian).

3. Гудзь Н.А. Модульная социальная экологическая реклама в сети Интернет // Universum: Филология и искусствоведение. 2014. № 2 (4). [Электронный ресурс]. URL: <http://7universum.com/ru/philology/archive/item/1007> (дата обращения: 19.05.2020).

Gudz N.A. Modular social environmental advertising on the Internet // Universum: Philology and art history. 2014.

№ 2 (4). [Electronic resource]. URL: <http://7universum.com/ru/philology/archive/item/1007> (date of access: 19.05.2020) (in Russian).

4. Цифровая экономика: 2020: краткий статистический сборник. М.: НИУ ВШЭ, 2020. 112 с. [Электронный ресурс]. URL: <https://issek.hse.ru/mirror/pubs/share/323871553> (дата обращения 11.05.2020).

Digital economy: 2020: a brief statistical compilation. M.: NRS HSE, 2020. 112 p. [Electronic resource]. URL: <https://issek.hse.ru/mirror/pubs/share/323871553> (date of access: 15.05.2020) (in Russian).

5. Волкова А.В., Копосова Н.Н. Устойчивое развитие городов Нижегородской области // Успехи современного естествознания. 2019. № 5. С. 42–46.

Volkova A.V., Kuposova N.N. Sustainable development of cities of the Nizhny Novgorod region // Advances in current natural sciences. 2019. № 5. P. 42–46 (in Russian).

УДК 504:338.48(497.11)

**ТУРИСТСКО-РЕКРЕАЦИОННЫЙ КОМПЛЕКС РЕСПУБЛИКИ СЕРБИЯ****Волкова Т.А., Рыжволова Э.А.***ФГБОУ ВО «Кубанский государственный университет», Краснодар, e-mail: mist-next4@inbox.ru*

Развитие туристско-рекреационного комплекса в Республике Сербия происходило неравномерно, страна сталкивалась и продолжает сталкиваться с большими трудностями в организации туризма. В целом страна недооценена на международном рынке туризма, однако у нее есть ресурсная база для развития и создания здесь качественного туристского предложения. На данный момент в русскоязычной литературе не хватает полного и современного исследования туристско-рекреационного комплекса Сербии. Целью исследования был анализ современных особенностей развития туристско-рекреационного комплекса Республики Сербия. В процессе исследования рассмотрены ресурсная база, нормативно-правовые основы развития туризма в республике, проанализированы статистические данные относительно основных индикаторов развития туризма. Ландшафты Сербии разнообразны, здесь есть огромный потенциал для развития разных видов туризма в особенности сельского и зимнего, но слабая развитость инфраструктуры, недостаточное финансирование, отсутствие квалифицированных кадров сдерживают это развитие. В Республике имеются следующие основные проблемы, препятствующие устойчивому развитию туризма: недостаточное развитие туристических предложений и недостаточное участие туристических агентств в продвижении и продаже продукции туризма, проблемы высокой сезонности, отсутствие международных стандартов и гарантий качества во всем секторе туризма, особенно в случае гостиничных услуг, несбалансированное соотношение цены и качества, устаревшая инфраструктура. Туризм в Сербии активно развивается и имеет значительные перспективы развития, страна имеет свою стратегию развития туризма (2016–2025 гг.). В качестве приоритетных направлений в развитии туризма до 2021 г. были выбраны: бизнес-туризм, СПА и оздоровительный туризм, горный туризм, экскурсионно-познавательный туризм.

**Ключевые слова:** туризм, туристско-рекреационный комплекс, Республика Сербия, туристско-рекреационные ресурсы, средства размещения, география туризма

**TOURIST AND RECREATION COMPLEX OF THE REPUBLIC OF SERBIA****Volkova T.A., Ryzhivolova E.A.***Kuban State University, Krasnodar, e-mail: mist-next4@inbox.ru*

The development of the tourist and recreational complex in the Republic of Serbia was uneven, the country has encountered and continues to face great difficulties in organizing tourism. In general, the country is underestimated in the international tourism market, however, it has a resource base for the development and creation of a high-quality tourist offer here. At the moment, Russian-language literature lacks a complete and modern study of the tourist and recreational complex of Serbia. The aim of the study was to analyze the current features of the development of the tourist and recreational complex of the Republic of Serbia. In the process of research, the resource base, the regulatory framework for the development of tourism in the republic were examined, statistical data on the main indicators of tourism development were analyzed. The landscapes of Serbia are diverse, there is enormous potential for the development of various types of tourism, especially rural and winter tourism, but poor infrastructure, insufficient funding, and the lack of qualified personnel are holding back this development. The Republic has the following main problems that impede the sustainable development of tourism: insufficient development of tourism offers and insufficient participation of travel agencies in the promotion and sale of tourism products, problems of high seasonality, lack of international standards and quality guarantees in the entire tourism sector, especially in the case of hotel services, unbalanced value for money, outdated infrastructure. As priority areas in the development of tourism until 2021 were selected: business tourism, SPA and health tourism, mountain tourism, sightseeing tourism.

**Keywords:** tourism, tourist and recreational complex, Republic of Serbia, tourist and recreational resources, accommodation facilities, tourism geography

Сербия как туристическое направление обладает огромными рекреационными, социально-культурными и культовыми ресурсами. Здесь есть потенциал для развития многих видов туризма, особенно страна нацелена на развитие сельского (аграрного), зимнего, экскурсионно-познавательного видов туризма. Все это во многом определяется географическим положением Сербии.

Развитие туристско-рекреационного комплекса (ТРК) в Республике Сербия происходило неравномерно, страна сталкивалась и продолжает сталкиваться с большими трудностями в организации туризма. В целом страна недооценена на междуна-

родном рынке туризма, так как у нее есть значительная ресурсная база для развития и создания здесь качественного туристского предложения. На данный момент в русскоязычной литературе не хватает полного и современного исследования туристско-рекреационного комплекса Сербии. Целью исследования был анализ современных особенностей развития ТРК Республики Сербия.

**Материалы и методы исследования**

Базой исследования послужили статистические данные на сербском и английском языках, нормативно-правовые акты

Республики Сербия, научные статьи, материалы научно-практических конференций. Анализ проводился с применением системного подхода и с использованием общегеографических методов.

### Результаты исследования и их обсуждение

Основой функционирования туристской отрасли в организационном плане является нормативно-правовая база. На международном уровне Сербия привела свое законодательство в соответствие с нормативными актами ЕС, Директивой 2015/2302 и Директивой 2006/123 о туристских услугах на внутреннем рынке. Действующее национальное законодательство выделяет следующие группы официальных документов в этой области: законы (9), пространственно-планировочные документы (36), стратегии (5), генеральные планы (18), своды правил.

Туристскую сферу Сербии сегодня регулируют следующие законы:

1. «Закон о туризме» (OG RS, № 36/09 и др.).
2. «Закон о курортах» (OG RS, № 80/92, 67/93).
3. «Общественные горнолыжные курорты» (OG RS, № 46/06).
4. «Особые обычаи в туризме» (OG RS, № 33/01).
5. «Закон о финансировании местного самоуправления» (OG RS, № 62/06 и др.) [1].

Закон о туризме Республики Сербия определяет условия и способ планирования и развития туризма; туристические организации для продвижения туризма; туристические агентства; общественное питание, морские и охотничьи мероприятия; услуги, налоги и штрафы в туризме; создание и ведение Реестра туризма; и др. вопросы, важные для развития и совершенствования туризма. Этот закон позволил принять Стратегию развития туризма, которые определяют долгосрочные цели планирования и развития туризма в соответствии с общим экономическим, социальным, экологическим и культурно-историческим развитием (самое короткое в течение пятилетнего периода). В этих документах выделены ключевые туристические продукты: городской отдых, MICE +, деловой туризм, гастроли, морской туризм (круиз); туризм, представляющий особый интерес (сельский и транзитный туризм, оздоровительный/рекреационный туризм (горы, озера, охота и рыбалка) и оздоровительный/медицинский туризм (СПА и оздоровление). Закон сделал возможным

провозглашение и устойчивое использование туристических зон в соответствии с Законом об охране природы (OG РС, № 36/09, 88/10, 14/16) и Национальной стратегией устойчивого развития (OG РС, № 57/08). Была введена категоризация туристических сайтов. Она основана на количественных (туристический оборот) и качественных критериях (полезность, транспорт, туристическая инфраструктура и надстройка). Были выделены четыре категории туристических центров:

1. Белград, Нови Сад, Ниш, Курорт Врнячка Баня, Златибор.
2. Аранжеловац, Вршац, Крушевац, Сремски Карловцы.
3. Сомбор, Ада, Канджиза.
4. Кучево.

Закон регулирует создание туристических организаций на национальном уровне (TOS), региональном (Туристическая организация Воеводина и Регион Западной Сербии) и местном уровне (единицы местного самоуправления), а также формирование туристических кластеров (Воеводина, Белград, Западная Сербия с Косово и Метохией и Восточная Сербия). Бизнес туристических агентств и туроператоров был согласован (права и обязанности, лицензирование и т.д.). Были определены услуги туристической профессии (туристический гид, эскорт, аниматор и представитель в пункте назначения).

Ряд документов по пространственному планированию был принят на национальном (1), региональном (10) и местном (174 города и муниципалитета) уровнях. Региональные планы включают 29 административных районов Сербии. Кроме того, была принята целая серия из 26 пространственных планов для районов специального назначения (охраняемых и туристических зон) (данные на конец 2018 г.). В соответствии с Законом о туризме были приняты две стратегии развития туризма (2005–2015 гг. и 2016–2025 гг.). С 2006 по 2011 г. было разработано 18 генеральных планов для приоритетных туристических направлений. В Стратегии развития туризма Республики Сербия на 2016–2025 гг., принятой Правительством Республики Сербия в ноябре 2016 г., определяется видение туризма в Сербии, а также цели и модели развития туризма в Сербии на период с 2016 по 2025 г. следующим образом:

1. В 2025 г. Республика Сербия станет всемирно признанным туристическим направлением в результате сложившейся

системы развития и устойчивого управления ресурсами и координации деятельности всех субъектов, важных для развития туризма.

2. Туризм и связанные с ним виды деятельности станут одной из доминирующих отраслей, которая эффективно обеспечивает новую добавленную стоимость и устойчивую занятость и вносит значительный вклад в местное и региональное развитие.

3. Туристический сектор Республики Сербия сможет эффективно и гибко согласовывать свое предложение с современными тенденциями на мировом туристическом рынке и предлагать подлинные впечатления, опыт и высококачественные продукты, которые наряду с традиционным гостеприимством станут основой признания в отношении конкуренции.

4. Туризм станет ведущим каналом продвижения имиджа Республики Сербия в мире как для посещения и отдыха, так и для деловых поездок.

5. С его постоянной модернизацией и принятием глобальных стандартов и моделей бизнеса и управления туризм станет желанным сектором для занятости и карьерного роста, особенно для молодежи.

6. Республика Сербия станет высокопоставленным и популярным местом назначения в мировом масштабе конкурентоспособности туризма (Стратегия развития туризма Республики Сербия на 2016–2025 гг.) [2].

Также был создан реестр туризма. Он ведет учет агентств – организаторов путешествий и посреднических агентств, а также всех других, связанных с сектором туризма и гостеприимства. Одним из инновационных решений в сфере развития туристической отрасли в Сербии стало решение Правительства об организации программ по субсидированию и поддержанию туристических объектов и услуг с учетом социальной составляющей. Правительство Сербии 18 июня 2015 г. приняло Постановление об условиях и порядке распределения и использования средств для развития внутреннего туризма за счет использования туристических услуг в Республике Сербии. В соответствии с данным постановлением Правительством выделено 5 млн евро на поддержку внутреннего туризма.

Кроме того, в рамках реализации Стратегии в целях продвижения туристического продукта проводятся различные мероприятия, в том числе спортивно-развлекательные (например, популярный в настоящее время Международный марафон, прохо-

дящий в различных европейских городах), проведение национальных праздников, дней сбора урожая, различных музыкальных, театральных, литературных, художественных мероприятий и кинофестивалей. Международная выставка туризма в Белграде является важным событием в туристической Юго-Восточной Европы, определяющим вектор развития отрасли, и высоко оценивается международным сообществом.

Все вышеперечисленные законодательные акты выступают двигателем развития туристической отрасли. Закон о туризме играет наиболее важную роль в регулировании туризма в Сербии. Здесь были определены обязанности туристических организаций, а также права и обязанности туроператоров и агентств. Важнейшим вкладом закона является создание Реестра туризма как инструмента для объединения всех заинтересованных сторон в сфере путешествий и туризма. Среди недостатков закона наиболее важным является высокий процент «серой» экономики и нерациональное управление целевым продуктом.

Страна обладает красивыми и разнообразными ландшафтами. Природные красоты, климатические условия, термоминеральные воды, пещеры, геоморфологические объекты, флора и фауна – предпосылки, которые являются основой для развития туризма на данной территории. В то же время наряду с обилием архитектурных, природных и водных ресурсов, культурно-историческое наследие этого региона представляет собой бесценное сокровище. Многочисленные археологические памятники и места были обнаружены в ходе систематических исследований в течение нескольких десятилетий.

На территории республики множество (более 50) курортных и климатических объектов и более 1000 источников, месторождения природных минеральных газов и лечебных грязей. Здесь существуют значительные предпосылки для развития лечебного и оздоровительного туризма [3]. Именно поэтому Сербию называют «государством курортов». В последние годы много было сделано для модернизации этого туристического продукта, и, кроме того, этот продукт по-прежнему ориентирован на внутренний спрос, учитывая, что на курортах Республики Сербия только около 20% иностранных туристов.

Зимой в Сербии работают 26 горнолыжных курортов. Горнолыжный курорт Копачица на высоте 1700 м является самым

популярным и остается открытым после таяния снега, привлекая любителей активного отдыха, чтобы исследовать национальный парк пешком или на горном велосипеде [4].

Особо охраняемые природные территории, входящие в национальный реестр Сербии, занимают более 6% площади республики. К ним относятся районы различного природоохранного статуса (Закон об охране природы, РС № 36/2009 и 88/2010): Строгий природный заповедник (4), Специальный природный заповедник (18), Национальный парк (5), Природный памятник (289), Природный парк (9). Важной особенностью охраны природы в Республике Сербия является возрастающая роль концепции экологической сети, широко применяемой в странах ЕС [5]. По данным Института охраны природы, Сербия располагает 1106 природными объектами, которые относятся к охраняемому природному наследию. В настоящее время 64 памятника природы геологического наследия и 225 памятников ботанического наследия (в основном редкие деревья) находятся в Сербии. Некоторые из наиболее известных памятников геологического наследия: Resavska пещера, г. Дьявола, Мраморная пещера и Ругова Каньон. В Белграде находится около 300 памятников культуры, из которых 57 памятников исключительной и большой важности и 37 природных охраняемых территорий [6]. Действуют пять национальных парков, находящихся под защитой государства: Копаноник (11 810 га), Тара (22 000 га), Шар-Планина (39 000 га), Фрушка-Гора (25 393 га), Джердап (93 968 га). На сегодняшний день каждый из национальных парков Сербии предлагает самые разнообразные возможности для туризма. Так, для управления и развития каждым парком создана специальная компания, и у всех национальных парков есть собственные сайты, правда информация на них представлена в основном на сербском языке [3].

В Республике имеется не менее 19 аэропортов с асфальтированными взлетно-посадочными полосами и еще 44 аэропорта с грунтовыми взлетно-посадочными полосами. В настоящее время только два аэропорта для гражданского транспорта работают в Республике Сербия, в Белграде и Нише. Железнодорожное сообщение в стране характеризуется плохим состоянием инфраструктуры и транспортной гибкости. Сеть железных дорог составляет 3739 км, из которых 3444 являются однопутными и 295 км – двухпутными. Только

одна треть из упомянутых протяженностей железнодорожной сети электрифицирована, в то время как в странах ЕС процент электрификации железной дороги превышает 50%. Хорошая транспортная связь туристических направлений с местами туристического спроса является одним из важнейших факторов развития туризма. Значение и роль транспорта в развитии туризма отражаются в размерах и состоянии транспортной инфраструктуры. Транспортная инфраструктура в Республике Сербия может быть оценена как недостаточно развитая, хотя в последние три года согласно данным «Дороги Сербии» было построено 781 км шоссе.

Также отдельно стоит выделить уровень преступности, в стране он низкий (35,7) и с каждым годом уменьшается. Так, в рамках проекта «Безопасный город» в ближайшие два года общественные места Белграда должны быть оснащены камерами видеонаблюдения с системой распознавания лиц. Достигнутый уровень развития туристской инфраструктуры в Республике Сербия, несмотря на наличие качественной и диверсифицированной ресурсной базы, значительно отстает по отношению к ресурсным и рыночным возможностям его развития. Можно сделать вывод, что туристический транспорт в стране значительно отстает от своих основных конкурентов, что является следствием игнорирования и непризнания туризма в качестве одной из приоритетных отраслей экономики. В предыдущем периоде Республика Сербия не проводила активной туристической политики и упустила возможность добиться значительного конкурентного продвижения на международном туристическом рынке, но так как страна начала активное развитие туризма, можно ожидать значительного улучшения туристской инфраструктуры.

По всем соответствующим показателям Республика Сербия как туристическое направление занимает довольно слабую позицию на региональном и международном туристическом рынке, что не соответствует ее туристическому потенциалу. Туристический поток, принимаемый Сербией за последние пятнадцать лет, демонстрирует положительную динамику (рис. 1).

Количество прибытий иностранных туристов в 2006–2019 гг. увеличивалось из года в год, за исключением 2009–2010 гг., когда произошло небольшое снижение, в эти годы наблюдалось сокращение международного туристического трафика из-за первой вол-

ны мирового финансового кризиса и экономического спада в целом. Следует отметить увеличение числа иностранных гостей после мер государственного субсидирования в 2015 г. В декабре 2019 г. в средствах размещения в Республике Сербия было зарегистрировано 269 422 туристов, что означает, что количество размещенных лиц увеличилось на 15,0% по сравнению с аналогичным периодом 2018 г. По сравнению с декабрем 2018 г. число прибывающих иностранных туристов увеличилось на 14,9%, тогда как количество прибывших внутренних туристов увеличилось на 15,0%. Также в январе 2020 г. по сравнению с январем 2019 г. число прибывающих туристов было на 24,2% больше, а число туристов, останавливающихся на ночь, было на 25,1% больше. В январе 2020 г. по сравнению с январем 2019 г. количество ночевков у местных туристов было на 22,5% больше, а у иностранных туристов с ночевкой – на 28,7%.

Количество туристов, посетивших Сербию в период с 2014 по 2019 г., варьировалось от 2 194 268 чел. в 2014 г.

до 3 689 983 чел. в 2019 г., тогда как за тот же период количество ночей колебалось между 6 086 275 и 10 073 299 (рис. 2).

В связи с ростом количества туристов, посетивших страну, выросло и количество ночевков. В декабре 2019 г. было зарегистрировано 685 811 туристических ночевков, из которых 54,2% составили местные туристы, а 45,8% – иностранные туристы. По сравнению с декабрем 2018 г. количество ночевков увеличилось на 20,4%. По отношению к аналогичному периоду 2018 г., в декабре 2019 г. количество ночевков иностранных туристов увеличилось на 20,6%, а количество ночевков внутренних туристов увеличилось на 20,2%.

Количество ночей у международных туристов увеличивается в среднем на 13,2% в год, в то время как количество ночевков в стране регистрируется так же, как и количество прибывших из страны. Внутренние ночевки представляют собой большинство ночевков, составляя 81% от общего числа ночевков [4]. Средняя продолжительность пребывания варьируется от 2 до 4 дней.

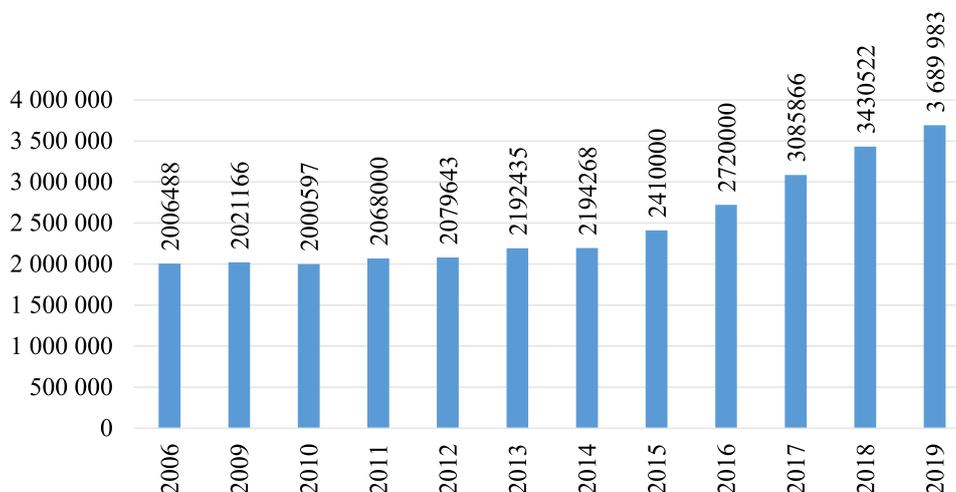


Рис. 1. Динамика турпотока в Республике Сербия за 2006–2019 гг., тыс. чел.

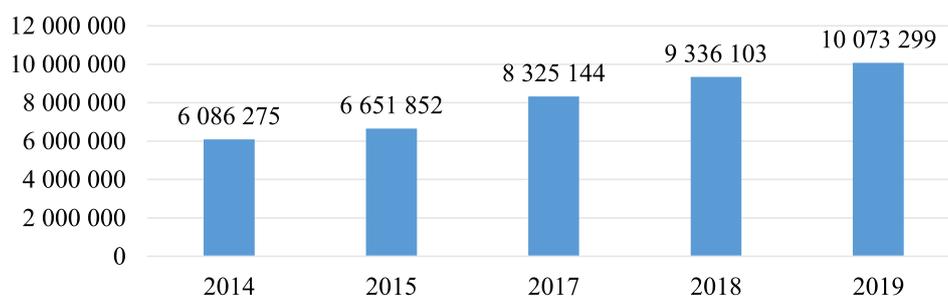


Рис. 2. Количество ночевков в Республике Сербия в 2014–2019 гг.

Внутренние туристы в среднем совершают более длительные поездки (примерно 4 дня), в то время как в среднем иностранные гости составляют примерно 2 дня. Основной мотивацией для внутренних туристов является отдых, 80% зарегистрированных внутренних прилетов были для отдыха. В то же время только 15% иностранных гостей приезжают в Сербию на отдых, большинство приезжает по рабочим делам в Белград.

Основными туристическими центрами Республики Сербия являются бальнеологические курорты, горные курорты и крупные административные центры страны, где реализуется более 70% туристического трафика и 80% ночевок.

В конце 2004 г. в Республике Сербия было зарегистрировано 85 867 тыс. мест для туристов, которые были распределены в 695 бизнес-объектах, в которых было в общей сложности 36 163 ед. жилья. По данным Статистического управления Республики Сербия за 2017 г., в стране насчитывается 106 029 тыс. коек, что на 23,48% больше, чем в 2004 г., а также 44 813 ед. жилья, что на 23,92% больше, чем в 2004 г. Согласно данным Министерства торговли, туризма и телекоммуникаций, в октябре 2017 г. количество классифицированных объектов для размещения туристов составило 358, а количество единиц размещения достигло 16 962, а количество спальных мест – 31 791 (таблица).

Увеличение на 6% количества номеров в Сербии указывает на здоровый растущий гостиничный рынок. С 2014 г. открылось более 100 новых отелей, из которых 40 находятся в столице Белграде, который является основным деловым и административным центром и центральным туристическим центром. Сдвиг в развитии гостиничного бизнеса был обусловлен главным образом выходом международных брендов на рынок Белграда («Crowne Plaza», «Radisson Blu», «Luxury Collection», «Hilton»).

По данным Министерства торговли, туризма и телекоммуникаций, на терри-

тории города Белграда насчитывается 94 отеля, что составляет 27,48% от общей вместимости отелей в Республике Сербия. На территории Косово гостиничную деятельность осуществляют более 100 отелей, большинство гостиничных предприятий расположены в регионах Приштина, Феризай и Пея.

Непрерывный рост количества ночевок (рис. 3) является следствием роста спроса (расширения рынка) на туристские предложения страны среди отечественных и зарубежных туристов, что приводит к расширению средств размещения, что также негативно сказывается на окружающей среде. По количеству ночевок туризм в Сербии впервые прошел фазу роста оборота в 2005–2008 гг. 2009 г. принес фазу сокращения, которая сохранялась и в следующем году, и с 2011 по 2013 г. был период стагнации, когда среднее число ночевок туристов составляло около 6,6 млн.

По статистике, на территории Республики Сербия насчитывается 866 средств размещения на 8 225 коек в агротуристическом предложении (значительная часть которых – теневые гостиничные предприятия). Наибольшее количество зарегистрированных агротуристических единиц размещения и количество коек находится в кластере Западной Сербии (484 средств размещения, 5 280 коек), а кластер региона Белград имеет наименьшее количество в обеих категориях (11 средств размещения, 1 128 коек). Эта ситуация может быть объяснена тем фактом, что западная часть Сербии в основном является горным регионом и имеет самые давние традиции агротуризма, а также необычные природные и культурные ресурсы, имеющие отношение к этому виду туристической деятельности. С другой стороны, Белградский регион является самым маленьким районом, который включает столицу Сербии и ее окрестности, недостаточные для более широкого развития сельского хозяйства.

Количество гостиничных предприятий по типам в Республике Сербия в 2017 г.

Типы гостиничных предприятий	Количество предприятий	Количество номеров	Количество койко-мест
Отель	342	16 431	30 724
Мотель	8	200	361
Туристические комплексы	5	234	531
Общее	358	16 962	31 791

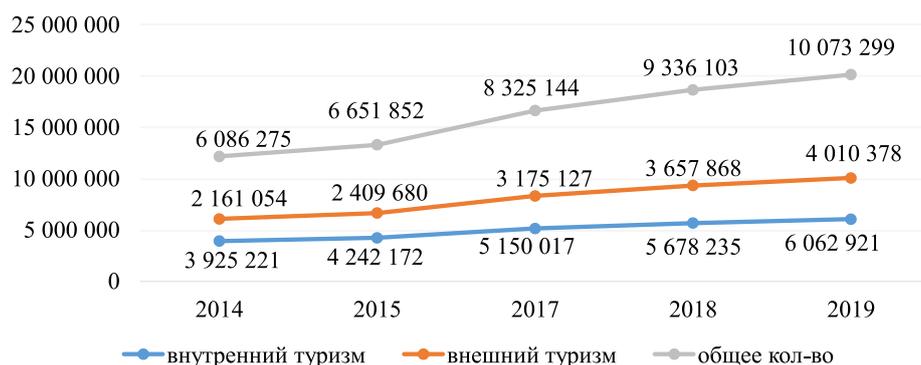


Рис. 3. Количество ночевков в Республике Сербия (составлено автором)

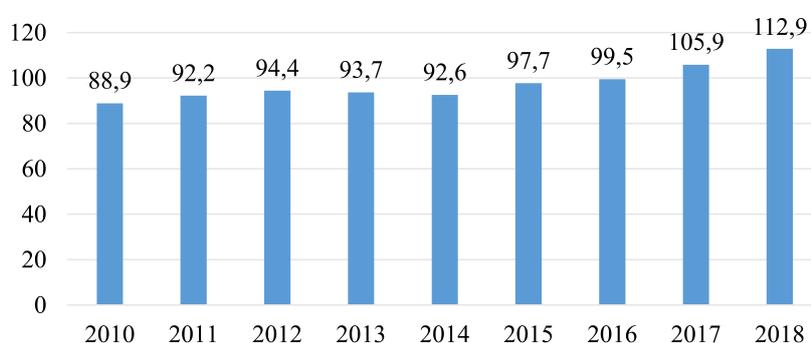


Рис. 4. Количество работников сферы туризма в Республике Сербия, тыс. чел. (составлено авторами)

Положительная динамика характерна и в сфере занятости в туризме (рис. 4). В Сербии в сфере туризма занято более 3 млн чел., при этом около 57% заняты в сфере услуг, что составляет 50% ВВП. Туризм, как часть этого сектора, будет продолжать развиваться и, как ожидается, внесет больший вклад в ВВП, чем 3,2%, внесенные в 2018 г. [4] Индустрия путешествий и туризма создала 37 000 рабочих мест в Сербии в 2017 г. По прогнозам, к 2028 г. в сфере путешествий и туризма будет создано 39 000 рабочих мест, отмечает WTTC.

В последние десятилетия развитию туризма в Сербии не придавалось большого значения, что привело к низкой конкурентоспособности на международном рынке. Согласно проведенному Всемирным экономическим форумом исследованию конкурентоспособности мира и европейских стран в области путешествий и туризма (T&T), Сербия на 2013 г. занимала 89 место в списке 140 стран. В 2019 г. страна поднялась на 83 место из 140, но все еще

находится почти на последнем месте из европейских стран, ниже по рейтингу Албания, Северная Македония, Молдова и Босния и Герцеговина (все данные основаны на World Economic Forum 2013–2019).

Туризм имеет дело с постоянными и быстрыми изменениями, поэтому формальное образование в сфере туризма, полученное в средних и высших школах, не является своевременным и гибким. Образовательные системы Сербии медленно адаптируются к изменениям. На государственном уровне не существует организованной системы непрерывного образования для работников сферы туризма, т.е. адекватной правовой базы и стратегии образования, план действий не реализуется в полном объеме. Чтобы идти в ногу с тенденциями рынка труда и требуемыми профессиями, навыками и профессиями, Сербия должна привести Национальную классификацию занятий в соответствие с Международной стандартной классификацией профессий: ISCO–08.

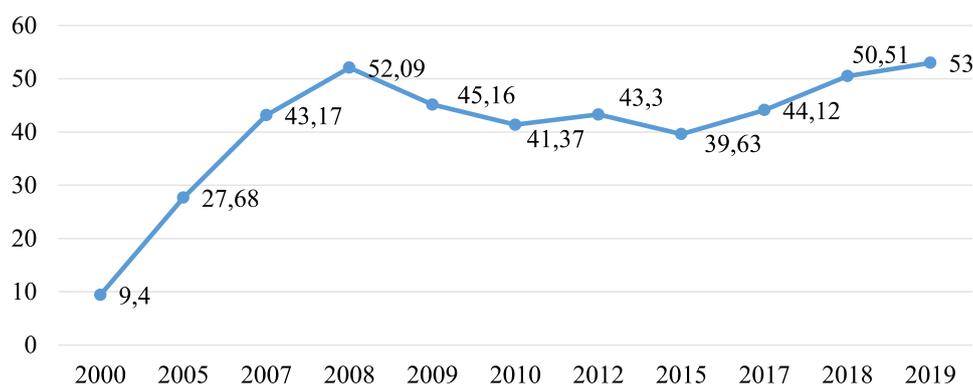


Рис. 5. ВВП Сербии 2000–2018 гг., млрд долл. США

Также проблема развития туризма напрямую связана с экономикой страны. В 2009 г. макроэкономическая среда в Республике Сербия была значительно менее благоприятной для развития туризма, чем в течение нескольких предыдущих лет. Во многом это было связано с влиянием мирового экономического кризиса, вызвавшего ухудшение основных макроэкономических показателей. Сильный экономический рост предыдущих лет был остановлен в 2009 г., а ВВП, как наиболее важный макроэкономический инструмент для измерения общей экономической активности страны, упал на 3,1 % в годовом исчислении (рис. 5).

После 2010 г. происходило умеренное восстановление экономической активности на рынке труда, сопровождавшееся дальнейшим сокращением общей численности занятых и ростом безработицы при небольшом росте средней заработной платы. Помимо этого, общая экономическая среда в течение 2010 г. была особенно неблагоприятной из-за более сильного инфляционного давления и снижения обменного курса. Уровень инфляции составил 11,5 %, а также курс национальной валюты упал на 10 % по сравнению с евро на конец 2009 г.

В соответствии с данными Республиканского статистического комитета Сербии в 2017 г. ВВП страны увеличился на 1,9 % (по данному показателю Сербию опережают все страны региона, за исключением Македонии) и составил 36,8 млрд евро. При этом структура ВВП в сравнении с данными 2016 г. практически не изменилась, стоит отметить, что вклад туризма в мировой ВВП в 2018 г. был 6,9 % от общего объема (122 место).

Несмотря на объективные ограничения, с которыми сталкивается туризм в Сербии,

создание региональных туристических организаций будет способствовать продвижению и позиционированию узнаваемого туристического продукта как на национальном, так и на международном уровнях; это также способствовало бы развитию малого и среднего предпринимательства в регионах.

Известно, что многолетние проблемы в политической и экономической среде в Республике Сербия остановили развитие туризма и что качественная и разнообразная ресурсная база Республики Сербия используется недостаточно. Предложение сербских туристических продуктов, разработанных для нужд внутреннего туризма, не в состоянии отвечать современным тенденциям международного туристического рынка, поскольку на рынке произошли серьезные изменения, в соответствии с которыми Республика Сербия не адаптировала свое туристическое предложение. Основываясь на новых требованиях современных туристов и мировых тенденциях в туризме, Республика Сербия имеет возможность извлечь выгоду из своего нынешнего положения, сформировать туристическое предложение и добиться значительного роста в туристическом секторе и тем самым обеспечить место для мирового туриста. Все это определяет направления для развития туризма в стране.

Имидж Сербии в мире начинает улучшаться в начале XXI в., благодаря ее возвращению во многие международные организации и крупным изменениям во внутреннем плане, и все же для этого требуется много времени и усилий. Если страна сможет занять достойное место на международном туристическом рынке в соответствии с имеющимися у страны туристскими возможностями, это позволит ей добиться по-

стоянного и стабильного роста потока иностранных туристов.

Несмотря на колебания в период с 2008 по 2010 г., с 2011 г. в Сербии наблюдается устойчивый рост доходов от туризма с 710 млн евро до 1 396 млн евро в 2018 г. (Национальный банк Сербии, 2019 г.). По данным Всемирного совета путешествий и туризма (WTTC), общий вклад индустрии туризма в экономику Сербии, включая влияние инвестиций, цепочки поставок и воздействия на доходы, составил в 2017 г. 294,6 млрд динаров, или 6,7% ВВП.

Туризм в Сербии активно развивается и имеет значительные перспективы развития, страна имеет свою стратегию развития туризма (2016–2025 гг.). В качестве приоритетных направлений в развитии туризма до 2021 г. были выбраны: бизнес-туризм, СПА и оздоровительный туризм, горный туризм, экскурсионно-познавательный городской туризм. В последние годы наблюдается тенденция повышенного интереса туристов к административным центрам страны. Белград является ведущим туристическим продуктом Республики Сербия, а Белград и Нови-Сад являются единственными узнаваемыми городскими туристическими направлениями на международном туристическом рынке. Эти два города вместе поглощают 37,61% от общего туристического оборота Республики Сербия, или 63,4% иностранных туристов. Белград и Нови Сад занимают доминирующее положение в отношении иностранных туристов. В структуре туристов, приезжающих в эти два региона, более 70% составляют иностранные туристы, которые достигают более 80% ночевков.

Количество внутренних туристов в этих двух городах все еще в значительной степени зависит от официальных поездок. За последнее десятилетие рекреационный, лечебный и оздоровительный туризм стали одним из наиболее быстро растущих сегментов, очень прибыльной и перспективной для развития рыночной нишей в Сербии. В целом, для того чтобы Республика Сербия в будущем увеличила доходы от иностранных туристов и достигла сбалансированного платежного баланса, необходимо адаптировать существующее туристическое предложение к каждому сегменту рынка. С другой стороны, необходимо систематически работать над созданием необходимых условий для того, чтобы как можно меньше граждан Республики Сербия выезжало за границу для удовлетворения своих туристических потребностей.

## Выводы

Экономика Сербии в основном опирается на производство и экспорт товаров и услуг и поддерживается за счет иностранных инвестиций. Серьезными проблемами, замедляющими темпы ее развития, являются значительный объем внешнего долга Республики, высокие государственные затраты на социальные выплаты, безработица, необходимость создания новых рабочих мест, высокий уровень коррупции. Важное место во всех переходных и реформационных процессах в экономике Сербии принадлежит туризму, в связи с чем ему в последнее время стали уделять особое внимание. Качественная и разнородная основа существует для успешного развития сербского туризма: природные условия, богатое культурно-историческое наследие, общие социальные условия, развитая материальная база и благоприятное транспортное и географическое положение. Предпосылки, которыми обладает Сербия, послужили основой любого успешного развития туризма.

Достигнутый уровень развития туризма в Республике Сербия, несмотря на наличие качественной и диверсифицированной ресурсной базы, значительно отстает по отношению к ресурсным и рыночным возможностям его развития. В республике имеются следующие основные проблемы, препятствующие устойчивому развитию туризма: недостаточное развитие туристических предложений и недостаточное участие туристических агентств в продвижении и продаже продукции туризма, проблемы высокой сезонности, отсутствие международных стандартов и гарантий качества во всем секторе туризма, особенно в случае гостиничных услуг, несбалансированное соотношение цены и качества, устаревшая инфраструктура. Тем не менее перспективы для развития значительны, это подтверждает постоянный рост туристского потока, важной тенденцией в структуре которого, безусловно, является рост числа иностранных туристов. Природные ресурсы, позитивные изменения в международной и внутренней туристической среде, дальнейшее развитие этих сегментов в сфере иностранного туризма, безусловно повлияют положительно на туристское предложение Сербии.

## Список литературы / References

1. Dokleštic. [Electronic resource]. URL: <https://www.dokleštic.law/links-documents/serbian-laws-in-english> (date of access: 20.06.2020).

2. Tourism Development Strategy of the Republic of Serbia (2016–2025). [Electronic resource]. URL: <https://ec.europa.eu/docsroom/documents/32341> (date of access: 20.06.2020).
3. Micić Ja. Tourism development and regional disparities in Serbia. *R-Economy*. 2018. № 4. P. 167–173.
4. Власенко А.Ю., Престоронин А.А. Анализ туристического рынка Сербии // Актуальные проблемы международных отношений в условиях формирования мультиполярного мира: сборник научных статей 8-й Международной научно-практической конференции, 14 декабря 2019 года / Под ред. Кузьминой В.М. Курск: Юго-Запад. гос. ун-т, 2019. С. 105–108.
- Vlasenko A.Yu., Prestoronin A.A., Analysis of the Serbian Tourism Market // Actual Problems of International Relations in the Formation of a Multipolar World: Collection of Scientific Articles of the 8th International Scientific and Practical Conference, December 14, 2019 / Pod red. Kuz'minoy V.M. Kursk: Yugo-Zapad. gos. un-t, 2019. P. 105–108 (in Russian).
5. Ярыгин Г.А., Равикович В.И., Вильчек Г.Е., Назаревский Н.В., Федоренко А.В., Фомкина О.М., Персидский П.С., Медведев К.Б. Экологические аспекты реализации проекта газопровода «Южный поток» на территории республики Сербии // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. 2014. № 3. С. 5–11.
- Yarygin G.A., Ravikovich V.I., Vilchek G.E., Nazarevsky N.V., Fedorenko A.V., Fomkina O.M., Persian P.S., Medvedev K.B. Environmental aspects of the South Stream gas pipeline project in the Republic of Serbia // Zashchita okruzhayushchey sredy v neftegazovom komplekse. 2014. № 3. P. 5–11 (in Russian).
6. Lutovac M., Đuričić M. Ecotourism an important development opportunity for the Western Balkans and Serbia. 1st International Conference Higher education in function of development of tourism in Serbia and Western Balkans. 2014. № 3. P. 271–283.

УДК 550.4:556.3:574

**ЗАГРЯЗНЕНИЕ ШАХТНЫХ И ГРУНТОВЫХ ВОД В ШОЛОХОВСКОМ  
УГЛЕНОСНОМ РАЙОНЕ ВОСТОЧНОГО ДОНБАССА****Гавришин А.И.***Южно-Российский государственный политехнический университет им. М.И. Платова,  
Новочеркасск, e-mail: agavrishin@rambler.ru*

Цель настоящих исследований – оценить роль угольной промышленности в формировании загрязнения шахтных и грунтовых вод в наиболее молодом Шолоховском угленосном районе Восточного Донбасса. Для характеристики шахтных и грунтовых вод применены стандартные методы математико-статистического анализа данных и способ оценки загрязненности вод, широко применяемый в геохимии и геоэкологии, по степени загрязнения вод, почв, грунтов, донных осадков и т.п. по коэффициенту концентрации и суммарному показателю загрязненности. Выполнена оценка качества вод по нормативам РФ, США, ЕС и ВОЗ для питьевых и рыбохозяйственных вод. При угледобыче и при ликвидации угольных шахт интенсивно развиваются процессы выщелачивания, окисления и растворения горных пород и сульфидов, содержание которых в углях и породах достигает 4–5 %, что вызывает формирование высокоминерализованных шахтных вод, в которых отмечены наиболее высокие коэффициенты концентрации для Fe и Mn. Именно эти компоненты выводят качество шахтных вод по суммарному показателю в разряд «бедствие». Далее следует отметить высокие превышения ПДК для концентраций  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Mg}^{+2}$ ,  $\text{Cl}^{-1}$ ,  $\text{Na}^{+1}$  и М. Наиболее интенсивными загрязнителями грунтовых вод в районе являются Fe и Mn; превышают ПДК концентрации  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Mg}^{+2}$ ,  $\text{Na}^{+1}$  и величина М. Аналогия основных компонентов загрязнения шахтных и грунтовых вод убедительно свидетельствует, что именно шахтные воды являются главным источником загрязнения грунтовых. Высокий уровень загрязненности шахтных и грунтовых вод Шолоховского угленосного района свидетельствует о необходимости выполнения мониторинговых наблюдений, принятия мер по реабилитации состояний окружающей среды и совершенствования очистных технологий. При разработке очистных технологий для шахтных вод необходимо, прежде всего, добиваться снижения концентраций Fe и Mn, а также  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Mg}^{+2}$ ,  $\text{Cl}^{-1}$ ,  $\text{Na}^{+1}$  и величины минерализации (М).

**Ключевые слова:** шахтные и грунтовые воды, загрязнение, химический состав, Шолоховский район, Восточный Донбасс

**POLLUTION OF MINE AND GROUNDWATER IN THE SHOLOKHOV  
REGION OF EASTERN DONBASS****Gavrishin A.I.***South Russian State Polytechnic University named M.I. Platov, Novocherkassk,  
e-mail: agavrishin@rambler.ru*

The purpose of this research is to assess the role of the coal industry in the formation of pollution of mine and groundwater in the youngest Sholokhov coal region of eastern Donbass. Standard methods of mathematical and statistical analysis of data and a method of assessing water pollution, widely used in geochemistry and geocology, on the degree of contamination of water, soils, bottom sediments, etc. on concentration and total pollution factor are used to characterize mine and groundwater. The water quality assessment has been carried out according to the Russian regulations, United States, EU and WHO for drinking and fisheries. In the case of coal mining and the elimination of coal mines, the processes of leaching, oxidation and dissolution of rocks and sulphides, the content of which in coals and rocks reaches 4-5 %, which causes the formation of highly mineralized mine waters, which have the highest concentration rates for Fe and Mn. These components bring the quality of mine waters to the «disaster» category. Further, it should be noted that the highest excesses of MAC for  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Mg}^{+2}$ ,  $\text{Cl}^{-1}$ ,  $\text{Na}^{+1}$  and M concentrations are the most intense groundwater pollutants in the area are Fe and Mn; larger  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Mg}^{+2}$ ,  $\text{Na}^{+1}$  and M. The analogy of the main components of pollution of mine and groundwater strongly demonstrates that mine water is the main source of groundwater pollution. The high level of pollution of mine and groundwater in the Sholokhov coalmine region indicates the need to carry out monitoring observations, take measures to rehabilitate the environment and improve treatment technologies. In the development of treatment technologies for mine water, it is necessary, first of all, to reduce the concentrations of Fe and Mn, as well as  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Mg}^{+2}$ ,  $\text{Cl}^{-1}$ ,  $\text{Na}^{+1}$  and mineralization (M).

**Keywords:** mine and groundwater, pollution, chemical composition, Sholokhov district, Eastern Donbass

Шолоховский угленосный район является наиболее молодой частью Восточного Донбасса, но и для него характерно проявление большинства негативных явлений, связанных с угольной промышленностью. Формируются такие отрицательные последствия, как техногенная трещиноватость пород, осушение массивов пород, проседание земной поверхности и т.п. А после лик-

видации угольных шахт (преимущественно путем затопления) добавились новые негативные явления [1, 2]: образование мощных потоков загрязнения воздушной, водной и геологической сред, выделение «мертвого воздуха», подтопление территорий, деформация зданий и сооружений [3, 4]. Аналогичные негативные последствия характерны для всего Восточного Донбасса [5] и мно-

гих угольных бассейнов мира [6–8]. В данной работе выполнена оценка реального качества шахтных и грунтовых вод Шолоховского угленосного района относительно требований к ПДК по нормативам США, ЕС, ВОЗ и РФ [9, 10], которые приведены в табл. 1.

Цель исследования: оценить роль угольной промышленности в формировании загрязнения шахтных и грунтовых вод относительно российских и зарубежных нормативов в Шолоховском, наиболее молодом угленосном районе Восточного Донбасса. Предыдущие исследования показали, что воды всего Восточного Донбасса и особенно в наиболее старой части бассейна (Шахтинский угленосный район) характеризуются очень высокой степенью загрязнения [1, 3, 4].

#### Материалы и методы исследования

Для характеристики химического состава шахтных и грунтовых вод применены методы математико-статистического анализа данных (оценка среднего арифметического, медианы, минимального и максимального значений, среднеквадратического случайно-

го отклонения). В качестве основного метода оценки загрязненности воды использована широко применяемая в геохимии и геоэкологии оценка степени загрязнения вод, почв, грунтов, донных осадков и т.п. по коэффициенту концентрации и суммарному показателю загрязненности (СПЗ) [1, 3]. Выделены категории степени загрязненности воды и окружающей среды (табл. 2). Так как шахтные воды оказались очень мощным загрязнителем, то помимо обычных категорий загрязненности (норма, риск, кризис и бедствие) дополнительно введена категория «катастрофа». Для категории «норма», когда концентрации загрязняющих компонентов ниже ПДК, значение суммарного показателя должно быть меньше 2; далее границы категорий установлены с кратностью 8:  $2 \cdot 8 = 16$ ,  $16 \cdot 8 = 128$  и т.д. (табл. 2).

Коэффициент концентрации  $i$ -го компонента рассчитывается по следующей формуле:

$$K_{ic} = C_i / C_{\text{ПДК}}$$

где  $C_i$  – концентрация компонента,  $C_{\text{ПДК}}$  – предельно допустимая или фоновая концентрация компонента.

Таблица 1

#### Требования к ПДК

Компонент	ПДК США питьевые	ПДК ЕС питьевые	ПДК ВОЗ питьевые	ПДК РФ питьевые	ПДК РФ рыбхоз.
pH	6,5–8,5	6,5–8,5	–	6–9	6–8,5
SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>	250	250	250	500	100
Cl <sup>-1</sup>	250	250	250	350	300
Na <sup>+1</sup>	–	–	200	200	120
Mg <sup>+2</sup>	–	50	–	50	40
M	500	1500	1000	1000	1000
Al	0,2	0,2	0,2	0,2	0,04
Be	0,004	–	–	0,0002	0,0002
Fe	0,3	0,2	0,3	0,3	0,1
Cd	0,005	0,005	0,003	0,001	0,005
K	–	12	–	30	50
Co	–	–	–	0,1	0,01
Li	–	–	–	0,03	0,03
Cu	1,3	2,0	1,0	1,0	0,001
Mn	0,05	0,05	0,5	0,1	0,01
Ni	–	–	0,02	0,02	0,01
Pb	0,015	0,01	0,01	0,01	0,006
Se	0,05	0,01	0,01	0,01	0,002
Sr	–	–	3	7	2
Cr	0,1	0,05	0,05	0,05	0,05
Zn	5	5	3	1	0,01

Примечание. Знак «–» обозначает отсутствие норматива по ПДК; М – минерализация вод.

Степень загрязненности воды и окружающей среды по  $n$  компонентам оценивается по суммарному показателю загрязненности (СПЗ):

$$Z_c = \sum_i K_{ic} - (n - 1).$$

Категории загрязненности воды и окружающей среды приведены в табл. 2.

Суммарный показатель загрязненности дает возможность оценивать качество химического состава любых типов вод (атмосферные, поверхностные, подземные, техногенные) относительно любых нормативных показателей (питьевые, рыбохозяйственные, требования СанПиН, СНиП, ВОЗ, США, ЕС и др.), по набору любых компонентов. В табл. 2 приведены значения предельно допустимых концентраций (ПДК) по различным нормативам, которые использованы в настоящей работе: ПДК к питьевым водам по нормам Агентства по охране окружающей среды США (U.S.EPA); ПДК по Директиве Европейского Союза (ЕС) по качеству питьевой воды, предназначенной для потребления человеком; по ПДК Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ), по нормативу к ПДК питьевых вод РФ [9] и рыбохозяйственных [10].

*Качество шахтных вод*

В Шолоховском, наиболее молодом угленосном районе Восточного Донбасса, находятся десятки работающих и ликвидированных угольных шахт, обогатительных предприятий, терриконов, прудов-отстойников и очистных сооружений, которые оказывают довольно существенное негативное влияние на состояние окружающей среды, особенно на загрязнение вод. Шахтные воды района в среднем по составу сульфатные магниево-натриевые (табл. 3), с мине-

рализацией 5 г/л и концентрацией сульфат-иона 2,2 г/л.

Оценка качества шахтных вод по величине суммарного показателя загрязненности (СПЗ) приведена в табл. 4. Наиболее высокое загрязнение отмечено для концентраций Fe и Mn, а также для  $SO_4^{-2}$ ,  $Mg^{+2}$ ,  $Na^{+1}$  и  $Cl^{-1}$ . Следовательно, при разработке очистных технологий необходимо добиться прежде всего снижения концентраций указанных компонентов.

Относительно требований к водам питьевого назначения по нормативам США, ВОЗ и РФ шахтные воды района относятся к категории «кризис», а по нормативам ЕС к категории «бедствие». Относительно требований к водам рыбохозяйственного водопользования качество шахтных вод принадлежит к категории «бедствие».

Необходимо отметить, что шахтные воды Шолоховского угленосного района характеризуются относительно невысоким уровнем загрязнения по сравнению с другими районами Восточного Донбасса, например в Шахтинском угленосном районе величина СПЗ соответствует категории «катастрофа».

*Качество грунтовых вод*

При завершении процесса массовой ликвидации угольных шахт в Восточном Донбассе началось формирование потока вод из горных выработок во вмещающие породы и образование мощных ореолов загрязнения грунтовых вод. В табл. 5 приведены параметры распределения концентраций макрокомпонентов грунтовых вод Шолоховского района. В среднем по составу это сульфатные магниево-натриево-кальциевые воды (табл. 3), минерализация которых может достигать 4,6, а концентрация сульфат-иона – 2,4 г/л.

**Таблица 2**

Категории загрязненности воды и окружающей среды

Суммарный показатель	Категории загрязненности воды и окружающей среды
< 2	Норма (удовлетворительная)
≥ 2 – 16	Риск (напряженная)
≥ 16 – 128	Кризис (чрезвычайная)
≥ 128 – 1024	Бедствие
≥ 1024	Катастрофа

**Таблица 3**

Средний состав шахтных и грунтовых вод (%-моль)

Тип вод	$HCO_3^{-1}$	$SO_4^{-2}$	$Cl^{-1}$	$Ca^{+2}$	$Mg^{+2}$	$Na^{+1}$
Шахтные	16	60	24	18	25	57
Грунтовые	20	57	23	39	24	37

Таблица 4

Оценка качества шахтных вод Шолоховского угленосного района

Компонент	X	K <sub>i</sub> по ПДК США	K <sub>i</sub> по ПДК ЕС	K <sub>i</sub> по ПДК ВОЗ	K <sub>i</sub> по ПДК РФ <sub>п</sub>	K <sub>i</sub> по ПДК РФ <sub>р</sub>
pH	7,0	0	0	0	0	0
SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>	2208	8,8	8,8	8,8	4,4	22,1
Cl <sup>-1</sup>	649	2,6	2,6	2,6	1,85	2,2
Na <sup>+1</sup>	933	н	н	4,7	4,7	7,8
Mg <sup>+2</sup>	211	н	4,2	н	4,2	5,3
M	4992	9,98	3,3	5,0	5,0	5,0
Al	0,05	0,25	0,25	0,25	0,25	1,5
Be	0,0005	0,13	н	н	2,5	2,5
Fe	21	70	105	70	70	210
Cd	0,0001	0,02	0,02	0,03	0,1	0,02
K	60	н	5	н	2	1,2
Co	0,001	н	н	н	0,01	0,1
Li	0,1	н	н	н	13	13
Cu	0,003	0,02	0,002	0,003	0,003	3
Mn	1,6	32	32	3,2	16	160
Ni	0,001	н	н	0,05	0,05	0,1
Pb	0,001	0,07	0,1	0,1	0,1	0,2
Se	0,01	0,2	1	1	1	5
Sr	5,0	н	н	1,7	0,7	2,5
Cr	0,004	0,04	0,08	0,08	0,08	0,08
Zn	0,01	0,002	0,002	0,003	0,01	1
Z <sub>c</sub>		111	149	82	107	423

Пр и м е ч а н и е . X – значение компонента в шахтных водах в мг/л; ПДК РФ<sub>п</sub> и РФ<sub>р</sub> – значения ПДК по нормативам РФ для питьевых и рыбохозяйственных вод.

Таблица 5

Химический состав грунтовых вод (макрокомпоненты, мг/л)

Элементы	X	Me	Max	Min	S
pH	7,4	7,4	8,7	6,7	0,4
HCO <sub>3</sub> <sup>-1</sup>	332	306	640	67	124
SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>	753	436	2367	65	666
Cl <sup>-1</sup>	220	194	686	17	162
Ca <sup>+2</sup>	210	155	571	14	154
Mg <sup>+2</sup>	78	147	255	23	57
Na <sup>+1</sup>	240	141	688	15	164
M	1767	1199	4616	271	1214

Пр и м е ч а н и е . X – среднее арифметическое, Me – медиана, Max и Min – максимальное и минимальное значения, S – стандартное отклонение.

Оценка степени загрязненности грунтовых вод Шолоховского угленосного района приведена в табл. 6. По требованиям к питьевым водам грунтовые воды отнесены к категории «риск» по нормативам США, ВОЗ и РФ, а по требованиям ЕС –

к категории «кризис». Относительно рыбохозяйственных вод грунтовые воды принадлежат к категории «кризис».

Наиболее интенсивное загрязнение грунтовых вод установлено для Fe и Mn, а также для SO<sub>4</sub><sup>-2</sup>, Na<sup>+1</sup>, Mg<sup>+2</sup> и M.

Таблица 6

Оценка качества грунтовых вод Шолоховского угленосного района

Компонент	X	K <sub>i</sub> по ПДК США	K <sub>i</sub> по ПДК ЕС	K <sub>i</sub> по ПДК ВОЗ	K <sub>i</sub> по ПДК РФ <sub>п</sub>	K <sub>i</sub> по ПДК РФ <sub>р</sub>
pH	7,4	0	0	0	0	0
SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>	753	3,0	3,0	3,0	1,5	7,53
Cl <sup>-1</sup>	220	0,9	0,9	0,9	0,63	0,73
Na <sup>+1</sup>	240	н	н	1,2	1,2	2,0
Mg <sup>+2</sup>	78	н	1,56	н	1,56	1,95
M	1767	3,53	1,2	1,8	1,8	1,8
Al	0,17	0,85	0,85	0,85	0,85	4,25
Be	0,001	0,25	н	н	5,0	5,0
Fe	3,1	10,3	15,5	10,3	10,3	31
Cd	0,001	0,2	0,2	0,33	1,0	0,2
K	9,2	н	0,77	н	0,31	0,18
Co	0,01	н	н	н	0,1	1,0
Li	0,026	н	н	н	0,9	0,9
Cu	0,0043	0,0033	0,0022	0,0043	0,0043	4,3
Mn	0,26	5,2	5,2	0,52	2,6	26
Ni	0,001	н	н	0,05	0,05	0,1
Pb	0,001	0,07	0,1	0,1	0,1	0,17
Se	0,0134	0,27	1,3	1,3	1,3	6,7
Sr	3,0	н	н	1,0	0,43	1,5
Cr	0,0024	0,024	0,05	0,05	0,05	0,05
Zn	0,1	0,02	0,02	0,033	0,1	10
Z <sub>c</sub>		11,6	17,7	7,4	10,8	86,4

Все эти компоненты отмечены в повышенных концентрациях в шахтных водах, и это свидетельствует о том, что шахтные воды являются главным загрязнителем грунтовых.

### Заключение

Выполнен анализ степени загрязненности шахтных и грунтовых вод в наиболее молодом Шолоховском угленосном районе Восточного Донбасса. При функционировании и ликвидации угольных шахт интенсивно развиваются процессы выщелачивания, окисления и растворения горных пород и особенно серы и сульфидов, содержание которых в углях и породах достигает 4–5% [2]. В этих условиях начинается формирование высокоминерализованных шахтных вод, в которых отмечены наиболее высокие коэффициенты концентрации для Fe и Mn, для ПДК питьевых вод они составляют десятки раз. Именно эти компоненты выводят качество шахтных вод по суммарному показателю в разряд «бедствие». Далее следует отметить высокие превышения ПДК для концентраций SO<sub>4</sub><sup>-2</sup>, Mg<sup>+2</sup>, Na<sup>+1</sup>, Cl<sup>-1</sup> и величины минерализации.

Наиболее интенсивными загрязнителями грунтовых вод в районе являются Fe и Mn, по которым коэффициенты концентрации достигают десятков раз (табл. 6); превышают ПДК концентрации SO<sub>4</sub><sup>-2</sup>, Cl<sup>-1</sup>, Mg<sup>+2</sup>, Na<sup>+1</sup> и величина M. В изученном Шолоховском угленосном районе началось формирование потоков загрязнения грунтовых вод, среди которых встречаются воды с минерализацией до 4,6 и концентрацией сульфат-иона 2,4 г/л (табл. 5). Аналогия основных компонентов загрязнения шахтных и грунтовых вод убедительно свидетельствует, что именно шахтные воды являются главным источником загрязнения грунтовых. Уровень загрязненности шахтных и грунтовых вод Шолоховского угленосного района свидетельствует о необходимости выполнения мониторинговых наблюдений, принятия мер по реабилитации состояний окружающей среды и совершенствования очистных технологий. При разработке очистных технологий для шахтных вод необходимо, прежде всего, добиваться снижения концентраций Fe и Mn, а также SO<sub>4</sub><sup>-2</sup>, Mg<sup>+2</sup>, Na<sup>+1</sup> и величины минерализации (M).

**Список литературы / References**

1. Гавришин А.И. Оценка качества химического состава поверхностных вод в Восточном Донбассе // Геоэкология. 2019. № 4. С. 61–67. DOI: 10.31857/S0869-78092019461-67.
2. Gavrishin A.I. Evaluation of chemical composition quality of surface water in the Eastern Donbass / *Geoecology*. 2019. № 4. P. 61–67 (in Russian).
3. Bazhin V.Yu., Beloglazov I.I., Feschenko R.Yu. Deep conversion and metal content of Russian coals. *Eurasian Mining*. 2016. № 2. P. 28–36. DOI: 10.17580/em.2016.02.07.
4. Gavrishin A.I. Mine Waters of the Eastern Donbass and Their Effect on the Chemistry of Groundwater and Surface Water in the Region. *Water Resources*. 2018. Vol. 45. № 5. P. 785–794. DOI: 10.1134/S0097807818050081.
5. Zakrutkin V.E., Sklyarenko G.Y. The influence of coal mining on groundwater pollution (Eastern Donbass). *International multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management, SGEM 15<sup>th</sup>*, 2015. P. 927–932.
6. Грязев М.В., Качурин Н.М., Стас Г.В. Пылегазовые выбросы с поверхности породных отвалов ликвидированных шахт угольного бассейна // Устойчивое развитие горных территорий. 2018. Т. 10. № 4 (38). С. 500–509. DOI: 10.21177/1998-4502-2018-10-4-500-508.
7. Gryazev M.V., Kachurin N.M., Stas G.V. Dust and Gas Emissions from the Dumps Surfaces of the Liquidated Mines of the Moscow Coal Basin // *Ustoychivoye razvitiye gornykh territoriy*. 2018. V. 10. № 4 (38). P. 500–509 (in Russian).
8. Giulio D.C., Jackson R.B. Impact to Underground Sources of Drinking Water and Domestic Wells from Production Well Stimulation and Completion Practices in the Pavilion, Wyoming, Field. *Environmental Science and Technology*. 2016. Vol. 50 (8). P. 4524–4536. DOI: 10.1021/acs.est.5b04970.
9. Neidell Matthew, Gross Tal, Graff Zivin, Joshua, Chang Tom Y. The Effect of Pollution on Worker Productivity: Evidence from Call Center Workers in China. *American Economic Journal: Applied Economics*. 2019. Vol. 11 (1). P. 151–172. DOI: 10.1257/app.20160436.
10. Pfunz H., Houben G., Himmelsbach, T. Numerical modeling of fracking fluid migration through fault zones and fractures in the North German Basin. *Hydrogeology Journal*. 2016. Vol. 24 (60). P. 1343–1358. DOI:10.1007/s10040-016-1418-7.
11. ГН 2.1.5.1315-03. Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования. Гигиенические нормативы. Минздрав. РФ. Пост. № 78. М., 2003. 152 с.
12. ПДК водных объектов рыбохозяйственного значения. Гигиенические нормативы. Приказ Росрыболовства от 18.01.2010 № 20. М., 2010. 5 с.

УДК 574 (571.56)

**ИЗУЧЕНИЕ ЭКОСИТУАЦИИ В РОССИИ  
(НА ПРИМЕРЕ ЯКУТИИ) И МОНГОЛИИ****Гоголева П.А., Алексеева И.С.***ФГАОУ ВО «Северо-Восточный федеральный университет имени М.К. Аммосова», Якутск,  
e-mail: sedum@mail.ru, alekseevais2010@mail.ru*

В статье предоставлены результаты изучения экоситуации России (на примере Якутии) и Монголии. На основе наблюдений, фактологического, сравнительно-сопоставительного анализа документов, источников, открытых информационных ресурсов о состоянии природной среды, естественных экосистем, о происходящих процессах и явлениях, в том числе природных и антропогенных, влияющих на состояние окружающей среды за период с 2011 по 2017 г., определено, что в целом экоситуация в Якутии оценивается как удовлетворительная; в то же время по России и Монголии отмечено превышение концентрации загрязняющих веществ поверхностных вод, воздуха и атмосферы, особенно в городах и на территории Арктики, связанное с добычей и переработкой полезных ископаемых, с деятельностью предприятий энергетики, газо- и нефтедобывающей промышленности, крупнейших предприятий черной и цветной металлургии, химической, деревообрабатывающей промышленности, с транспортом; выделены основные экологические проблемы, такие как изменение климата (потепление) и связанные с ним изменения природных процессов, в частности появление термокарстовых образований, засуха, пожары, которые характерны как для Якутии, так и для других регионов России, а также Монголии, устойчивое (нерациональное) природопользование, включая использование ресурсов и связанные с ними техногенные изменения экосреды, оказывающие негативное влияние на традиционные виды хозяйствования. Результаты исследования представляют интерес для широкого круга специалистов не только сферы природопользования и охраны окружающей среды, но и в области социогуманитарных наук. Материал может послужить основой для дальнейших исследований в зарубежных странах с близкими социокультурными, экологическими системами.

**Ключевые слова:** экоситуация, экологическая среда, загрязнение окружающей среды/экосистем, техногенное воздействие, Монголия, Россия, Якутия, Арктика

**RESEARCH OF ECO-SITUATION IN RUSSIA  
(ON THE EXAMPLE OF YAKUTIA) AND MONGOLIA****Gogoleva P.A., Alekseeva I.S.***FSAEE HPE «North-Eastern Federal University of M.K. Ammosov», Yakutsk,  
e-mail: sedum@mail.ru, alekseevais2010@mail.ru*

The article presents the results of studying the eco-situation in Russia (on the example of Yakutia) and Mongolia. Based on observations, a factual, comparative comparatively matching analysis of documents, it is determined that in general the ecological situation in Yakutia is assessed as satisfactory; at the same time, in Russia and Mongolia there was an excess of the concentration of pollutants on the surface of water, air and atmosphere, especially in cities and in the Arctic, associated with the activities of energy enterprises, gas and oil industries, mining and processing of minerals, the largest ferrous and non-ferrous metals, chemical, woodworking industry, transport; The main environmental problems such as climate change (warming) and related changes in natural processes, in particular, the appearance of thermokarst formations, drought, fires, which are characteristic both in Yakutia and associated other regions of Russia, as well as Mongolia, are identified (unsustainable) nature management, including the use of resources and the associated technological changes in the environment, which have a negative impact on traditional types of management. The results of the study are of interest to a wide range of specialists not only in the field of environmental management and environmental protection, but also in the field of socio-humanitarian sciences. The material can serve as the basis for further research in foreign countries with close sociocultural and ecological systems.

**Keywords:** eco-situation, ecological environment, pollution of the environment/ecosystems, technogenic impact, Mongolia, Russia, Yakutia, Arctic

С каждым годом изучение экологических ситуаций разных регионов и сравнение параметров, вследствие которых возникают экологические проблемы, становится все более актуальным для принятия решительных мер по их устранению.

В методологии исследования авторы исходили из того, что основными подходами изучения состояния экологической среды являются экосистемный (М.С. Каган, В.А. Кобылянский и др.) [1; 2] и этнокультурный (Ч.К. Ламажаа и др.) [3] подходы, детерминирующие формирование лично-

сти как носителя и создателя системы ценностей, нравственных идеалов, историко-культурных скрепов, проектирующего традиции, духовные ценности народа, этическое отношение к природе, к самому себе как части природы, к последующему поколению как продолжению человечества и цивилизации в целом.

Современные исследователи изучение окружающей среды рассматривают в контексте воздействия отходов промышленного производства на экологию (Игнатъева И.А. и др.) [4]; загрязнения экосистем, в том

числе Севера и Арктической зоны (Саввинов Г.Н., Надькин В.Б. и др.) [5; 6]; сохранения традиционных видов хозяйствования, образа жизни и культуры коренных народов Арктики (Алексеева Е.К., Мостахова Т.С., Пахомов А.А. и др.) [7; 8]. Исследованию перспектив городской экологии, экосистем, ландшафта, агроэкосистем в условиях урбанизации и развивающейся системы человека и окружающей среды городских агломераций посвящены работы ученых Цзяньго Ву, Хаоран Чжао и др. [9; 10].

Данная статья подготовлена в рамках реализации международного научного проекта Российского фонда фундаментальных исследований «Влияние социокультурной и экологической среды на этику и мировоззрение современного педагога как субъекта формирования личности, образа жизни и инновационного мышления обучающихся в России и Монголии». Одной из задач, поставленной перед исполнителями проекта, явилось изучение экологической ситуации и окружающей среды в России (на примере Якутии) и Монголии (Улан-Батор).

#### **Материалы и методы исследования**

В качестве методического инструментария изучения экологической ситуации, характеризующей состояние окружающей среды Якутии, Монголии, определены: методы сбора, обработки и анализа материалов, такие как наблюдение; информационный поиск, систематизация, агрегирование данных; фактологический, историко-культурный, сравнительно-сопоставительный анализ документов (государственные доклады «О состоянии и охране окружающей среды Республики Саха (Якутия) за 2011–2017 гг.»), источников, научных трудов, открытых информационных ресурсов (Министерства природных ресурсов и экологии РФ, Министерства экологии, природопользования и лесного хозяйства РС (Я), общественной экологической организации «Эйгэ», сетевого издания SakhaLife, интернет-издания uhhan.ru, информационного агентства REGNUM, межрегионального общественного экологического движения «ЭКА», экологической сети «ЭКОДЕЛО» и др.) об эволюции общества и природы, состоянии естественной среды.

В рамках проекта с целью определения экологических проблем в Якутии, Монголии проведено анкетирование среди студентов, магистрантов, аспирантов, преподавателей Северо-Восточного федерального университета имени М.К. Аммосова (Якутск), Российского экономического уни-

верситета имени Г.В. Плеханова (Москва), Монгольского государственного университета культуры и искусств (Улан-Батор). Выборка респондентов осуществлялась, с одной стороны, по региональному признаку, то есть по месту проживания исполнителей, а с другой – выбраны гг. Москва и Улан-Батор, являющиеся мегаполисами с многомиллионным населением и развитой инфраструктурой, крупный на северо-востоке России г. Якутск, также с развитой инфраструктурой и схожими климатическими условиями со столицей Монголии.

#### **Результаты исследования и их обсуждение**

Якутия – один из крупных регионов Северо-Востока России, занимает территорию 3100 млн кв. км, значительная часть которой расположена в зоне многолетней мерзлоты. Климат Якутии резко континентальный, так как зимой температура опускается до  $-60^{\circ}\text{C}$ , а летом может подниматься до  $+40^{\circ}\text{C}$ . Здесь представлены разнообразные сообщества четырех природных зон: арктической пустыни, тундры, лесотундры и тайги, а также горные ландшафты с их высотной поясностью. Поскольку почти треть населения Якутии живет в г. Якутске и практически все вузы и НИИ находятся здесь же, мы провели анкетирование в крупнейшем Северо-Восточном федеральном университете им. М.К. Аммосова, где учатся студенты со всех районов (улусов) Якутии.

Основные данные по состоянию экологической ситуации мы получили из Государственных докладов Министерства охраны природы Республики Саха (Якутия), изданных за последние 10 лет – в 2019 г. министерство стало именоваться Министерством экологии, природопользования и лесного хозяйства РС (Я). По результатам проведенного анализа материалов определено, что в целом экоситуация в Якутии оценивается как удовлетворительная, хотя, по данным рис. 1 и 2, с каждым годом выбросы загрязняющих веществ увеличиваются, а техническая оснащенность их вылавливания в разные годы была неодинакова, только после 2014 года немного улучшилась.

В то же время в целом по России отмечено превышение концентрации загрязняющих веществ поверхностных вод, воздуха и атмосферы, особенно в городах и на территории Арктической зоны. В основном водоемы республики характеризуются как 3-й класс – «очень загрязненная», а также 4-й класс – разряд «загрязненная» (таблица).



Рис. 1. Диаграмма выбросов и улавливания загрязняющих веществ (ЗВ), отходящих от стационарных источников, за 2006–2015 гг. \*

\* – по данным Министерства охраны природы РС (Я): Доклад об экологической ситуации в Республике Саха (Якутия) за 2011 г., 2012, 2013, 2014, 2015 гг. [11].

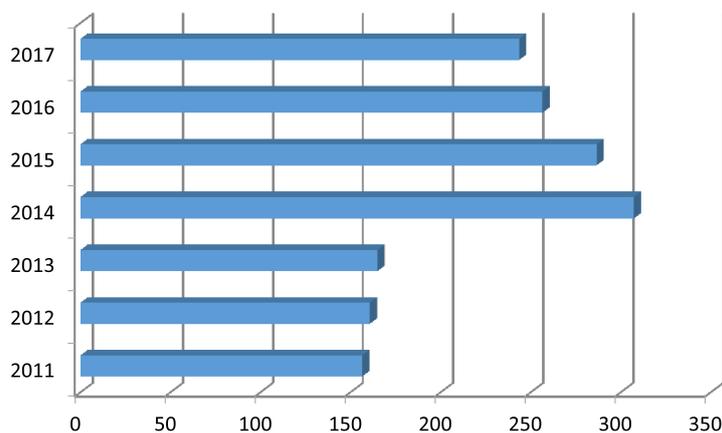


Рис. 2. Выбросы загрязняющих веществ (ЗВ), отходящих от стационарных источников, за 2011–2017 гг., тыс. тонн\*

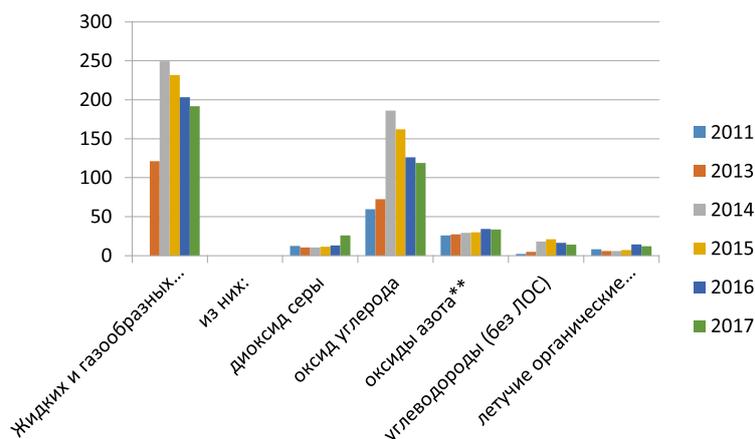


Рис. 3. Выбросы жидких и газообразных веществ

\* – по данным Министерства экологии, природопользования и лесного хозяйства РС(Я): Государственный доклад «О состоянии и охране окружающей среды Республики Саха (Якутия)» за 2011 г., 2012, 2012, 2013, 2014, 2015, 2016, 2017 гг. [11];

\*\* – в пересчете на  $NO^2$

## Классификация степени загрязненности поверхностных вод\*\* за 2011–2015 гг.\*

Реки	2011	2012	2013	2014	2015
Лена	3-й класс, разряды «а», «б»	3-й класс, разряд «б»	3-й класс, разряд «б»	3-й класс, разряд «б»	3-й класс, разряд «б»
Виллой	3-й класс, разряд «б»	2-й класс	3-й класс, разряд «а»	3-й класс, разряды «а», «б»	3-й класс, разряды «а», «б»
Алдан	4-й класс, разряд «б»	3-й класс, разряды «а», «б»	4-й класс, разряд «б»; 3-й класс, разряды «а», «б»	4-й класс, разряд «б»; 3-й класс, разряды «а», «б»	4-й класс, разряд «б»; 3-й класс, разряды «а», «б»
Яна	4-й класс, разряд «а»	3-й класс, разряд «б»	3-й класс, разряды «а», «б»	4-й класс, разряд «а»	4-й класс, разряды «а», «б»
Индибирка	3-й класс, разряд «б»	3-й класс, разряд «б»	3-й класс, разряд «б»	4-й класс, разряд «а»	3-й класс, разряды «а», «б»
Оленек	3-й класс, разряд «б»	3-й класс, разряд «б»	3-й класс, разряд «а»	3-й класс, разряд «а»	3-й класс, разряд «а»
Анабар	4-й класс, разряд «б»	3-й класс, разряд «б»	3-й класс, разряд «б»	3-й класс, разряд «б»	4-й класс, разряд «а»
Кольма	2-й класс	2-й класс	3-й класс, разряды «а», «б»	3-й класс, разряд «а»	3-й класс, разряды «а», «б»

Примечание. \* – по данным Министерства экологии, природопользования и лесного хозяйства РС(Я): Государственный доклад «О состоянии и охране окружающей среды Республики Саха (Якутия)» за 2011 г., 2012, 2013, 2014, 2015 гг. [11]; \*\* – 1-й класс – «условно чистая», 2-й класс – «слабо загрязненная», 3-й класс, разряды «а» – «загрязненная» и «б» – «очень загрязненная», 4-й класс, разряды «а» – «загрязненная» и «б» – «очень загрязненная», 5-й класс – «экстремально грязная».

Таким образом, данные о загрязнении арктических рек свидетельствуют о таких процессах, как подвижность токсичных соединений, накопления их в донных отложениях, нарушение гидрохимического состава рек, сокращение нерестовых площадей, исчезновение некоторых популяций рыб, снижение и ухудшение качества биоресурсов Арктики [5].

Отчетливо просматривается тенденция воздействия вредных производственных факторов на окружающую среду и прилегающих территорий деятельностью предприятий энергетики, горной и добывающей промышленности.

В 2018 г. значительный урон нанесен рекам Малая Ботуобия, Ирелях и Виллой вследствие прорыва воды от дамб Мирнинского ГОКа АК «АЛРОСА» (ПАО). В начале прорыва нормативы ПДК в устье реки Ирелях превысили во много раз: концентрация взвешенных веществ, мг/дм<sup>3</sup>, в с. Сунтар – 107, в г. Нюрба – 86, ПДК хоз/пит соответственно в 7,8 и 3 раза [12; 13].

Впоследствии специалистами Министерства экологии, природопользования и лесного хозяйства Республики Саха (Якутия), учеными Якутии, Иркутска осу-

ществляется мониторинг и надзор за состоянием водной среды, почвы, био- и экосистем рек, подвергшихся техногенному воздействию в результате прорыва дамб в зоне промышленной разработки месторождений алмазов. До сих пор в обществе достаточно остро воспринимается данная экологическая катастрофа, затрагивающая здоровье, жизнедеятельность, быт и условия хозяйствования жителей Виллойской группы улусов (районов) республики. Экологический дискурс явился основой консолидации различных структур гражданского общества, активизации общественных организаций.

Монголия также является одной из крупных территорий в Центральной Азии с экстремальными природно-климатическими условиями, с разницей температур лета и зимы под 90 °С, с малым количеством осадков [14].

В современной Монголии в такой же степени интенсивности развивается золотодобывающая промышленность с большим объемом добычи золота, с использованием дражного метода и неполным восстановлением растительности. Как отмечают исследователи, горнорудная про-

мышленность составляет значительный процент (30 %) в производстве национального валового продукта страны [15]. В золотодобывающей промышленности Монголии, кроме 350 официальных компаний, достаточно активны нелегальные золотодобытчики, индивидуальные старатели, наносящие значительный урон экологии. Анализируя антропогенные нарушения экосистем на стационарных условиях, установили 6 групп наиболее опасных процессов, а именно: внедрение сорных видов растений и вредных насекомых; увеличение эрозийных процессов в ландшафтах, обеднение и ухудшение почвенно-растительного покрова. Также в результате пожаров и несанкционированной вырубки уничтожаются леса, что приводит к полной реконструкции лесов, из-за чего меняется даже ботанический состав степей и пастбищ [16].

В контексте обсуждения проблем экосреды городских агломераций наиболее актуально регулирование процесса внутренней миграции населения Монголии в столицу страны. Улан-Батор – мегаполис, в котором находится треть всего населения Монголии. Приток жителей в город прежде всего связан с социально-экономическими, экологическими проблемами сельских жителей: уменьшение пастбищ для скота в результате обмеления рек, засухи, интенсивного разрастания пустыни, появления термокарстовых образований, промышленного освоения территории и, как следствие, смены традиционного образа и места жизни. Внутренняя миграция сопровождается специфическим явлением, так называемыми юрточными кварталами (переносные каркасные жилища кочевников с войлочным покрытием), отапливаемые углем, дровами, подручными средствами, и в результате – высокий уровень смога, внутренние отходы, загрязнение атмосферы и окружающей среды.

Авторы при посещении Монголии воочию видели, насколько большой антропогенный пресс осуществляется на степные пастбища, где повсюду паслись тысячи голов овец, сотни лошадей и даже верблюдов. На себе испытали загрязненность воздуха в Улан-Баторе, где около юрточных кварталов было трудно дышать. Проблемы эти еще не разрешены, но взяты под контроль.

Также в рамках проекта с целью выявления проблем, характерных для экологической ситуации в Якутии, России, Монго-

лии, проведено анкетирование студентов, магистрантов, аспирантов, преподавателей (всего участвовали 600 респондентов) трех вузов: Северо-Восточного федерального университета имени М.К. Аммосова (Якутск), Российского экономического университета имени Г.В. Плеханова (Москва), Монгольского государственного университета культуры и искусств (Улан-Батор), в анкету включены вопросы, разработанные Российским обществом социологов (рис. 4, 5).

Результаты анкетирования свидетельствуют о том, что, по мнению большинства респондентов, экологическая ситуация в России (64 %) и Монголии (46 %) ухудшилась. Респонденты при ранжировании проблем экосреды единогласно выделили проблемы качества воды и воздуха, связанные с ними проблемы качества продуктов (100 %), также большую озабоченность (более 70 %) вызывает санитарное состояние района проживания и свалки промышленных отходов. Состояние лесов, степей и животного мира в целом, а также чрезвычайные ситуации вызывают тревогу у жителей северного региона России и населения Монголии. Состояние здоровья населения, а также парков, пляжей и вообще зон рекреации беспокоит больше москвичей, жителей центральной части России.

При опросе об источниках вреда респонденты всех трех регионов практически были единогласны: наибольший вред окружающей природе и человеку наносят промышленные производства и связанные с ними вредные выбросы, отходы (87%; 89%; 88 %), потребительское отношение к «чужим» территориям, нехватка и отсутствие предприятий по управлению отходами (в том числе радиоактивными), плохое состояние дорог (особенно в Монголии и Якутии). Начинает вызывать тревогу рост производства одноразовых предметов, распространение ГМО и стремление работодателей к увеличению прибыли любой ценой.

В сфере общественных отношений выделены в основном потребительское отношение к природе, низкая экологическая культура населения (86 % ответов как российских, так и монгольских респондентов). Кроме того, как отметили респонденты при анкетировании, существует неосознанное пренебрежение к окружающей среде, связанное с ошибочным убеждением неисчерпаемости природных ресурсов.

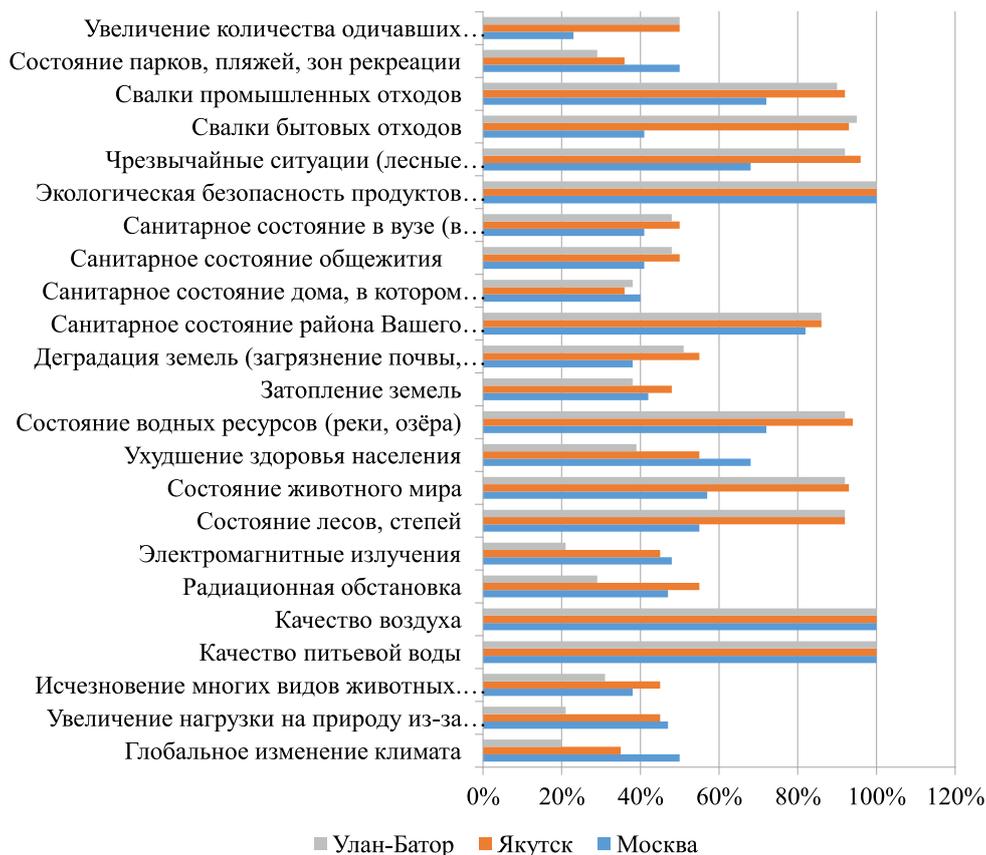


Рис. 4. Ответы на вопросы социологической анкеты

### Заключение

На основе наблюдений, фактологического, сравнительно-сопоставительного анализа документов, источников, открытых информационных ресурсов о состоянии природной среды, естественных экосистем, о происходящих процессах и явлениях, в том числе природных и антропогенных, влияющих на состояние окружающей среды, экоситуация в Якутии оценивается как удовлетворительная; в то же время по России отмечено превышение концентрации загрязняющих веществ поверхностных вод, воздуха и атмосферы. В современной Монголии в такой же степени интенсивности развиваются горнорудная, золотодобывающая промышленности, наносящие значительный урон экологии.

Изучение динамики и анализ антропогенного нарушения экосистем Монголии позволили установить, что наиболее опасными процессами, формирующими экологические проблемы и определяющими экологические риски при социально-эко-

номическом развитии страны, являются промышленные предприятия, сельское хозяйство и внутренняя миграция населения в столицу.

Проведение сравнительного анализа результатов анкетирования по выборке российских и монгольских респондентов и обработка материала показали, что проблемы экологии для респондентов Якутии, России, Монголии в числе значимых практически одинаковы, что показывает идентичность экологических проблем в данных регионах. Респондентами обозначены меры, необходимые для улучшения экоситуации – прежде всего ответственность населения за сохранение природной среды и связанные с ней экологические грамотность и культура; внимание правительств стран к проблемам в экологической сфере; повышение ответственности и наказание виновных в ухудшении экоситуации, также большие надежды анкетированные возлагают на деятельность общественных экологических организаций, организаций самоуправления на местах.



Рис. 5. Источники вреда окружающей среде

Результаты исследования представляют интерес для широкого круга специалистов не только сферы природопользования и охраны окружающей среды, но и в области социогуманитарных наук. Материал может послужить основой для дальнейших исследований в зарубежных странах с близкими социокультурными, экологическими системами.

Статья подготовлена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (РФФИ), проект № 17-26-03003-ОГН\19.

**Список литературы / References**

1. Каган М.С. Системный подход и гуманитарное знание: Избр. ст. Л.: Изд. ЛГУ, 1991. 383 с.  
 Kagan M.S. A Systems Approach and Humanitarian Knowledge: Fav. Art. L.: Izd. LGU, 1991. 383 p. (in Russian).

2. Кобылянский В.А. Философия экологии: исходные понятия и проблемы образования // Байкальский психологический и педагогический журнал. 2005. № 5–6. С. 65–72.

Kobylyansky V.A. Philosophy of ecology: initial concepts and problems of education // Baykal'skiy psikhologicheskii i pedagogicheskii zhurnal. 2005. № 5–6. P. 65–72 (in Russian).

3. Ламажаа Ч.К. Социокультурный неотрадиционализм // Знание. Понимание. Умение. 2012. № 3. С. 350–353.

Lamazhaa C.K. Sociocultural neotraditionalism // Znaniye. Ponimaniye. Umeniye. 2012. № 3. P. 350–353 (in Russian).

4. Игнатьева И.А. Особенности правового регулирования в области обращения с отходами производства и потребления в Арктической зоне Российской Федерации // Российский юридический журнал. 2018. № 2 (119). С. 159–172.

Ignatyeva I.A. Features of legal regulation in the field of waste management of production and consumption in the Arctic zone of the Russian Federation // Rossiyskiy yuridicheskiy zhurnal. 2018. № 2 (119). P. 159–172 (in Russian).

5. Саввинов Г.Н. Экосистемы Якутской Арктики в условиях современного природопользования и трансформации климата // Вестник Северо-Восточного федерального университета им. М.К. Аммосова. 2017. № 1 (57). С. 35–43.

- Savvinov G.N. Ecosystems of the Yakut Arctic under the conditions of modern nature management and climate transformation // *Vestnik Severo-Vostochnogo federal'nogo universiteta im. M.K. Ammosova*. 2017. № 1 (57). P. 35–43 (in Russian).
6. Алексеева И.С., Надькин В.Б., Осипова О.П. Экологические представления общества Якутии с 1985 г. по настоящее время // *Знание. Понимание. Умение*. 2018. № 2. С. 149–158. DOI: 10.17805/zpu.2018.2.14.
- Alekseeva I.S., Nadkin V.B., Osipova O.P. Environmental Ideas of the Society of Yakutia From 1985 to the Present // *Znaniye. Ponimaniye. Umeniye*. 2018. № 2. P. 149–158 (in Russian).
7. Алексеева Е.К. Сохранение, распространение и использование традиционных знаний как основы развития традиционных видов хозяйственной деятельности, образа жизни и культуры коренных народов Арктики // *Языки коренных народов как фактор устойчивого развития Арктики: сборник материалов Международной научно-практической конференции*. Якутск, 2019. С. 280–283. DOI: 10.25693/NPK2019AlekseK
- Alekseeva E.K. Preservation, dissemination and use of traditional knowledge as the basis for the development of traditional types of economic activity, lifestyle and culture of the indigenous peoples of the Arctic // *Indigenous languages as a factor in the sustainable development of the Arctic: Proceedings of the International Scientific and Practical Conference*. Yakutsk, 2019. P. 280–283 (in Russian).
8. Пахомов А.А., Мостахова Т.С. Взаимодействие коренных малочисленных народов севера и компаний-недропользователей: проблемы этнологической экспертизы в Республике Саха (Якутия) // *Вестник Северо-Восточного федерального университета им. М.К. Аммосова*. 2017. № 4 (08). С. 6–14.
- Pakhomov A.A., Mostakhova T.S. Interaction of small indigenous peoples of the north and subsoil user companies: problems of ethnological expertise in the Republic of Sakha (Yakutia) // *Vestnik Severo-Vostochnogo federal'nogo universiteta im. M.K. Ammosova*. 2017. № 4 (08). P. 6–14 (in Russian).
9. Wu Jianguo Urban ecology and sustainability: The state-of-the-science and future directions(Article). *Landscape and Urban Planning*. 2014. vol. 125. P. 209–221. DOI: 10.1016/j.landurbplan.2014.01.018.
10. Haoran Zhao. Evaluating the comprehensive benefit of eco-industrial parks by employing multi -criteria decision making approach for circular economy. *Environmental Science and Pollution Research*. 2018. vol. 20. no. 3. P. 1229–125.
11. Доклады о состоянии окружающей среды. Министерство экологии, природопользования и лесного хозяйства Республики Саха (Якутия). [Электронный ресурс]. URL: <https://minpriroda.sakha.gov.ru/doklady-o-sostojanii-okruzhajushej-sredy> (дата обращения: 11.06.2020).
- Reports on the state of the environment. Ministry of ecology, nature management and forestry of the Republic of Sakha (Yakutia). [Electronic resource]. URL: <https://minpriroda.sakha.gov.ru/doklady-o-sostojanii-okruzhajushej-sredy> (date of access: 11.06.2020) (in Russian).
12. Волкова Л.С. О республиканском информационно-аналитическом центре экологического мониторинга // *Арктика. XXI век. Естественные науки*. 2017. № 1. С. 32–37.
- Volkova L.S. About the republican information and analytical center for environmental monitoring // *Arktika. XXI vek. Yeststvennyye nauki*. 2017. № 1. P. 32–37 (in Russian).
13. Хронология событий загрязнения реки Вилюй [Электронный ресурс]. URL: <https://minpriroda.sakha.gov.ru/news/front/view/id/2937955> (дата обращения: 11.06.2020).
- Chronology of the Vilyui River Pollution [Electronic resource]. URL: <https://minpriroda.sakha.gov.ru/news/front/view/id/2937955> (date of access: 11.06.2020) (in Russian).
14. *Ecosystems of Mongolia Atlas*. М., 2005. 48 p.
15. Ширапова С.Д. Социально-экологические проблемы Монголии, связанные с добычей золота на реках – притоках реки Селенга. Экологическая сеть «ЭКОДЕЛО». [Электронный ресурс]. URL: [https://ecodelo.org/2540sotsialnoekologicheskie\\_problemy\\_mongolii\\_svyazannye\\_s\\_dobychei\\_zolota\\_na\\_rekakh\\_pritokakh\\_reki](https://ecodelo.org/2540sotsialnoekologicheskie_problemy_mongolii_svyazannye_s_dobychei_zolota_na_rekakh_pritokakh_reki) (дата обращения: 11.06.2020).
- Shirapova S.D. Socio-environmental problems of Mongolia associated with gold mining on rivers – tributaries of the Selenga river // *Ecological network «ECODELO»* [Electronic resource]. URL: [https://ecodelo.org/2540sotsialnoekologicheskie\\_problemy\\_mongolii\\_svyazannye\\_s\\_dobychei\\_zolota\\_na\\_rekakh\\_pritokakh\\_reki](https://ecodelo.org/2540sotsialnoekologicheskie_problemy_mongolii_svyazannye_s_dobychei_zolota_na_rekakh_pritokakh_reki) (date of access: 11.06.2020) (in Russian).
16. Баяраа У., Казённов В.В. Экологические проблемы некоторых районов Монголии и трансграничных территорий // *Вестник МГСУ*. 2011. № 6. С. 605–610.
- Bayaraa U., Kazyonnov V.V. Ecological problems of some regions of Mongolia and transboundary territories // *Vestnik MGSU*. 2011. № 6. P. 605–610 (in Russian).

УДК 502/504

## МОНИТОРИНГ И БЛОКИРОВАНИЕ УГРОЗ БИОЛОГИЧЕСКОГО ХАРАКТЕРА ПРИ ОБЕСПЕЧЕНИИ БЕЗОПАСНОСТИ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ И НАУЧНЫХ УЧРЕЖДЕНИЙ

<sup>1</sup>Денисов О.В., <sup>2</sup>Пономарев А.Е., <sup>2</sup>Пономарева И.А., <sup>1</sup>Мереняшев В.Е., <sup>1</sup>Андреева Е.С.

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет», Ростов-на-Дону,

*e-mail: ovd63@mail.ru, espmeteo@yandex.ru;*

<sup>2</sup>ФГАОУ ВО «Южный федеральный университет», Ростов-на-Дону,

*e-mail: ae\_ponomarev@mail.ru, ia\_ponomareva@mail.ru*

В статье рассматриваются так называемые *энвайронментологические риски*, которые обуславливаются появлением новых видов биологических угроз вследствие той или иной деятельности населения. В этой связи авторы излагают концепцию безопасности образовательных и научных учреждений, принимающую во внимание спектр указанных выше новых угроз, вызовов современности, которые проявляются в форме новых видов опасностей невоенного, латентного характера. Целью настоящего исследования явилась разработка условий надёжного блокирования биологических угроз образовательных и научных учреждений на примере элементарной модели перемещения биологической угрозы. Основными методами исследования, в свою очередь, были аналитические, а также методы моделирования. Система биологической защиты образовательных и научных учреждений рассмотрена как организационная открытая система, зависящая от внешних условий. В качестве исходных данных принята условная ситуация, при которой очаг коронавирусной инфекции располагается вблизи города *C* в аэропорту. Образовательные и научные учреждения находятся в городе *N*. Расстояние от очага заражения до города *N* составляет 34 км. Скорость перемещения носителя биологической угрозы может быть от 5 до 80 км в час (пешеход, вело-, авто- и мототранспорт) в условиях пробок и при отсутствии таковых на рассматриваемой магистрали. Результаты модельных расчётов показали, что чем больше значение, тем выше «запас прочности» по факту своевременного принятия решения на купирование очага. Отрицательные значения представляют собой тревожный вариант, при котором биологическая угроза преодолевает защитный рубеж, обозначенный руководством образовательного и научного учреждения. Разработанные условия надёжного блокирования биологических угроз образовательных научных учреждений позволяют определить управляемые параметры модели обеспечения безопасности. Очевидно, что снижение скорости перемещения потенциально заражённого объекта, а также сокращение времени оперативного обнаружения и реагирования позволит снизить вероятность проникновения биологической угрозы на объекты образовательных и научных учреждений.

**Ключевые слова:** образовательные и научные учреждения, безопасность, мониторинг, биологические угрозы, коронавирус

## MONITORING AND BLOCKING BIOLOGICAL THREATS WHILE ENSURING THE SECURITY OF EDUCATIONAL AND SCIENTIFIC INSTITUTIONS

<sup>1</sup>Denisov O.V., <sup>2</sup>Ponomarev A.E., <sup>2</sup>Ponomareva I.A., <sup>1</sup>Merenyashev V.E., <sup>1</sup>Andreeva E.S.

<sup>1</sup>Don State Technical University, Rostov-on-Don, *e-mail: ovd63@mail.ru, espmeteo@yandex.ru;*

<sup>2</sup>Southern Federal University, Rostov-on-Don, *e-mail: ae\_ponomarev@mail.ru, ia\_ponomareva@mail.ru*

The article deals with the so-called environmental risks that are caused by the appearance of new types of biological threats due to various activities of the population. In this regard, the authors present the concept of security of educational and scientific institutions, taking into account the range of the above-mentioned new threats and challenges of our time, which are manifested in the form of new types of non-military, latent dangers. The purpose of this study was to develop conditions for reliable blocking of biological threats in educational and scientific institutions on the example of an elementary model of moving a biological threat. The main research methods, in turn, were analytical and modeling methods. The system of biological protection of educational and scientific institutions is considered as an open organizational system that depends on external conditions. As the initial data, a conditional situation is accepted, in which the focus of coronavirus infection is located near the city *C* at the airport. Educational and scientific institutions are located in the city of *N*. The distance from the center of infection to the city of *N* is 34 kilometers. The speed of movement of a biological threat carrier can be in the range of 5 to 80 kilometers per hour (pedestrian, Bicycle, auto, and motor transport) in traffic jams and in the absence of such on the highway under consideration. The results of model calculations showed that the higher the value, the higher the «margin of safety» in the fact of timely decision-making to stop the focus. Negative values represent an alarming variant, in which the biological threat overcomes the protective barrier designated by the management of an educational and scientific institution. The developed conditions for reliable blocking of biological threats in educational scientific institutions allow us to determine the controlled parameters of the security model. It is obvious that reducing the speed of movement of a potentially infected object, as well as reducing the time for rapid detection and response, will reduce the probability of penetration of a biological threat to the objects of educational and scientific institutions.

**Keywords:** educational and scientific institutions, security, monitoring, biological threats, coronavirus

Ситуация во всем мире характеризуется прогрессирующим увеличением социальных, экономических и экологических потерь от кризисных ситуаций. Причины

такого увеличения обусловлены комплексными проблемами, в частности, активизацией опасных процессов, вызванной неоптимальной экономической деятельностью

на местах, и ошибками стратегического характера по обеспечению безопасности, включая эффективное противодействие *энвайронментологическим рискам* биологического характера.

Как показывают события недавнего прошлого, уже в начале XXI в. мировое сообщество вошло в область так называемых «мега рисков», доказав адекватность появившегося определения современного общества как «общества риска» [1–3].

Представляется, что принципиально новые виды угроз могут преодолевать с определенной долей успешности современные частично закрытые общества. Соотношение опасности и безопасности в таком «обществе риска» можно представить в виде листа Мебиуса, который демонстрирует плавное и бесконечное перетекание опасности в безопасность и наоборот, что обуславливает динамичность или нестабильность указанных состояний [4]. В этой связи эффективность системы комплексной безопасности образовательных и научных учреждений, безусловно, характеризуется динамичностью и определяется рядом факторов. Так, важнейшими условиями обеспечения безопасности именно образовательных и научных учреждений являются социальные факторы, а также медицинское и санитарно-гигиеническое обеспечение [5–7]. При этом необходимо иметь в виду, что обеспечение безопасности образовательных и научных учреждений зависит от человеческого фактора, от степени профессионализма работников, от грамотности и компетентности людей, отвечающих за безопасность образовательных и научных учреждений, от подготовленности к действиям в чрезвычайных и кризисных ситуациях.

Целью настоящего исследования явилась разработка условий надёжного блокирования биологических угроз образовательных и научных учреждений на примере условной угрозы.

#### Материалы и методы исследования

Основными методами исследования явились аналитические методы и метод моделирования, изложенный в работах [8, 9].

Систему биологической защиты образовательных и научных учреждений можно рассматривать как организационную открытую систему, зависящую от внешних условий. Исходное состояние указанной системы после оценки обстановки задано в виде

характеристик состояния исследуемых элементов на определённый момент времени, а также выходных характеристик предыдущих этапов деятельности. В первом случае исходное состояние системы характеризуется готовностью образовательных и научных учреждений к чрезвычайным ситуациям, а во втором – требует согласования выходных характеристик и данных для последующих этапов.

Введем вероятность успешного выполнения задачи медико-санитарным подразделением образовательного и научного учреждения ( $P$ ):

$$P = P_a \cdot P_b \cdot P_c, \quad (1)$$

где  $P_a$  – вероятность своевременного обнаружения биологической опасности;

$P_b$  – вероятность успешного блокирования биологической опасности в районе обнаружения;

$P_c$  – вероятность купирования биологической опасности.

В качестве показателей эффективности мониторинга биологических угроз образовательным и научным учреждением рассматриваются: вероятность обнаружения биологических угроз к заданному моменту времени; математическое ожидание времени, необходимого для обнаружения биологических угроз; математическое ожидание числа обнаруженных биологических угроз; распределение количества обнаруженных биологических угроз.

Вероятность обнаружения угрозы ( $P_a$ ) за время мониторинга (поиска) ( $\tau$ ) одним элементом обнаружения может определяться как

$$P_a = 1 - \exp(-\gamma\tau), \quad (2)$$

где  $\gamma$  – интенсивность мониторинга (поиска) (среднее число обнаружений угроз за единицу времени).

Если мониторинг проводят независимо  $n$  сил и средств, то вероятность обнаружения биологической угрозы хотя бы одним средством:

$$P_a = 1 - \exp\left[-\sum_{i=1}^n u_i(\tau)\right], \quad (3)$$

где  $u_i(\tau)$  – потенциал поиска  $i$ -м элементом сил и средств.

Для наблюдений дискретного характера, проводимых многократно в одинаковых условиях, независимо друг от друга, формулу вероятности обнаружения заражен-

ного объекта можно записать следующим образом [10]:

$$P_a = 1 - (1 - P_{a1})^m, \quad (4)$$

где  $P_{a1}$  – вероятность обнаружения зараженного объекта для единичного наблюдения,  $m$  – число единичных наблюдений.

Вероятность осуществления успешного блокирования биологической угрозы ( $P_b$ ) зависит от следующих факторов: своевременного принятия грамотного решения по блокированию биологической угрозы соответствующими лицами; времени приведения общества в целом и подразделения в частности в состояние готовности к выполнению задачи; удаленности территории (места обнаружения биологической угрозы); погодных условий; времени года и суток; умелых действий медперсонала по блокированию источника заражения; комплекса лекарственных средств и состояния специального снаряжения санитарного подразделения; характера распространения инфекции; распределения сил и средств, предназначенных для блокирования обнаруженного источника инфекции.

В случае централизованного распределения однородных средств по разнотипным объектам оптимальное распределение определяется из условия максимальной эффективности методами математического программирования.

Упрощенные аналитические методы допустимы в случае целочисленного решения задачи распределения, когда требуемая точность решения определяется в основном дискретностью переменных.

Как показано в [10], общая постановка задачи распределения при этом может иметь следующую форму. Затем определяется матрица распределения,

$$C = \begin{pmatrix} m_{11} & \dots & m_{1i} & \dots & m_{1k} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ m_{v1} & \dots & m_{vi} & \dots & m_{vk} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ m_{s1} & \dots & m_{si} & \dots & m_{sk} \end{pmatrix}, \quad (5)$$

которая сдерживает биологическую угрозу  $a$ , минимизируя ее «эффективность» с учетом системы ограничений:

$$C_1 n_1 + C_2 n_2 + \dots + C_i n_i + \dots + C_k n_k \leq M, \quad (6)$$

где  $m_{vi}$  – количество сил и средств  $v$ -го типа, выделяемых на каждый очаг биологической угрозы  $i$ -го типа;  $n_i$  – число очагов биологической угрозы  $i$ -го типа;  $k$  – число типов

очагов биологической угрозы;  $C_i$  –  $i$ -й вектор-столбец матрицы  $C$ ;  $M$  – вектор-столбец распределяемых сил и средств.

В случае однотипных средств распределение характеризуется вектором [10]:

$$C = \{m_1, m_2, \dots, m_i, \dots, m_k\}. \quad (7)$$

Система ограничений при этом записывается следующим образом:

$$\sum_{i=1}^k m_i n_i \leq M. \quad (8)$$

Как представляется, реальные условия осуществления описываемой биологической угрозы всегда сопровождается неопределенность реализации искомого события, что необходимо учитывать. Кроме того, фактически редко выполняется одно, конкретное распределение случайной величины, по этой причине обычно модели учитывают комбинированное распределение, которое обеспечивается обычно заданием так называемого коэффициента централизации [10]. Последний представляет собой численную интегральную характеристику, включающую долю средств и сил противодействия биологической угрозе с учетом принципа централизации.

Процедура уточнения расположения точечных источников заражения связана с осуществлением задачи перемещения сил и средств в район реализации биологической угрозы в соответствии с обнаруженным на предыдущей ступени очагом. В этой связи в качестве так называемых выходных характеристик рассматриваемой процедуры уточнения могут присутствовать следующие [10]: точность уточнения точечных источников заражения  $\Delta_{\text{н}}$ ; вероятность уточнения точечных источников заражения  $P_{\text{н}}(\tau)$  к заданному моменту времени; математическое ожидание времени уточнения точечных источников заражения  $t_{\text{н}}$ . Могут быть использованы также дополнительные характеристики для упрощения решения основной задачи.

Интенсивность обнаружения точечных источников биологического заражения с помощью одного подвижного средства или персонала, противодействующих исследуемой угрозе, рассчитывается по следующей формуле:

$$\gamma = \frac{2D_{\text{обн}} v_{cp}}{S_p}, \quad (9)$$

где  $D_{\text{обн}}$  – дальность обнаружения точечных источников заражения;  $v_{cp}$  – скорость перемещения персонала или средства противо-

действия биологической угрозе;  $S_p$  – площадь района поиска.

Если рубеж блокирования биологической угрозы образовательным и научным учреждением выбран верно, то условие выполнения задачи медико-санитарным подразделением по блокированию очага биологической угрозы имеет вид

$$(S - v \cdot t) / v > 0, \quad (10)$$

где  $S$  – протяженность предполагаемого «пути» биологической угрозы до вероятного рубежа блокирования;  $t$  – время блокирования от момента обнаружения биологической угрозы до подачи сигнала к выполнению задачи блокирования, учитывая время готовности личного состава к выполнению задачи и время непосредственного развертывания сил и средств на рубеже блокирования очага;  $v$  – предполагаемая скорость распространения биологической угрозы.

#### Результаты исследования и их обсуждение

Рассмотрим практическое применение предложенного условия надёжного блокирования биологических угроз образовательным и научным учреждением на примере условной угрозы.

В качестве исходных данных примем условную ситуацию. Очаг коронавирусной инфекции располагается вблизи города  $C$  в аэропорту. В аэропорту находятся

до 100 заражённых. Образовательные и научные учреждения находятся в городе  $H$ . Расстояние от очага заражения до города  $H$  принимается равным 34 км. Предположим, что скорость перемещения носителя биологической угрозы может быть от 5 до 80 км в час (пешеход, вело-, авто- и мототранспорт) в условиях пробок и при отсутствии таковых на рассматриваемой магистрали.

Результаты модельных расчётов по условию (10) представлены в табл. 1, 2.

В табл. 1 представлены результаты расчета предполагаемого расстояния до города  $H$  в момент обнаружения и блокирования потенциальной биологической угрозы («защита расстоянием») при различных входящих переменных времени реагирования ( $t$ ) и скорости передвижения потенциальной угрозы ( $v$ ).

В табл. 2 аналогичный расчет представлен для показателя времени, оставшегося до проникновения угрозы в место расположения образовательного или научного учреждения («защита временем»).

Анализ данных, размещенных в табл. 1 и 2, показал, что чем больше значение, тем выше «запас прочности» по факту своевременного принятия решения на купирование очага. Отрицательные значения представляют собой тревожный вариант, при котором биологическая угроза преодолевает защитный рубеж, обозначенный руководством образовательного и научного учреждения.

Таблица 1

Результат расчета по принципу «защита расстоянием»

		$t, \text{ч}$							
		0,25	0,5	0,75	1	1,25	1,5	1,75	2
$v, \text{км/ч}$	5	32,8	31,5	30,3	29	27,8	26,5	25,3	24
	10	31,5	29	26,5	24	21,5	19	16,5	14
	20	29	24	19	14	9	4	-1	-6
	40	24	14	4	-6	-16	-26	-36	-46
	60	19	4	-11	-26	-41	-56	-71	-86
	80	14	-6	-26	-46	-66	-86	-106	-126

Таблица 2

Результат расчета по принципу «защита временем»

		$t, \text{ч}$							
		0,25	0,5	0,75	1	1,25	1,5	1,75	2
$v, \text{км/ч}$	5	6,3	5,8	5,3	4,8	4,3	3,8	3,3	2,8
	10	3,15	2,9	2,65	2,4	2,15	1,9	1,65	1,4
	20	1,45	1,2	0,95	0,7	0,45	0,2	-0,1	-0,3
	40	0,6	0,35	0,1	-0,2	-0,4	-0,7	-0,9	-1,2
	60	0,32	0,07	-0,2	-0,4	-0,7	-0,9	-1,2	-1,4
	80	0,18	-0,1	-0,3	-0,6	-0,8	-1,1	-1,3	-1,6

К сопутствующим факторам, не рассматриваемым в данной модели, но способным оказывать влияние на вероятность успешного блокирования очага инфекции, например последующее развитие опасного инфекционного заболевания – пневмонии COVID-19, вызываемой коронавирусом SARS-CoV-2, относятся: фармацевтическая готовность (наличие потенциальной базы для массового производства известной или вновь разрабатываемой вакцины) и состояние (исправность) специальных медицинских и санитарных средств; характер действия инфекции, её изменяющаяся летальность и др.

Простое условие (5) предполагает выявление, прежде всего, реальной скорости распространения пневмонии COVID-19, вызываемой коронавирусом SARS-CoV-2 (с минимальными и максимальными границами значений), очагов инфекции, которые позволят за минимальное время определить надёжные и многоярусные рубежи и методы блокирования.

При этом важно понимать, что решение задачи осложнено неопределенностью дополнительных параметров: начальные симптомы не выражены, вакцина не получена и экспериментально не отработана, даже некоторые оптимистические прогнозы не являются положительными во всех отношениях.

### Выводы

Разработанные условия надёжного блокирования биологических угроз образовательных и научных учреждений позволяют определить управляемые параметры модели обеспечения безопасности. Очевидно, что снижение скорости перемещения потенциально заражённого объекта, а также сокращение времени оперативного обнаружения и реагирования позволят снизить вероятность проникновения биологической угрозы на рассматриваемые в статье объекты. В качестве предложений по дополнению параметров модели можно отметить принудительную корректировку в зависимости от меняющейся обстановки или корректировку по методу Монте-Карло, роль которого полезна, по мнению ряда специ-

алистов, в некоторых направлениях борьбы с подобными угрозами.

### Список литературы/References

1. Blumberg L., Regmi J., Endricks T., McCloskey B., Petersen E., Zumla A., Barbeschi M. Hosting of mass gathering sporting events during the 2013–2016 Ebola virus outbreak in West Africa: experience from three African countries. *International Journal of Infectious Diseases*. 2016. № 47. P. 38–41. DOI: 10.1016/j.ijid.2016.06.011.
2. Enderlein U., Regmi J. Strengthening public health: making the case for mass gatherings. *Public health panorama*. 2018. № 4 (01). P. 67–71.
3. Maphanga P.M., Henama U.S. The Tourism Impact of Ebola in Africa: Lessons on Crisis Management. *African Journal of Hospitality, Tourism and Leisure*. 2019. № 8 (3). P. 1–13.
4. Денисов О.В., Губеладзе О.А., Месхи Б.Ч., Булыгин Ю.И. Комплексная безопасность населения и территорий в чрезвычайных ситуациях. Проблемы и решения. Ростов н/Д: Издательский центр ДГТУ, 2016. 278 с.
5. Denisov O.V., Gubeladze O.A., Meskhi B.CH., Buligin YU.I. Comprehensive security of the population and territories in emergency situations. Problems and solutions. Rostov n/D: Izdatel'skiy centr DGTU, 2016. 278 p. (in Russian).
6. Пономарева И.А., Гуцу В.Ф. Проектирование комфортной и безопасной образовательной среды – компетенция педагога нового формата // Психолого-педагогические и физиологические аспекты построения физкультурно-оздоровительных программ и обеспечение их безопасности: сборник материалов Второй международной научной конференции. Ростов-на-Дону: ЮФУ, 2015. С. 132–137.
7. Ponomareva I.A., Gutsu V.F. Designing a comfortable and safe educational environment is the competence of a teacher in a new format // Psychological, pedagogical and physiological aspects of building fitness programs and ensuring their safety: a collection of materials of the second international scientific conference. Rostov-na-Donu: YUFU, 2015. P. 132–137 (in Russian).
8. Denisov O., Pleshko M., Ponomareva I., Merenyashev V. Scale factor management in the studies of affine models of shockproof garment elements. *E3S Web of Conferences*. 2019. Vol. 33. P. 03068. DOI: 10.1051/e3sconf/20183303068.
9. Tavan A., Tafti A.D., Nekoie-Moghadam M., Ehrampoush M., Nasab M.R.V., Tavangar H., Fallahzadeh H. Risks threatening the health of people participating in mass gatherings: A systematic review. *Journal of education and health promotion*. 2019. № 8. P. 209.
10. Wilder-Smith A., Steffen R. Mass gatherings. *Travel Medicine*. 2019. P. 383–386.
11. Andreeva E.S., Klimov P.V., Lipovitskaya I.N., Andreev S.S., Denisov O.V. Approaches to the assessment of non-carcinogenic risk to public health on the city of Rostov-on-Don. *International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM*. 2019. V. 19. № 5-2. P. 115–122.
12. Губеладзе О.А., Губеладзе А.Р., Бурдаков С.М. Исследование эффективности системы охраны подвижного ядерно- и радиационноопасного объекта // Глобальная ядерная безопасность. 2018. № 1 (26). С. 36–46.
13. Gubeladze O.A., Gubeladze A.R., Burdakov S.M. Research of the Protection System Effectiveness for a Mobile Nuclear and Radiation Hazardous Facility // *Globalnaya yadernaya bezopasnost*. 2018. № 1 (26). P. 36–46 (in Russian).

УДК 621.311.2:338.3(571.56)

## ОЦЕНКА ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СОЛНЕЧНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ДЛЯ ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ В АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЕ ЯКУТИИ

<sup>1,2</sup>Иванова И.Ю., <sup>3</sup>Ноговицын Д.Д., <sup>3</sup>Шейна З.М., <sup>3</sup>Сергеева Л.П., <sup>2</sup>Халгаева Н.А.

<sup>1</sup>Академия наук Республики Саха (Якутия), Якутск, e-mail: nord@isem.irk.ru;

<sup>2</sup>ФГБУН Институт систем энергетики им. Л.А. Мелентьева СО РАН (ИСЭМ СО РАН),  
Иркутск, e-mail: khalgaeva@isem.irk.ru;

<sup>3</sup>ФГБУН ФИЦ ЯНЦ СО РАН Институт физико-технических проблем Севера им. В.П. Ларионова  
СО РАН (ИФТПС СО РАН), Республика Саха (Якутия), Якутск, e-mail: dmitry.nogovitzyn@yandex.ru

В статье рассмотрена экономическая эффективность использования гелиоэнергетических установок для тепло- и электроснабжения в условиях арктической территории восточных регионов РФ на примере поселка Чокурдах. Поселок расположен в арктической зоне Республики Саха (Якутия) в зоне децентрализованного электроснабжения. Оценка эффективности использования солнечного излучения для энергоснабжения потребителей поселка проведена по показателям среднегодового прихода солнечной радиации для метеостанции о. Мостах (бух. Тикси), расположенной в тех же широтах, что и п. Чокурдах. Фотоэлектрическая станция и система солнечного теплоснабжения рассмотрены в качестве дополнительного источника энергии к дизельной электростанции и котельной. Исследование выполнено для неподвижных гелиоустановок, ориентированных на юг и закрепленных под углом широты местности п. Чокурдах. Для оценки производительности установок справочные данные солнечной радиации пересчитаны на наклонную поверхность. Расчеты возможной выработки электрической и тепловой энергии установками производились для трех значений КПД: для фотоэлектрических преобразователей –  $\eta = 10, 15$  и  $20\%$ , для солнечных коллекторов –  $\eta = 50, 54$  и  $60\%$ . Для выбора оптимальной мощности фотоэлектрической станции и системы солнечного теплоснабжения выполнены исследования по совмещению графика потребления и выработки электрической и тепловой энергии с последовательным увеличением мощности с целью максимального полезного использования энергии. По результатам проведенных исследований сделан вывод о приоритетности в современных ценовых условиях использования солнечной энергии на цели электроснабжения в арктической зоне восточных регионов РФ по сравнению с теплоснабжением. Расчетный срок окупаемости строительства фотоэлектрической станции оценивается в 11–23 года, системы солнечного теплоснабжения – в 40–60 лет, что объясняется природными условиями, капиталоемкостью оборудования и соотношением цен на вытесняемые дизельное топливо и сырую нефть.

**Ключевые слова:** солнечное излучение, природные условия Арктики, система солнечного теплоснабжения, фотоэлектрическая станция, оценка эффективности, вытесненное топливо, срок окупаемости

## COST-EFFECTIVENESS ANALYSIS OF SOLAR RADIATION USAGE FOR ENERGY SUPPLY IN THE ARCTIC ZONE OF YAKUTIA: THE CASE OF CHOKURDAKH SETTLEMENT

<sup>1,2</sup>Ivanova I.Yu., <sup>3</sup>Nogovitsyn D.D., <sup>3</sup>Sheina Z.M., <sup>3</sup>Sergeeva L.P., <sup>2</sup>Khalgaeva N.A.

<sup>1</sup>Academy of Sciences of the Republic of Sakha (Yakutia), Yakutsk, e-mail: nord@isem.irk.ru;

<sup>2</sup>Melentev Energy Systems Institute of Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (ESI SB RAS),  
Irkutsk, e-mail: khalgaeva@isem.irk.ru;

<sup>3</sup>The FBFI Larionov V.P. Institute of Physical and Technical problems of the North, Siberian Department  
of the Russian Academy of Science (IPTPN SB RAS), Yakutsk, e-mail: dmitry.nogovitzyn@yandex.ru

The article considers the economic efficiency of using solar power plants for heat and electricity supply in the Arctic territory of the Eastern regions of the Russian Federation on the example of the Chokurdakh settlement. The settlement is located in the Arctic zone of the Sakha Republic (Yakutia) in the zone of decentralized electricity supply. The efficiency assessment of using solar radiation for power supply to consumers of the settlement was carried out according to the indicators of the long-term annual average arrival of solar radiation for the weather station on the Isle of Mostakh (Tiksi Bay) located in the same latitudes as Chokurdakh settlement. A photovoltaic power station and a solar heat supply system are considered as an additional source of energy to a diesel power plant and boiler house. The study was performed for fixed solar installations oriented to the South and fixed at an angle with the latitudes of Chokurdakh. To assess the stations capacity, reference solar radiation data is recalculated on an inclined surface. Calculations of the possible generation of electric and thermal energy by installations were made for three efficiency factor values: for photovoltaic converters –  $\eta = 10, 15$  and  $20\%$ , for solar collectors –  $\eta = 50, 54$  and  $60\%$ . To select the optimal capacity of a photovoltaic plant and a solar heat supply system, studies were performed on combining the schedule of consumption and generation of electric and thermal energy with a sequential increase in power in order to maximize the effective use of energy. Based on the results of the research, it was concluded that the use of solar energy for power supply in the Arctic zone of the Eastern regions of the Russian Federation is a priority under modern price conditions in comparison with heat supply. The estimated payback period for the construction of a photovoltaic power station is estimated at 11 to 23 years, of solar heating – in 40-60 years, due to natural conditions, capital intensity of equipment and price ratio for the displaced diesel fuel and crude oil.

**Keywords:** solar radiation, natural environment of the Arctic, solar heat supply system, photovoltaic power station, efficiency assessment, displaced fuel, payback time

Потенциал солнечной энергии на территории России по данным работы [1] оценивается в 12,5 млн т условного топлива в год. Перспективы использования энергетического потенциала солнечного излучения на территории России рассмотрены во многих работах [2–4]. Результаты оценки ресурсов солнечной энергии Арктической зоны Российской Федерации представлены в статье [5].

Прогноз развития возобновляемой энергетики потребителей децентрализованной зоны приведен в работе [6]. При этом заслуживает внимания изучение альтернативных вариантов автономного энергоснабжения [7]. Системы солнечного теплоснабжения могут быть рекомендованы для повышения комфортности проживания на удаленных стоянках оленеводов, рыбаков, старателей, туристов, сенокосцев, сельскохозяйственных ферм, коневодческих бригад и т.д. [8].

Целесообразность внедрения необходимости использования солнечной энергии для автономного электро- и теплоснабжения потребителей и развитии распределенной энергетики с применением возобновляемых источников энергии рассмотрены также в работах [9–11].

Гелиоэнергетические ресурсы конкретной территории зависят от ее географических и климатических характеристик [12].

Основной целью данной работы является исследование экономической эффективности и целесообразности использования гелиоэнергетических установок для тепло- и электроснабжения п. Чокурдах Аллаиховского улуса Республики Саха (Якутии). В настоящее время жители поселка обеспечиваются электроэнергией от дизельной электростанции мощностью 7,8 МВт, тепловой энергией – от шести котельных суммарной мощностью около 32 Гкал/ч. В качестве топлива в котельных используется сырая нефть.

#### Материалы и методы исследования

Основой для проведения исследований послужили методические рекомендации по оценке экономической эффективности применения возобновляемых источников энергии в зоне децентрализованного электроснабжения [13].

*Природные условия п. Чокурдах.* Территория характеризуется повсеместным распространением сплошных многолетнемерзлых пород, лишь в некоторых местах нарушенной весьма ограниченными

по площади таликами. В арктической части наибольшая мощность мерзлоты по данным [14] составляет 1500 м. На остальной территории она достигает 700–1000 м.

*Радиационный баланс, давление воздуха.* В арктической зоне существуют большие различия в продолжительности солнечного освещения в зимний и летний периоды. В связи с этим ведущим климатообразующим фактором являются радиационные процессы.

Летом облачность намного снижает приток прямой солнечной радиации. Но в то же время сильно возрастает рассеянная радиация, в результате суммарный приток радиации увеличивается.

*Температура воздуха.* С распределением давления и ветров тесно связаны закономерности и в распределении температуры воздуха в течение года. Для низинных пространств побережья, где сказывается умеряющее воздействие обширных акваторий, характерны более высокие зимние и низкие летние температуры, чем в континентальных областях. На прибрежных станциях средние месячные температуры июля и августа, как и зимних месяцев, незначительно отличаются друг от друга.

Анализ распределения средних месячных температур самого теплого и самого холодного месяцев показывает, что для низменных равнин севера и невысокого плоскогорья характерен плавный их ход. Средние январские температуры воздуха исследуемой территории не выходят за пределы  $-32$ – $-36$  °С. Средние температуры июля сравнительно высоки и достигают  $8$ – $12$  °С. Положительные температуры чаще всего устанавливаются в середине первой декады июня, причем заморозки наблюдаются до конца этого месяца. Продолжительность периода со средней суточной температурой выше  $0$  °С в районе п. Чокурдах составляет 75 дней [15].

*Влажность, осадки.* За изменением температуры следует годовой ход абсолютной влажности воздуха, которая зимой в Северной Якутии не превышает 1 Мб. [15]. Среднемесячные величины несколько возрастают летом и уменьшаются зимой, что обусловлено обилием влаги в тундре в теплое время года. Большая часть годовой суммы осадков выпадает летом.

*Ветер.* В холодный период на большей части территории господствуют южные, летом северо-восточные ветры.

*Оценка показателей гелиопотенциала.* Оценка эффективности использования

солнечного излучения для энергоснабжения потребителей п. Чокурдах проведена по показателям прихода солнечной радиации на метеостанции о. Мостах (бух. Тикси), вследствие ее расположения в тех же широтах и нахождения за Полярным кругом.

Наличие полярных дня и ночи обуславливает крайне неравномерные поступления солнечного тепла в течение года. Для более эффективного использования гелиопотенциала на территориях, расположенных в высоких широтах, приемники размещают наклонно под углом, равным широте местности, с возможностью сезонной корректировки наклона. Однако при значительных площадях принимающих поверхностей их сезонная корректировка практически сложно реализуема, в отличие от небольших поверхностей для мелких потребителей (индивидуальных домов, метеостанций и т.п.).

#### Результаты исследования и их обсуждение

Для оценки производительности гелиоустановок для условий п. Чокурдах из приводимых в справочниках данных солнечной радиации на горизонтальную и перпендикулярную поверхности проведен пересчет этой величины на наклонную поверхность.

На рис. 1 представлено изменение в течение года солнечной радиации, падающей

на горизонтальную, перпендикулярную и наклонную к солнцу поверхности для п. Чокурдах.

Продолжительность солнечного сияния составляет 1616 ч/год, годовой приход радиации на горизонтальную поверхность – 315 кВт·ч/м<sup>2</sup>, за счет использования наклонной поверхности гелиоприемников его значение увеличивается до 596 кВт·ч/м<sup>2</sup>.

Снижение солнечной радиации в июне по сравнению с другими летними месяцами объясняется атмосферными особенностями сезона и местности.

*Расчет возможной выработки тепловой и электрической энергии гелиоустановками. В расчетах приняты неподвижные установки, закрепленные под углом широты местности и ориентированные на юг.*

Выработка тепловой энергии солнечным коллектором (Гкал/м<sup>2</sup>) и электрической энергии фотоэлектрическим преобразователем (кВт·ч/м<sup>2</sup>) определяется по формуле

$$W = \eta \cdot S_{\text{накл}}$$

где  $\eta$  – коэффициент полезного действия гелиоустановки (для солнечного коллектора (СК) составляет 50–60%, для фотоэлектрических преобразователей (ФЭП) – 10–20% в зависимости от технико-экономических показателей различных фирм-изготовителей).

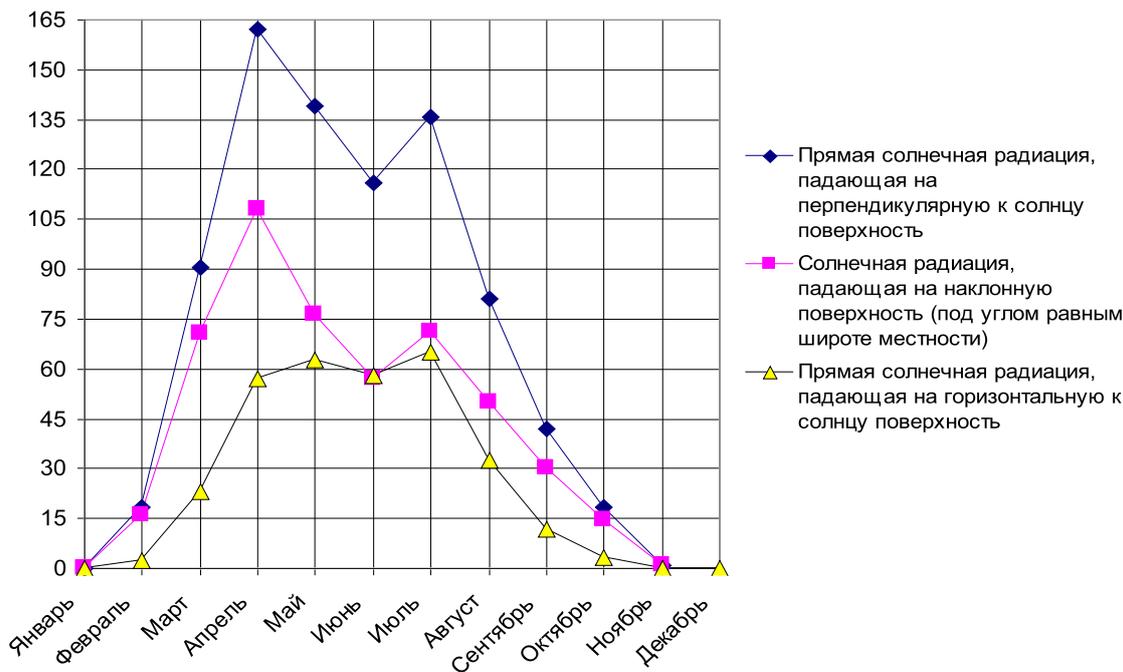


Рис. 1. Приход солнечной радиации в п. Чокурдах в течение года

Расчеты выработки производились для трех значений  $\eta$  – минимального, максимального и среднего: для СК  $\eta = 50, 54$  и  $60\%$ , для ФЭП –  $\eta = 10, 15$  и  $20\%$ .

На рис. 2 и 3 представлена выработка тепловой энергии СК и электрической энергии ФЭП по месяцам в течение года при различных КПД.

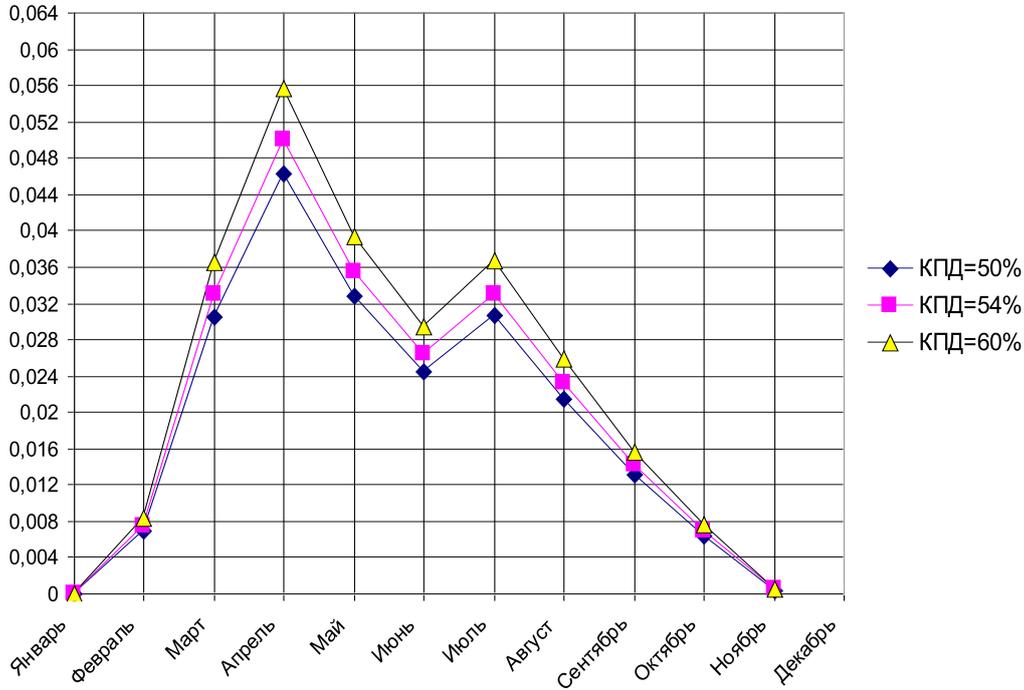


Рис. 2. Выработка тепловой энергии  $1 \text{ м}^2$  солнечного коллектора в течение года для условий п. Чокурдах,  $\text{Гкал}/\text{м}^2$  в месяц

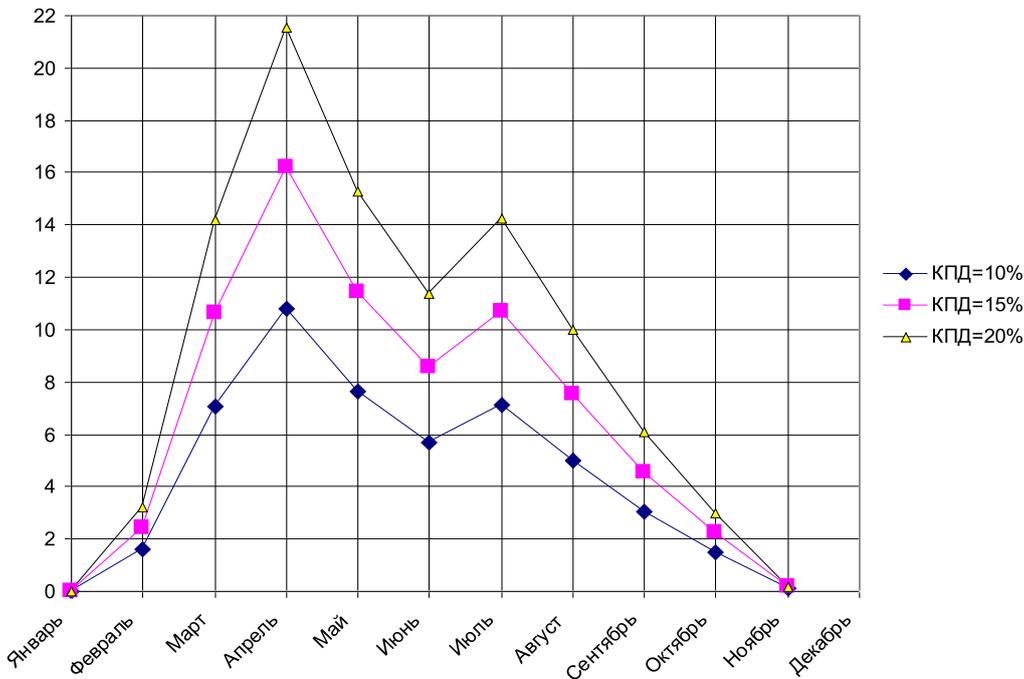


Рис. 3. Выработка электроэнергии  $1 \text{ м}^2$  фотоэлектрического преобразователя в течение года для условий п. Чокурдах,  $\text{кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^2$  в месяц

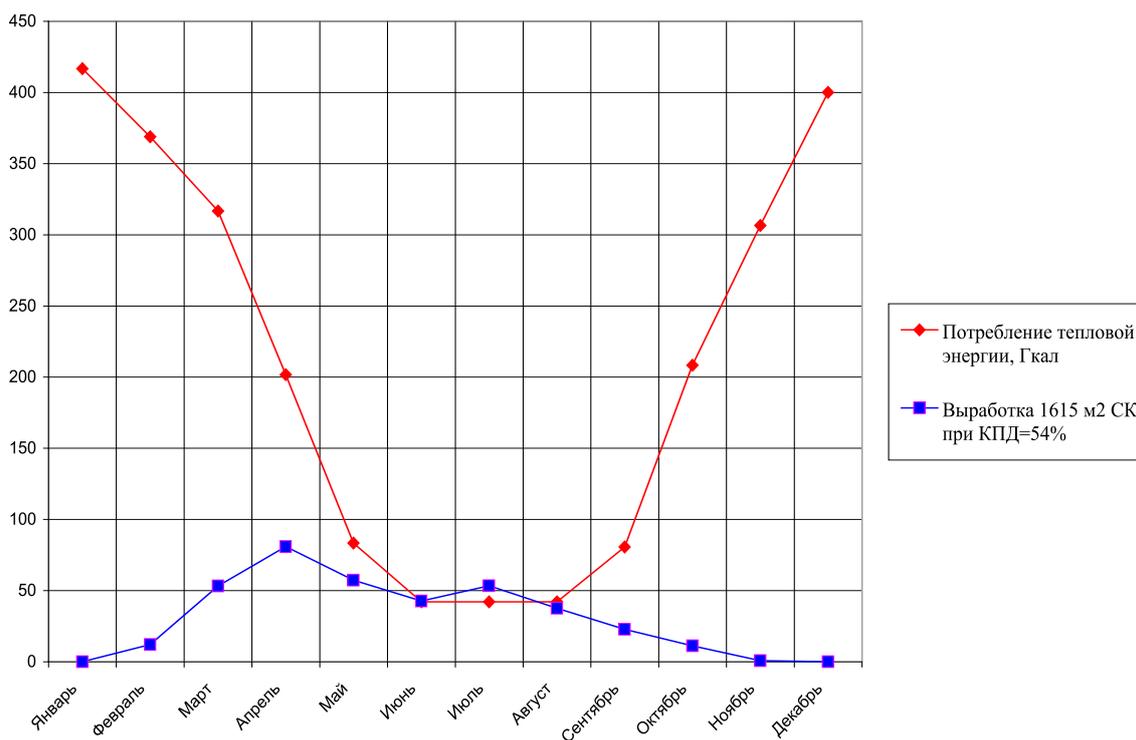


Рис. 4. Совмещение графиков потребления и выработки тепловой энергии ССТ (1615 м<sup>2</sup>)

Крайне высокая неравномерность проявления гелиопотенциала в течение года влияет на эффективность его использования, так как максимальное потребление тепловой и электрической энергии наблюдается именно в зимний период, когда показатели гелиопотенциала минимальны.

*Оценка экономической эффективности применения системы солнечного теплоснабжения и фотоэлектрической станции.* Для оценки эффективности использования солнечной энергии на цели энергоснабжения в условиях п. Чокурдах в расчетах приняты следующие исходные данные:

- ранее определенные по справочным данным и рассчитанные для наклонной поверхности гелиоприемников показатели потенциала солнечной энергии;

- расчетная выработка энергии солнечным коллектором и фотоэлектрическим преобразователем при средних значениях КПД – 54 и 15% соответственно;

- график отпуска тепловой энергии от котельной № 5 п. Чокурдах;

- график потребления электроэнергии от ДЭС п. Чокурдах;

- стоимостные показатели гелиоэнергетических установок;

- цены на дизельное топливо и сырую нефть в п. Чокурдах в 2020 г.

*Система солнечного теплоснабжения.* В исследовании рассмотрено обеспечение от системы солнечного теплоснабжения (ССТ) только потребности горячего водоснабжения присоединенной нагрузки от котельной № 5. Расчеты проведены для двух вариантов: одноконтурной системы для использования в безморозный период на основе плоских солнечных коллекторов и двухконтурной для круглогодичного использования на основе вакуумных коллекторов. Потребность в тепловой энергии на цели горячего водоснабжения от котельной № 5 оценивается порядка 42 Гкал/месяц. На рис. 4 представлено совмещение графиков потребления и выработка тепловой энергии системой солнечного теплоснабжения, состоящей из СК расчетной площадью 1615 м<sup>2</sup>, полученной исходя из максимально полезного использования выработки тепловой энергии.

В течение трех летних месяцев (июнь – август) на цели горячего водоснабжения потребуется 126 Гкал. Для выработки этого количества энергии на котельной при удельном расходе топлива 170 кг у.т./Гкал

(по данным ГУП ЖКХ Республики Саха (Якутия) необходимо израсходовать 15 т сырой нефти. Полезный отпуск тепловой энергии от двухконтурной системы в течение года составит 365 Гкал. Простой срок окупаемости системы солнечного теплоснабжения за счет объема вытесненного топлива зависит от стоимости оборудования и составляет 40–60 лет (табл. 1).

**Фотоэлектрическая станция.** Для оценки экономической эффективности строительства фотоэлектрической станции (ФЭС) выполнено совмещение графиков потребления и возможной выработки электроэнергии ФЭП. Расчетная площадь гелиоприемников, исходя из максимально полезного использования выработки ФЭП при КПД = 15%, со-

ставляет 30 тыс. м<sup>2</sup> (рис. 5). Суммарная мощность такой станции – 4,6 МВт.

Оценка эффективности проведена для двух вариантов компоновки электростанции: с аккумуляторными батареями (АБ) и без таковых. Полезный отпуск электроэнергии от ФЭС оценивается в 2 млн кВт·ч, при удельном расходе топлива 380 г у.т./кВт·ч (по данным Сахаэнерго) на ДЭС объем вытесненного дизельного топлива составит 525 т. Простой срок окупаемости фотоэлектрической станции с аккумулярованием энергии более чем в 2 раза превосходит этот показатель в варианте без аккумулярования и составляет 22,8 лет, что обусловлено более высокой стоимостью оборудования (табл. 2).

**Таблица 1**

Технико-экономические характеристики системы солнечного теплоснабжения

Показатель	Одноконтурная	Двухконтурная
Удельные капиталовложения, тыс. руб./кВт	25	50
Стоимость ССТ, млн руб.	28,3	56,5
Объем вытесненного топлива, т	15,0	43,4
Стоимость вытесненного топлива, тыс. руб.	479,3	1388,5
Простой срок окупаемости, лет	59,0	40,7

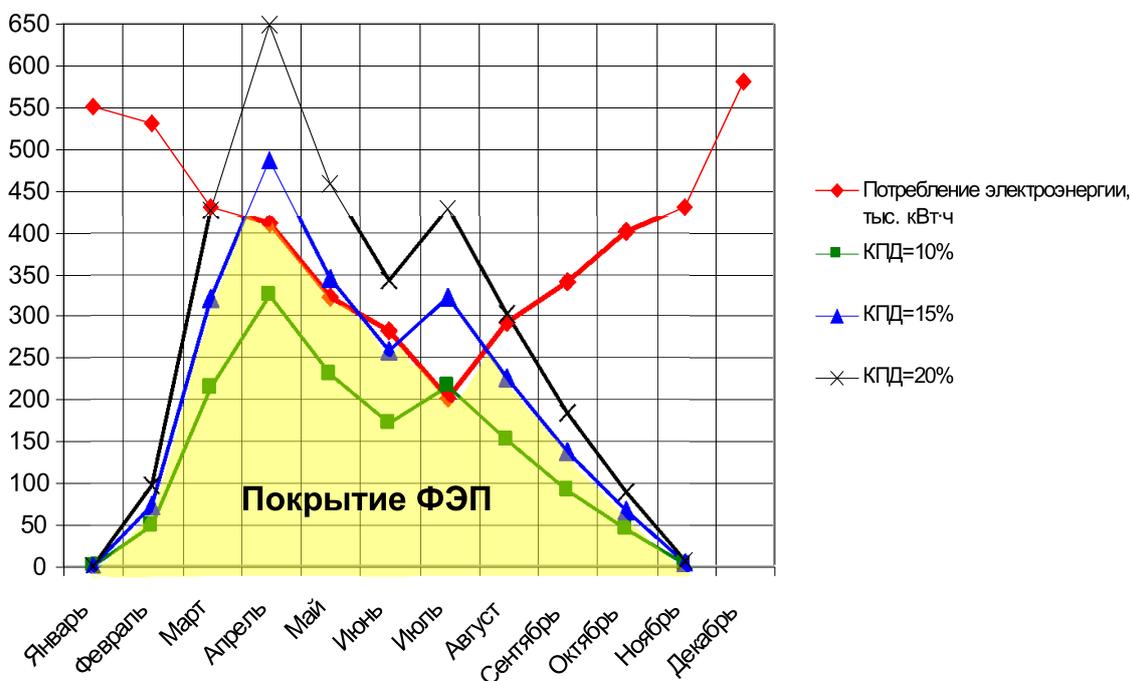


Рис. 5. Совмещение графиков потребления и выработка электроэнергии ФЭП (30 тыс. м<sup>2</sup>)

Таблица 2

Технико-экономические показатели фотоэлектрической станции

Показатель	без АБ	с АБ
Удельные капиталовложения, тыс. руб./кВт	76	160
Стоимость ФЭС, млн руб.	349,7	736,2
Объем вытесненного топлива, т	525,4	525,4*
Стоимость вытесненного топлива, млн руб.	32,3	32,3
Простой срок окупаемости, лет	10,8	22,8

Примечание. \* – без учета улучшения режима работы ДЭС.

### Выводы

Результаты проведенных на примере п. Чокурдах Аллаиховского улуса Республики Саха (Якутии) исследований позволяют сделать вывод о приоритетности в современных ценовых условиях использования солнечной энергии на цели электроснабжения в арктической зоне восточных регионов РФ по сравнению с теплоснабжением. Расчетный срок окупаемости строительства фотоэлектрической станции оценивается в 11–23 года, системы солнечного теплоснабжения – в 40–60 лет, что объясняется природными условиями, капиталоемкостью оборудования и соотношением цен на дизельное топливо и сырую нефть.

*Исследование выполнено в рамках проектов госзадания XI.174.2.3 (рег. № АААА-А17-117030310439-8), XI.174.2.4 (рег. № АААА-А17-117052210035-2) фундаментальных исследований СО РАН и по материалам подготовки Схемы и программы развития электроэнергетики Республики Саха (Якутии) на 2020–2024 гг.*

### Список литературы / References

1. Рудобашта С.П. Теплотехника. М.: Колос С, 2010. 600 с.
1. Rudobashta S.P. Teplotekhnika. M.: Kolos S, 2010. 600 p. (in Russian).
2. Безруких П.П. Возобновляемая энергетика: сегодня – реальность, завтра – необходимость. М.: Лесная страна, 2007. 120 с.
2. Bezrukikh P.P. Renewable energy: today's reality, tomorrow's necessity. M.: Lesnaya Strana, 2007. 120 p. (in Russian).
3. Муравлева Е.А. Оценка потенциала использования энергии солнечного излучения на территории России // Вестник аграрной науки Дона. 2015. № 1. С. 38–45.
3. Muravleva E.A. Assessment of the potential use of solar radiation energy on the territory of Russia // Vestnik agrarnoy nauki Dona. 2015. № 1. P. 38–45 (in Russian).
4. Бычков И.А., Черкасова Т.А., Манакова Е.А., Гайбов И.А. Анализ эффективности съема энергии солнца в системе солнечный коллектор – солнечная панель // Молодой ученый. 2016. № 28–2. С. 84–86.
4. Bychkov I.A., Cherkasova T.A., Manakova E.A., Gai-bov I.A. Analysis of the efficiency of solar energy removal in the solar collector – solar panel system // Molodoy uchenyy. 2016. № 28–2. P. 84–86 (in Russian).

5. Попель О.С., Киселева С.В., Моргунова М.О., Габдрахманова Т.С., Тарасенко А.Б. Использование возобновляемых источников энергии для энергоснабжения потребителей в Арктической зоне Российской Федерации // Арктика: экология и экономика. 2015. № 1 (17). С. 64–69.

5. Popel O.S., Kiseleva S.V., Morgunova M.O., Gabderakhmanova T.S., Tarasenko A.B. Renewable Energy for Power Supply in the Arctic Zone of the Russian Federation // Arctic: Ecology and Economics. 2015. № 1 (17). P. 64–69 (in Russian).

6. Санеев Б.Г., Иванова И.Ю., Тугузова Т.Ф. Развитие возобновляемой энергетики на востоке России в первой половине XXI века на фоне общероссийских тенденций // Энергетическая политика. 2016. № 3. С. 66–73.

6. Saneev B.G., Ivanova I.Yu., Tuguzova T.F. The development of renewable energy in the east of Russia in the first half of the 21st century against the backdrop of all-Russian trends // Energy Policy. 2016. № 3. P. 66–73 (in Russian).

7. Санеев Б.Г., Иванова И.Ю., Тугузова Т.Ф. Проблемы энергетики восточной зоны Российской Арктики и возможные пути решения // Энергетическая политика. 2018. № 4. С. 80–88.

7. Saneev B.G., Ivanova I.Yu., Tuguzova T.F. Energy problems of the eastern zone of the Russian Arctic and possible solutions // Energy Policy. 2018. № 4. P. 80–88 (in Russian).

8. Муравлева Е.А., Рудобашта С.П. Эффективность использования солнечного излучения для горячего водоснабжения фермерского дома // Вестник ФГОУ ВПО МГАУ. 2013. № 2 (58). С. 16–18.

8. Muravleva E.A., Rudobashta S.P. Efficiency of using solar radiation for hot water supply of a farm house // Vestnik FGOU VPO MGAU. 2013. № 2 (58). P. 16–18 (in Russian).

9. Руденко М.Ф., Третьяк Л.П., Гривина В.В., Шипулина Ю.В. Моделирование экологической эффективности внедрения геотермоэнергетических комплексов для производства теплоты // Вестник АГТУ. Серия: Управление, вычислительная техника и информатика. 2016. № 2. С. 73–80.

9. Rudenko M.F., Tretyak L.P., Grivina V.V., Shipulina Yu.V. Modeling of ecological efficiency of introduction of solar energy complexes for heat production // Vestnik AGTU. Seriya: Upravleniye, vychislitel'naya tekhnika i informatika. 2016. № 2. P. 73–80 (in Russian).

10. Яковлева Э.В. Исследование параметров солнечного излучения для оценки эффективности применения фотоэлектрических элементов в составе электротехнического комплекса для электроснабжения автономных потребителей // Современные научные исследования и инновации. 2014. № 5–1. [Электронный ресурс]. URL: <http://web.snauka.ru/issues/2014/05/34960> (дата обращения: 25.07.2020).

10. Yakovleva E.V. Investigation of solar radiation parameters for evaluating the effectiveness of photovoltaic elements in the electrical complex for power supply of Autonomous consumers // Modern scientific research and innovation. 2014. № 5–1. [Electronic resource]. URL: <http://web.snauka.ru/issues/2014/05/34960> (date accesse: 25.07.2020) (in Russian).

11. Фортвов В.Е., Попель О.С. Состояние развития возобновляемых источников энергии в мире и в России // Теплоэнергетика. 2014. № 6. С. 4–13. DOI: 10.1134/S0040363614060022.

Fortov V.E., Popel O.S. The Current Status of the Development of Renewable Energy Sources Worldwide and in Russia. *Thermal Engineering*. 2014. V. 61. № 6. P. 389–398. DOI: 10.1134/S0040601514060020.

12. Ушаков В.Я. Возобновляемая и альтернативная энергетика: ресурсосбережение и защита окружающей среды. Томск: Изд. «СибГрафик», 2011. 138 с.

Ushakov V.Ya. Renewable and alternative energy: resource conservation and environmental protection. Tomsk: Izd. «Sib-Grafik», 2011. 138 p. (in Russian).

13. Методы и модели разработки региональных энергетических программ / Отв. ред. Б.Г. Санеев. Новосибирск: Наука, 2003. 136 с.

Methods and models for developing regional energy programs / Ed. by B.G. Saneev. Novosibirsk: Nauka, 2003. 136 p. (in Russian).

14. Якутия / Отв. ред. С.С. Коржуев. М.: Изд. «Наука», 1965. 461 с.

Yakutia / Ed. by S.S. Korzhuev. M.: Izd. «Nauka», 1965. 461 p. (in Russian).

15. Справочник по климату СССР. Облачность. Влажность. Атмосферные явления. Вып. 24. Л.: Гидрометеиздат, 1966. 275 с.

Reference guide to the climate of the USSR. Cloud Cover. Humidity. Atmospheric phenomenon. Vol. 24. L.: Hydrometeoizdat, 1966. 397 p. (in Russian).

УДК 550.4.02

**РАДОНООПАСНОСТЬ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СРЕДЫ В УГЛЕДОБЫВАЮЩИХ РАЙОНАХ: ПРОСТРАНСТВЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ С ПРИМЕНЕНИЕМ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ****<sup>1</sup>Лешуков Т.В., <sup>1</sup>Легощин К.В., <sup>1</sup>Ларионов А.В., <sup>2</sup>Лесин Ю.В.**<sup>1</sup>ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет», Кемерово, e-mail: tvleshukov@mail.ru;<sup>2</sup>ФГБОУ ВО «Кузбасский государственный технический университет им. Т.Ф. Горбачева», Кемерово, e-mail: lyuv.geo@kuzstu.ru

В статье предложен пример пространственного анализа потенциальных источников радоноопасности геологической среды и жилых строений в программе ArcGIS. В качестве объекта исследований выбран город Ленинск-Кузнецкий Кемеровской области. Данное городское поселение является старопромышленным центром подземной добычи угля, отличается близостью жилой застройки к территории месторождения. Выделены две группы источников потенциальной радоноопасности геологической среды естественного (состав пород, тектонические нарушения) и антропогенного происхождения (нарушения, возникшие или регенерированные в результате ведения подземных горных работ). Установлено, что ключевыми из них, с точки зрения занимаемого пространства городского поселения, являются антропогенно сформированные нарушения в зоне добычи угля. Шахтные поля занимают 47,72% территории г. Ленинска-Кузнецкого, а в пределах этого пространства расположены 48,06% малоэтажных частных жилых строений. Результаты работы подчеркивают необходимость оценки влияния техногенной нарушенности пород на радиологическую безопасность Кузнецкого угольного бассейна. Вторыми по значимости источниками радоноопасности являются тектонические нарушения, которые занимают 7,58% территории городского поселения. В пределах этих естественных дизъюнктивов расположены 13,33% жилых строений. Проведенный с помощью предложенной методики анализ исследуемой территории позволил выявить рост числа ИЖС в пределах потенциально радоноопасных территорий, чем того следовало ожидать при случайном распределении. Предложенный подход к пространственной оценке позволит более достоверно определить вклад наиболее существенных факторов геологической среды в общий канцерогенный риск для населения угледобывающих районов Кузбасса и иных территорий.

**Ключевые слова:** Кемеровская область, Кузнецкий угольный бассейн, геологическая среда, проработанные пространства, радон, радиационная безопасность, геоинформационные системы

**RADON HAZARD OF THE GEOLOGICAL ENVIRONMENT IN COAL MINING REGIONS: A SPATIAL STUDY USING GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEMS****<sup>1</sup>Leshukov T.V., <sup>1</sup>Legoshchin K.V., <sup>1</sup>Larionov A.V., <sup>2</sup>Lesin Yu.V.**<sup>1</sup>Kemerovo State University, Kemerovo, e-mail: tvleshukov@mail.ru;<sup>2</sup>T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University (KuzSTU), Kemerovo, e-mail: lyuv.geo@kuzstu.ru

The article offers an example of spatial analysis of potential sources of radon hazard in the geological environment and residential buildings in the ArcGIS program. The city of Leninsk-Kuznetsk, Kemerovo region was chosen as the object of research. This urban settlement is an old industrial center of underground coal mining, which are distinguished by the proximity of residential development to the field. Two groups of sources of potential radon hazard of the natural geological environment (rock composition, tectonic disturbances) and anthropogenic genesis (disturbances created or regenerated as a result of underground mining) are identified. It has been established that the primary from the point of view of occupied urban space are human-made disturbances in the coal mining zone. Mine fields occupy – 47.72% of the territory of the city of Leninsk-Kuznetsk, and within this space 48.06% of low-rise private residential buildings are located. The results of the work emphasize the need to assess the impact of technogenic disturbance of rocks on the radiological safety of the Kuznetsk coal basin. The second most important sources of radon hazard are tectonic disturbances, which occupy 7.58% of the territory of the urban settlement. Within these natural faults are located – 13.33% of residential buildings. The analysis of the study area carried out using the proposed methodology allowed us to identify an increase in the number of individual housing within potentially radon-hazardous territories, which was to be expected with a random distribution. The proposed approach to spatial assessment will more accurately determine the contribution of the most significant factors of the geological environment to the overall carcinogenic risk for the population of coal mining regions of Kuzbass and other territories.

**Keywords** Kemerovo region, Kuznetsk coal basin, geological environment, underground mines, radon, radiation safety, geographic information systems

Радон является важным фактором геологической среды, который влияет на частоту неинфекционной заболеваемости населения, в первую очередь онкологической [1]. Отмечается значимость изучения длительного воздействия ра-

дона и связанного с ним канцерогенного риска [2]. Низкодозовое (резидентное) бытовое облучение радоном в настоящее время в исследованиях рассматривается в качестве важного фактора канцерогенеза [3].

Естественным причинам радоновой опасности геологической среды посвящены работы многих отечественных и зарубежных исследователей [4–6]. Хорошо изучены механизмы концентрации и рассеивания радона, его пространственные закономерности распределения и приуроченность к определенным тектоническим структурам. Полученные результаты лежат в основе создания карт радоноопасности территории или геогенного потенциала радона.

Техногенные причины увеличения радоновой опасности геологической среды в основном связывают с областями отработки высокорадиоактивных руд, где описаны закономерности изменения радиоактивного фона, которые, как правило, затрагивают все компоненты окружающей среды [7–8]. На территориях добычи слаборадиоактивных полезных ископаемых существенного изменения радиологических показателей, как правило, не фиксируется. В целом для таких территорий радиологические параметры определяются главным образом особенностями транспорта радона из недр к поверхности, который преимущественно осуществляется по нарушениям. Это характерно и для угледобывающих территорий. Открытый способ добычи угля считается наиболее геологически неблагоприятным в отношении окружающей среды, поскольку он воздействует на все компоненты окружающей среды, одновременно с этим существенного роста радиационных параметров в них не наблюдается. Подземный способ добычи угля определяет меньшее химическое загрязнение ландшафтов, в то же самое время происходит образование областей повышенной трещиноватости пород, которые сопутствуют проваливанию и проседание грунта. К ним приурочены обильные выходы различных газов (метана, угарного газа, углекислого газа, водорода, радона и др.) [9]. Механизмы его поступления на поверхность изучены на территории угольных шахт Китая и Австралии. В исследованиях по миграции радона над шахтной выработкой его обычно используют как косвенный индикатор подземного горения пластов угля [10]. На территории старопромышленных районов Великобритании, Германии и Польши были зафиксированы превышения концентрации радона в почвенном воздухе и подвальных помещениях жилых строений [11; 12]. Наряду с этим в Кузбассе на территориях угледо-

бычи, где применяется подземный способ, были обнаружены высокие и существенно превышающие фоновые уровни показатели плотности потока радона из грунта [13; 14], что позволило в настоящей работе рассматривать данный антропогенный механизм образования транспортных путей для этого газа в качестве существенного фактора радиационной опасности для населения.

Таким образом, геологическая среда представляет собой весьма неоднородный объект в отношении эманаций радона на поверхность. Это обстоятельство может приводить к формированию разных по своему масштабу и интенсивности влияния зон повышенной потенциальной радоновой опасности, которые необходимо выявлять и территориально выделять. Наиболее подходящим средством для пространственной оценки выступают геоинформационные системы.

Предварительная территориальная оценка причин радоноопасности геологической среды производится с целью их ранжирования по степени распространенности на территории и расчета потенциального риска для населения. Данная оценка может быть востребована при принятии решения о назначении земель под индивидуальное жилищное строительство (ИЖС) либо определении мер радонозащиты.

#### **Материалы и методы исследования**

Большое количество поселений в Кемеровской области располагается на или в непосредственной близости к местам добычи угля, что может вызывать повышенный риск, связанный с воздействием радона на человека. В настоящее время отсутствуют работы по выявлению радоновой опасности Кузнецкого угольного бассейна, в частности в местах активной добычи угля подземным способом, что определяет необходимость проведения подобного исследования для данной территории. Типовым объектом был выбран Ленинск-Кузнецкий городской округ, который является одним из старейших районов добычи угля, со значительными площадями шахтных полей и присутствием крупных тектонических нарушений, что делает его подходящим для пространственного исследования антропогенных и естественных факторов радоноопасности, с целью последующей экстраполяции закономерностей на аналогичные территории Кузбасса.

В работе использовалась среда ArcGIS, в которой были созданы слои простран-

ственной и атрибутивной информации: жилые строения, геологическая карта района исследований, шахтные поля и т.п. Также применяемая система позволяет оперативно обновлять базу по мере поступления новых данных.

Пространственная оценка потенциальных факторов радоноопасности геологической среды основана на установленных ранее фактах их взаимосвязи. Для каждой территории могут быть выбраны ключевые факторы и оценена их площадная доля ( $F$ ) в территории региона по формуле:

$$F_i = \frac{S_i}{S} * 100\%,$$

где  $F_i$  – площадная доля фактора в районе,  $S_i$  – площадь влияния фактора,  $S$  – общая площадь территориального образования.

По своей сути для составления предварительной схемы оценки мы используем ранжирование по площади распространения того или иного фактора геологической среды.

Со стороны *естественных факторов радоноопасности* были предложены:

- состав пород (при составлении мелкомасштабной карты ограничиваются границами свит (для стратифицируемых толщ) или комплексов пород (для плутонических комплексов));

- тектоника (дизъюнктивные нарушения и сопутствующая им зона дробления и трещиноватости). Границами воздействия фактора считалась линия потенциального окончания зоны трещиноватости тектонических нарушений. Их ширина установлена по данным геологических отчетов.

Среди *антропогенных факторов радоноопасности*:

- загрязнение радиоактивными элементами, материнскими по отношению к радону (рассматриваются обычно рассеивание вследствие выемки, взрывов, транспортировки и иных действий, которым сопутствует рассеивание загрязняющих веществ (ЗВ)). В представленной работе данный фактор не рассматривался;

- формирование или регенерация трещиноватости пород в результате ведения горных работ (границы воздействия данного фактора аппроксимированы шахтным полем).

Территориальная оценка радоноопасности жилых строений с учетом потенциальных факторов геологической среды производится с целью уточнения возможных

рисков для уже проживающего населения и производится по формуле:

$$A_f = \frac{N_i}{N} * 100\%,$$

где  $A_f$  – доля жилых строений на территории потенциального фактора радоноопасности в районе,  $N_i$  – число жилых строений на территории потенциального фактора радоноопасности,  $N$  – общее число строений.

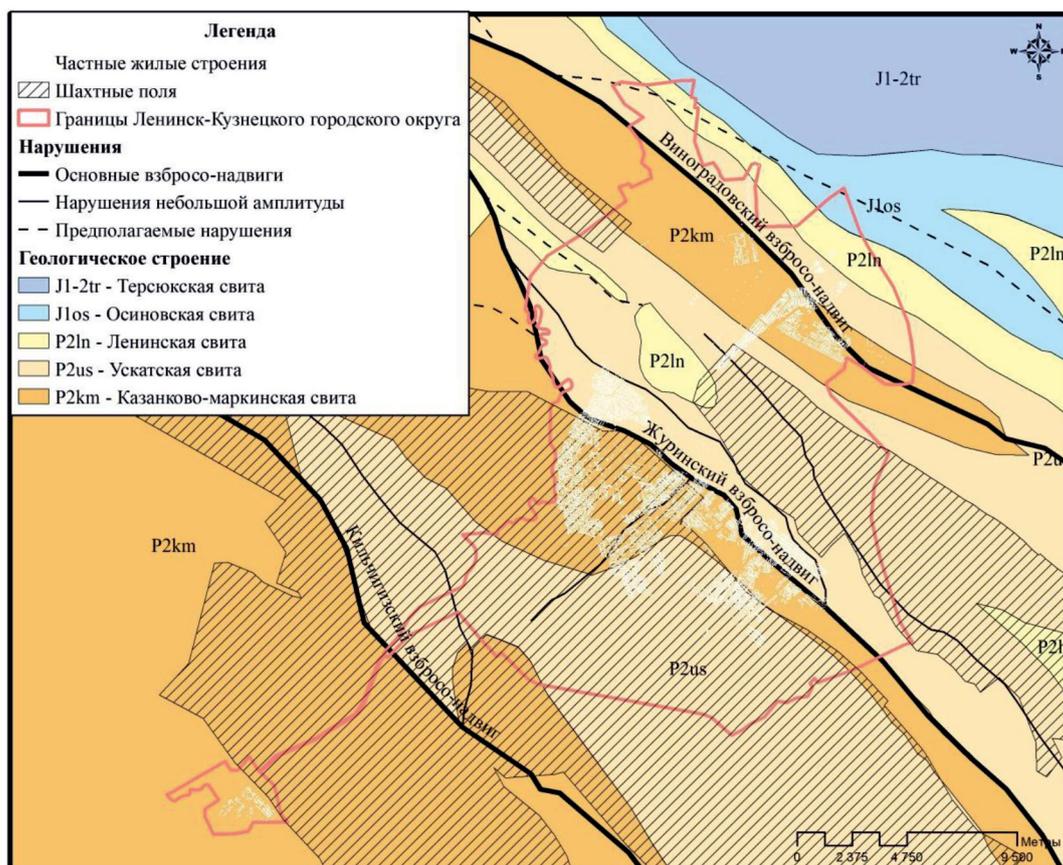
Оценка сводится к определению доли жилых строений, расположенных на территории проявления того или иного фактора, ко всем частным жилым строениям. Из изучения целенаправленно были исключены многоэтажные жилые строения, поскольку, по материалам ранее проведенных исследований, они являются безопасными в отношении радона.

### Результаты исследования и их обсуждение

Для пространственной оценки потенциальных источников радоноопасности территории Ленинск-Кузнецкого городского округа была построена картосхема (рисунок).

Вследствие существенных различий между распространенностью потенциальных источников естественной и антропогенной радоноопасности геологической среды и размещения ИЖС в Ленинск-Кузнецком районе, возникает необходимость их сравнения (таблица).

Ключевым источником радоноопасности геологической среды, с точки зрения занимаемого пространства городского поселения, являются антропогенно сформированные нарушения в зоне добычи угля. Шахтные поля занимают  $\approx 47,72\%$  территории Ленинска-Кузнецкого, а в пределах этого пространства расположены  $48,06\%$  малоэтажных частных жилых строений. Взяв во внимание данные ранее проведенных исследований о радоноопасности грунтов и жилых строений, расположенных в зоне подземной выработки, [11; 12] можно утверждать, что данный фактор определяет высокий уровень радиационной нагрузки на население в городе. С учетом слабой радиоактивности горных пород описанных ранее свит и данных, приведенных в исследованиях других авторов [15], вторым источником радоноопасности являются участки тектонической нарушенности, которые занимают  $7,58\%$  территории городского поселения. В пределах этих естественных нарушений расположены  $13,33\%$  жилых строений.



*Расположение основных потенциальных источников радоноопасности и частных малоэтажных жилых строений*

Распространенность потенциальных естественных и антропогенных источников радоноопасности геологической среды и доли жилых строений в их пределах для территории Ленинск-Кузнецкого городского округа

Потенциальные источники радоноопасности	Вся территория		Шахтное поле	
	(F <sub>p</sub> ), %	(A <sub>p</sub> ), %	(F <sub>p</sub> ), %	(A <sub>p</sub> ), %
Состав пород (свиты)				
P <sub>2</sub> km	29,98	<b>64,47</b>	11,34	<b>35,58</b>
P <sub>2</sub> us	<b>63,63</b>	35,56	<b>36,07</b>	12,47
P <sub>2</sub> ln	5,83	0,58	0,31	0,01
J <sub>1</sub> os	0,61	0,00	0	0
Тектоника (крупные тектонические нарушения)				
Виноградовский взбросо-надвиг	2,67	2,82	0	0
Жури́нский взбросо-надвиг	3,38	<b>8,71</b>	0,21	0,42
Кильчигизский взбросо-надвиг	0,05	0,00	0,05	0
Нарушения меньшей амплитуды	1,50	1,88	<b>0,81</b>	<b>1,28</b>
Все нарушения	7,58	13,33	1,06	1,69
Тектоника и состав пород				
P <sub>2</sub> km	3,65	<b>9,10</b>	0,42	<b>1,56</b>
P <sub>2</sub> us	<b>3,91</b>	4,59	0,64	0,13

Примечание. \*P<sub>2</sub>km – казанково-маркинская свита; P<sub>2</sub>us – ускатская свита; P<sub>2</sub>ln – ленинская свита; J<sub>1</sub>os – осиновская свита.

Анализ показывает, что расположение ИЖС, вероятно, не учитывает наличие источников естественной потенциальной радоноопасности. Наблюдается увеличение числа жилых строений в казанково-маркинской свите ( $P_2$ km) при меньшем ее распространении, в том числе и зоне тектонической нарушенности, которая связана в первую очередь с Журинским взбросо-надвигом и нарушениями меньшей амплитуды. Данный факт предположительно можно объяснить меньшей современной перспективностью казанково-маркинской свиты в отношении потенциала добычи угля.

Распределение ИЖС также, вероятно, не в полной мере учитывает антропогенные потенциальные источники радоноопасности геологической среды. Число строений увеличивается на территории шахтных полей казанково-маркинской свиты, в том числе и в пределах одновременной естественной и техногенной нарушенности пород данной стратифицируемой толщи. Что, предположительно, можно связать с вытеснением жилых земель под ИЖС с территорий обрабатываемых в настоящее время шахтных полей.

Данные факторы естественной и антропогенной потенциальной радоноопасности геологической среды являются первостепенными для изучения с учетом распространенности ИЖС в их пределах.

При установлении средних показателей плотности потока радона из грунта и эквивалентной равновесной объемной активности радона в жилых строениях предложенная методика может быть дополнена усреднением по всему административному образованию с учетом доминантных территорий.

### Заключение

Таким образом, проведенный с помощью предлагаемой методики анализ потенциальных источников радоноопасности территории Ленинск-Кузнецкого городского округа позволил выделить существенные неоднородности в распределении ИЖС, которые предположительно вызваны в числе прочих причин влиянием расположения современных обрабатываемых подземным способом пространств, но без должного учета радиологических рисков для населения.

Выяснение доли строений, расположенных в той или иной части геологической среды с определенным набором факторов, связанных с радоновой опасностью, мо-

жет предоставить более точные данные для сравнения с эпидемиологической статистикой по новообразованиям дыхательной системы административных территорий. В целом данный подход позволит более достоверно выяснить вклад наиболее существенных факторов геологической среды в общий канцерогенный риск населения угледобывающих районов Кузбасса.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-35-00390.*

### Список литературы / References

1. Ajrouche R., Ielsch G., Cléro E., Roudier C., Gay D. Quantitative Health Risk Assessment of Indoor Radon: A Systematic Review. *Radiat Prot Dosimetry*. 2017. Vol. 177. № 1–2. P. 69–77. DOI: 10.1093/rpd/ncx152.
2. Gawelek E., Drozdowska B., Fuchs A. Radon as a risk factor of lung cancer. *Przegl Epidemiol*. 2017. Vol. 71. № 1. P. 90–98.
3. Eidemüller M., Jacob P., Lane R., Frost S., Zablotska L. Lung Cancer Mortality (1950–1999) among Eldorado Uranium Workers: A Comparison of Models of Carcinogenesis and Empirical Excess Risk Models. *PLoS One*. 2012. Vol. 7. № 8. DOI: 10.1371/journal.pone.0041431.
4. Злобина А.Н., Рихванов Л.П., Барановская Н.В., Фархутдинов И.М., Ванг Н. Радиоэкологическая опасность для населения в районах распространения высокорadioактивных гранитов // *Известия Томского Политехнического Университета. Инжиниринг Георесурсов*. 2019. Т. 330. № 3. С. 111–125. DOI: 10.18799/24131830/2019/3/172.
5. Zlobina A.N., Rikhvanov L.P., Baranovskaya N.V., Farkhutdinov I.M., Wang N. Radioecological hazard for the population living in the regions with high radioactive granites / *Izvestiya Tomskogo Politekhnikeskogo Universiteta. Inzhiniring Georesursov*. 2019. V. 330. № 3. 111–125 (in Russian).
6. Маренный М.А., Романов В.В., Астафуров В.И., Губин А.Т., Киселев С.М., Нефедов Н.А., Пенезев А.В. Проведение обследований зданий различного назначения на содержание радона на территориях, обслуживаемых ФМБА России // *Радиационная гигиена*. 2015. Т. 8. № 1. С. 23–29.
7. Marennyy A.M., Romanov V.V., Astafurov V.I., Gubin A.T., Kiselev S.M., Nefedov N.A., Penesev A.V. Survey for indoor radon in dwellings on the territories supervised by FMBA of Russia // *Radiation hygiene*. 2015. Vol. 8. № 1. P. 23–29 (in Russian).
8. Tchorz-Trzeciakiewicz D.E., Klos M. Factors affecting atmospheric radon concentration, human health. *Science of The Total Environment*. 2017. Vol. 584–585. P. 911–920. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2017.01.137.
9. Шандала Н.К., Семенова Н.П., Исаев Д.В., Киселев С.М., Серегин В.А., Титов А.В., Филонова А.А., Журавлева Л.А., Маренный А.М. Радиоэкологическая обстановка в районе расположения Приаргунского производственного горно-химического объединения // *Гигиена и санитария*. 2014. № 4. С. 14–18.
10. Shandala N.K., Semenova M.P., Isaev D.V., Kiselev S.M., Seregin V.A., Titov A.V., Filonova A.A., Zhuravleva L.A. Radioecological situation in the area of JSC “Priargunsky Production Mining and Chemical Association” // *Hygiene and Sanitation*. 2014. № 4. P. 14–18 (in Russian).
11. Lawrence C., Akber R., Bollhöfer A., Martin P. Radon-222 exhalation from open ground on and around a uranium mine in the wet-dry tropics. *Journal of Environmental Radioactivity*. 2009. Vol. 100. № 1. P. 1–8. DOI: 10.1016/j.jenvrad.2008.09.003.
12. Palchik V. Localization of mining-induced horizontal fractures along rock layer interfaces in overburden: Field meas-

urements and prediction. *Environmental Geology*. 2005. Vol. 48. P. 68–80. DOI: 10.1007/s00254-005-1261-y.

10. Lu W., Cao Y.-J., Tien J. Method for prevention and control of spontaneous combustion of coal seam and its application in mining field. *International Journal of Mining Science and Technology*. 2017. Vol. 27. DOI: 10.1016/j.ijmst.2017.07.018.

11. Ball T.K., Wysocka M. Radon in coalfields in the United Kingdom and Poland. *Archives of Mining Sciences*. 2011. Vol. 56. P. 249–264.

12. Klingel R., Kemski J. Influence of underground mining on the geogenic radon potential. *Radon in the Living Environment*. 1999. P. 773–786.

13. Лешуков Т.В., Ларионов А.В., Легощин К.В., Яковлева С.Н. Особенности эманации радона из грунтов на территориях, подработанных угольными шахтами (на примере Ленинск-Кузнецкого района) // Проблемы региональной экологии. 2019. № 6. С. 140–143. DOI: 10.24411/1728-323X-2019-18140.

Leshukov T.V., Larionov A.V., Legoshin K.V., Yakovleva S.N. Features of radon emanation from the soils in the territories processed by coal mines: a case study of the Leninsk-Kuznetsk district // *Problems of Regional Ecology*. 2019. № 6. P. 140–143 (in Russian).

14. Лешуков Т.В., Легощин К.В., Ларионов А.В. Пространственная изменчивость плотности потока радона на территориях подземной добычи угля // Успехи современного естествознания. 2020. № 4. С. 93–97. DOI: 10.17513/use.37368.

Leshukov T.V., Legoshin K.V., Larionov A.V. Geographic variation in radon flux density in territory underground mines // *Advances in current natural sciences*. 2020. № 4. P. 93–97 (in Russian).

15. Seminsky K.Z., Bobrov A.A., Demberel S. Variations in radon activity in the crustal fault zone: spatial characteristics. *Izvestiya. Physics of the Solid Earth*. 2014. Vol. 50. № 6. P. 795–813. DOI: 10.1134/S1069351314060081.

УДК 552.513:552.143:551.242.22(571.63)

## ОСОБЕННОСТИ ОБСТАНОВОК ФОРМИРОВАНИЯ ПАЛЕОЗОЙСКИХ И РАННЕМЕЗОЗОЙСКИХ ОТЛОЖЕНИЙ ЮГО-ЗАПАДНОГО ПРИМОРЬЯ: РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗУЧЕНИЯ И ИНТЕРПРЕТАЦИИ ВЕЩЕСТВЕННОГО СОСТАВА ПЕСЧАНЫХ ПОРОД

Малиновский А.И.

*Дальневосточный геологический институт ДВО РАН, Владивосток, e-mail: malinovsky@fegi.ru*

В статье рассматриваются результаты изучения вещественного состава песчаных пород из палеозойских-раннемезозойских отложений Лаоелин-Гродековского террейна (Юго-Запад Приморья). Задачей исследования было всестороннее изучение вещественного состава песчаных пород с целью дальнейшей палеогеодинамической реконструкции обстановок накопления отложений террейна, а также определение типов и породных составов их источников питания. Было установлено, что песчаные породы изученных свит существенно различаются по вещественному составу и, соответственно, формировались в различных палеогеодинамических обстановках. Песчаники раннесилурийской кордонкинской свиты по петрографическим и геохимическим параметрам относятся к грауваккам, в которых доминируют тяжелые минералы, характерные для островодужных вулканитов. Интерпретация полученных данных свидетельствует о накоплении пород в бассейне, сопряженном с внутриокеанической островной дугой, для которого источником питания служили основные и средние вулканические породы самой дуги, а также осадочные и магматические породы ее основания. Минералогические и геохимические свойства ранне-среднепермской решетниковской свиты свидетельствуют об их принадлежности к аркозам, в которых доминируют минералы гранитно-метаморфической ассоциации. Отложения свиты накапливались в бассейнах, расположенных на пассивной континентальной окраине. Источниками вещества были участвовавшие в строении этой окраины кратоны и краевые части рифтов, сложенные гранитоидами, метаморфическими и осадочными породами. Песчаники поздне триасовой тальминской свиты относятся к грауваккам, особенности состава которых позволяют предполагать их формирование на активной континентальной окраине в бассейнах рифтогенного происхождения. Обломочный материал поступал с краевых частей рифтов, сложенных кислыми и средними изверженными и метаморфическими породами. Полученные результаты позволяют рассматривать Лаоелин-Гродековский террейн как аккреционную призму, состоящую из палеозойских и раннемезозойских отложений, формировавшихся в различных геодинамических обстановках.

**Ключевые слова:** Лаоелин-Гродековский террейн, песчаники, вещественный состав, геодинамические обстановки

## FEATURES OF THE ENVIRONMENTS OF THE FORMATION OF PALEOZOIC AND EARLY MESOZOIC DEPOSITS OF SOUTH-WESTERN PRIMORYE: THE RESULTS OF THE STUDY AND INTERPRETATION OF THE MATERIAL COMPOSITION OF SANDY ROCKS

Malinovskiy A.I.

*Far Eastern Geological Institute, Vladivostok, e-mail: malinovsky@fegi.ru*

The article considers the results of studying the material composition of sandy rocks from the Paleozoic-Early Mesozoic deposits of the Laeoling-Grodekovo terrane (South-West of Primorye). The task of the study was a comprehensive study of the material composition of sandy rocks in order to further paleogeodynamic reconstruction of the conditions of accumulation of terrane deposits, as well as to determine the types and rock compositions of their power sources. It was found that the sandy rocks of the studied formations differ significantly in material composition and, accordingly, were formed in different paleogeodynamic settings. According to petrographic and geochemical parameters, the sandstones of the Early Silurian Kordonka formation belong to graywackes, which are dominated by heavy minerals typical of island-arc volcanic rocks. The Interpretation of the data obtained indicates the accumulation of rocks in the basin associated with the intra-oceanic island arc, for which the basic and medium volcanic rocks of the arc itself, as well as sedimentary and igneous rocks of its base, served as a source area. The mineralogical and geochemical properties of the rocks of the Early-Middle Permian Reshetnikovka formation indicate their belonging to arkoses in which the minerals of the granite-metamorphic association dominate. Deposits of the formation accumulated in basins located on the passive continental margin. The sources of matter were the cratons and marginal parts of the rifts that participated in the structure of this margin, composed of granitoids, metamorphic and sedimentary rocks. Sandstones of the Late Triassic Talmi formation belong to the graywackes, especially the composition of which suggests their formation in an active continental margin in the basins of rift origin. Clastic material came from the marginal parts of rifts, composed of acidic and medium igneous and metamorphic rocks. The results obtained allow us to consider the Laeoling-Grodekovo terrane as an accretionary, consisting of Paleozoic and Early Mesozoic sediments formed in various geodynamic settings.

**Keywords:** Laeoling-Grodekovo terrane, sandstones, material composition, geodynamic settings

Комплексное применение методов генетическая интерпретация позволяют детального изучения вещественного состава терригенных пород, а также построенная на современных методиках его решить одну из насущных задач геологии Дальнего Востока России: выяснение палеогеодинамических обстановок нако-

пления разновозрастных отложений в бассейнах, фрагменты которых устанавливаются в орогенных поясах, протягивающихся вдоль восточной окраины Азиатского континента. Одним из таких фрагментов, расположенным в юго-западной части Приморья, является Лаоелин-Гродековский террейн, в строении которого участвуют нижнесилурийские, ниже-среднепермские и верхнетриасовые отложения. Литологическая изученность терригенных пород, несмотря на продолжительную историю геолого-съёмочных и тематических исследований, остается низкой, а существующие представления об условиях их формирования значительно разнятся и часто не обоснованы. Цель исследования – на основании изучения и интерпретации вещественного состава песчаных пород террейна восстановить обстановки и источники питания его бассейнов седиментации.

#### Материалы и методы исследования

Исследования основываются на результатах комплексного изучения вещественного состава песчаных пород из палеозойских и раннемезозойских отложений Лаоелин-Гродековского террейна. Образцы и пробы для исследований были отобраны из береговых обнажений рек, выемок вдоль дорог и в карьерах. Для исследований выбраны песчаники, несущие максимальную информацию для расшифровки геодинамических обстановок накопления отложений. Петрографический и минеральный состав пород изучался с использованием поляризационного микроскопа AxioPlan 2 imaging. Минералы тяжелой фракции выделялись и определялись традиционными методами. Химический состав пород был изучен на спектрометре iCAP 6500 Duo методом атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно связанной плазмой. Содержание редких и редкоземельных элементов (РЗЭ) устанавливались на квадрупольном масс-спектрометре Agilent 7500с с использованием метода плазменной спектроскопии (ICP-MS). Исследования выполнены в лабораториях Аналитического центра (ЦКП) ДВГИ ДВО РАН (г. Владивосток), аналитики Е.В. Волкова, П.Д. Гасанова, Г.А. Горбач, Е.В. Еловский, В.Н. Каминская, Е.А. Ткалина, Н.В. Хуркало.

#### Результаты исследования и их обсуждение

Лаоелин-Гродековский террейн представляет собой одну из важнейших тек-

тонических структур восточной окраины Азиатского континента, образуя западное обрамление мезозойского Сихотэ-Алинского орогенного пояса [1–3]. Террейн находится на юго-западе Приморья и представляет собой узкий (до 80 км) блок, протягивающийся на 300 км вдоль границы с Китаем и уходящий на его территорию (рис. 1). В строении террейна участвуют сложно дислоцированные силурийские, пермские и триасовые терригенные и вулканогенные образования, прорванные позднепермскими и раннемезозойскими гранитоидами [2].

Изученные отложения имеют состав, представленный на рис. 1. Раннесилурийская кордонкинская свита (2100 м) состоит из переслаивающихся разнозернистых песчаников, алевролитов и аргиллитов, сланцев, туфов, базальтов, андезитов, редко конгломератов и кремнисто-глинистых пород [2]. Ранне-среднепермская решетниковская свита (до 2100 м) сложена в основном терригенными породами: песчаниками, алевролитами, аргиллитами, конгломератами и гравелитами. Позднетриасовая тальминская свита (500–800 м) состоит в основном из вулканических пород: дацитов, риолитов, андезитов, кластолав, туфов и лишь в ее основании отмечаются пачки и линзы песчаников, конгломератов и гравелитов.

Для выяснения обстановок формирования и определения источников питания отложений террейна, в песчаниках были изучены пороодообразующие компоненты, тяжелые обломочные минералы, а также их геохимический состав. Результаты представлены на рис. 2.

Песчаники кордонкинской свиты от мелко- до крупнозернистых, сортировка и окатанность обломочного материала слабая либо средняя. Обломочная часть представлена кварцем (13–22%), полевыми шпатами (32–46%), обломками пород (34–49%): вулканитами, терригенными породами, кремнями, сланцами, кварцитами. Песчаники решетниковской свиты обычно от средне- до крупнозернистых, реже мелкозернистые. Обломочный материал слабо либо средне окатан и отсортирован. В породах доминирует кварц (40–48%), меньше полевых шпатов (25–40%) и обломков пород (15–45%): метаморфических, кислых эффузивных и интрузивных. Тальминские песчаники средне- и крупнозернистые, со слабой либо средней сортировкой и окатанностью материала. Породы содержат 22–27% кварца, 24–35% полевых шпатов

и 41–54% обломков пород: средних и кислых эффузивов, гранитоидов, реже обломочных, кремнистых и метаморфических пород. В целом, по классификации породообразующих компонентов [4], кордонкинские и тальминские песчаники являются кварцево-полевошпатовыми граувакками, а решетниковские – полевошпатовыми аркозами и полевошпатово-кварцевыми граувакками (рис. 2, а).

Известно, что для различных геодинамических обстановок свойственны определенные ассоциации тяжелых минералов [7, 8]. На рис. 2, б, показаны средние содержания и характер распределения тяжелых минералов в изученных свитах. В породах кордонкинской свиты преобладает фемическая ассоциация тяжелых минералов (в сумме в среднем 92%), происходящая из основных и ультраосновных магматических пород: хромит, магнетит, пироксен, роговая

обманка, эпидот, а также ильменит и лейкоксен, которые, впрочем, могут встречаться и в гранитоидах. В подчиненную сиалическую ассоциацию (в среднем до 8%) входят минералы гранитоидов и метаморфических пород: циркон, гранат, турмалин, сфен, апатит, рутил и анатаз. В решетниковских песчаниках уже преобладает (в среднем 75%) сиалическая ассоциация, в которой основной минерал циркон (в отдельных пробах до 97%). Вместе с тем в породах содержится и небольшое количество хромита (в среднем 9%), указывающего на присутствие в источниках сноса основных и ультраосновных магматитов. В тальминских песчаниках также преобладает сиалическая ассоциация (в среднем 86%). Но, в отличие от решетниковских, здесь доминирует гранат (в среднем 64%), а вот циркона не более 25%. Фемическая ассоциация находится в резко подчиненном количестве (до 14%).

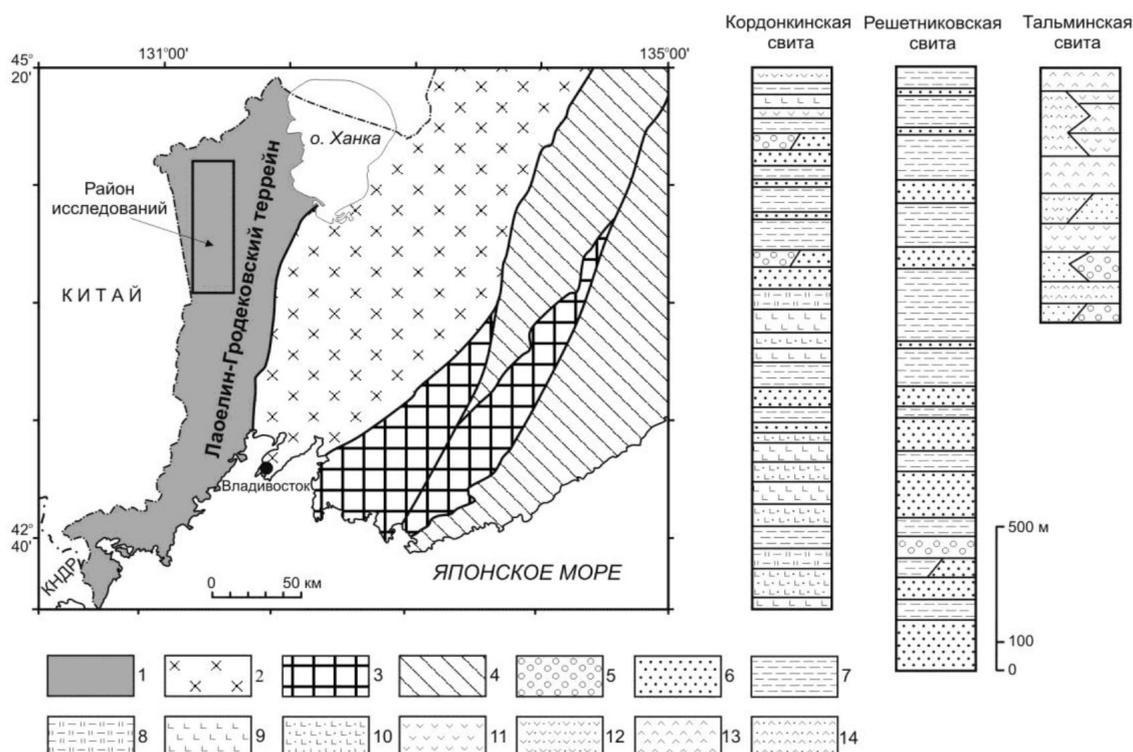


Рис. 1. Схематическая геологическая карта Юго-Западного Приморья [2] и литолого-стратиграфические колонки изученных свит. Для карты: 1 – Лаолин-Гродековский террейн; 2 – террейны раннепалеозойского Бурея-Ханкайского орогенного пояса; 3 – террейны раннепалеозойской активной окраины, 4 – террейны позднемезозойского Сихотэ-Алинского орогенного пояса. Для колонок: 5 – конгломераты и гравелиты; 6 – песчаники; 7 – алевроаргиллиты; 8 – кремнисто-глинистые породы; 9 – базальты; 10 – туфы основного состава; 11 – андезиты; 12 – туфы среднего состава; 13 – дациты и риолиты; 14 – туфы кислого состава

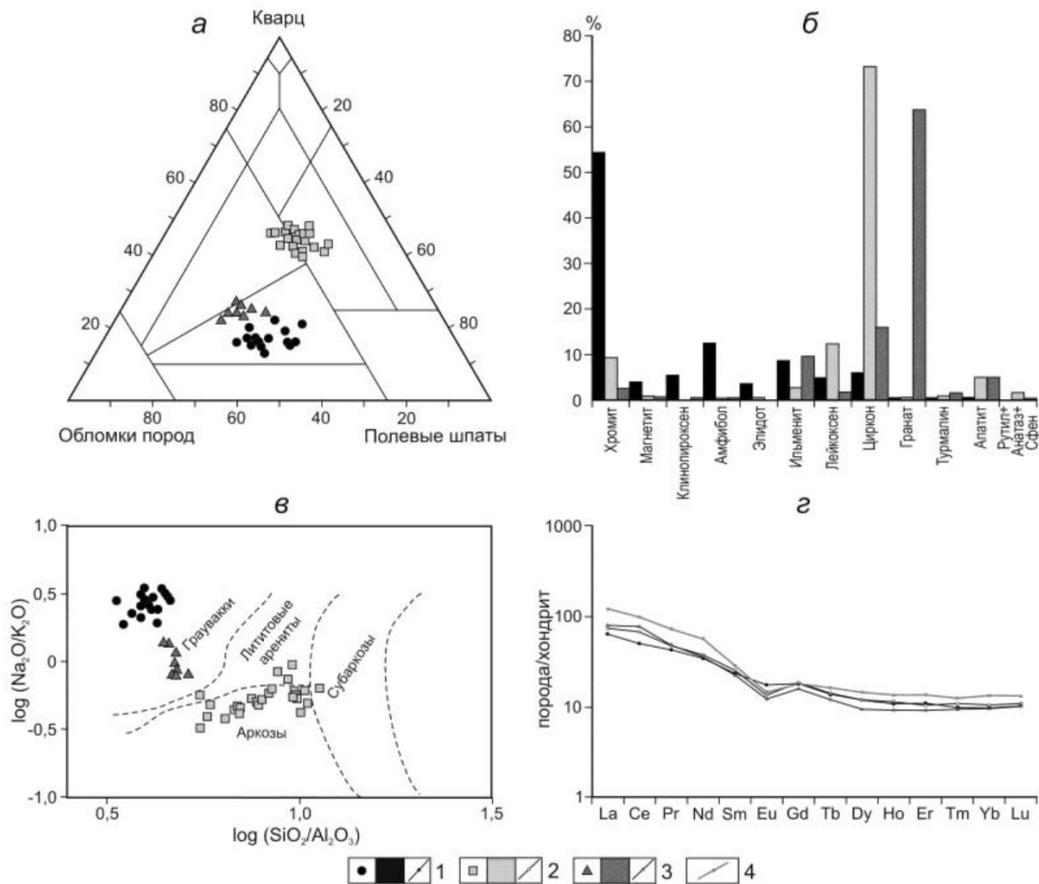


Рис. 2. Минералого-геохимический состав песчаников изученных свит Лаолин-Гродековского террейна; а – классификационная диаграмма по пороодообразующим компонентам [4]; б – состав и характер распределения тяжелых обломочных минералов; в – классификационная диаграмма по химическому составу [5]; г – спектры распределения РЗЭ и их сопоставление с PAAS [6]. 1–3 – свиты: 1 – кордонкинская, 2 – решетниковская, 3 – тальминская; 4 – PAAS

По химическому составу песчаники террейна существенно различаются. Геохимические особенности пород кордонкинской свиты достаточно подробно освещены в предыдущей публикации [2]. Отметим лишь низкие содержания в них  $\text{SiO}_2$  (54,50–64,51%), повышенные  $\text{FeO} + \text{Fe}_2\text{O}_3$  (6,63–9,26%),  $\text{MgO}$  (2,36–7,83%),  $\text{TiO}_2$  (0,61–1,19%) и  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (12,22–16,65%), а также обычные для граувакк преобладания  $\text{Na}_2\text{O}$  над  $\text{K}_2\text{O}$ . Решетниковские песчаники резко отличаются от кордонкинских, что выражается в высоких содержаниях  $\text{SiO}_2$  (75,22–86,55%), пониженных  $\text{TiO}_2$  (0,15–0,68%),  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (6,71–13,72%) и  $\text{FeO} + \text{Fe}_2\text{O}_3$  (0,29–2,60%), а также свойственным уже аркозам преобладанием  $\text{K}_2\text{O}$  над  $\text{Na}_2\text{O}$ . Песчаники тальминской свиты по химии занимают промежуточное положение между породами кордонкинской и решетниковской свит. Содержание оксидов в них изменяет-

ся незначительно:  $\text{SiO}_2$  (66,90%–71,66%),  $\text{TiO}_2$  (0,42–0,92%),  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (13,84–15,02%),  $\text{FeO} + \text{Fe}_2\text{O}_3$  (2,68–4,67%),  $\text{MgO}$  (0,73–1,26%), при этом отношение  $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O} \leq 1$ , что приближает их к грауваккам. На классификационной диаграмме (рис. 2, в) [5] песчаники кордонкинской и тальминской свит попадают в поле граувакк, а решетниковской – аркоз и частично лититовых аренов и субаркоз.

В песчаных породах изученных свит суммарные концентрации РЗЭ относительно невелики: в кордонкинской свите 55–183 г/т, решетниковской 97–179 г/т и тальминской 97–148 г/т. Спектры распределения РЗЭ (рис. 2, г) в песчаниках всех свит характеризуются умеренной степенью фракционирования при невысоком отношении легких лантаноидов к тяжелым ( $\text{La}_N/\text{Yb}_N$  в кордонкинской свите 3,58–8,97, в решетниковской 4,81–11,29, в тальминской 6,05–8,10). Вместе

с тем в кордонкинской свите эти спектры характеризуются отсутствием либо слабо проявленной отрицательной европиевой аномалией ( $Eu/Eu^*$  0,71–1,14) [2], в то время как в решетниковской и тальминской она достаточно выражена (0,48–0,79 и 0,55–0,69 соответственно). Сопоставление со средним постаршеим глинистым сланцем (РААS) [6] показывает, что во всех свитах породы обеднены подавляющим большинством элементов (от 1,1 до 2,4 раза).

Палеогеодинамическая интерпретация полученных минералого-геохимических данных осуществлена с использованием классических дискриминантных диаграмм, разработанных при сравнении результатов

исследования древних обломочных пород и современных отложений, накапливавшихся в известных геодинамических обстановках [2, 7, 8].

Положение точек состава песчаников на диаграммах, используемых для реконструкции геотектонических типов источников питания (рис. 3, а, б) [8, 9], свидетельствует, что для отложений кордонкинской свиты областью питания была переходная, частично эродированная островная дуга, при этом отложения формировались как за счет разрушения основных-средних вулканитов самой дуги, так и магматических и обогащенных кварцем осадочных пород ее фундамента (рис. 3, в, г) [10, 11].

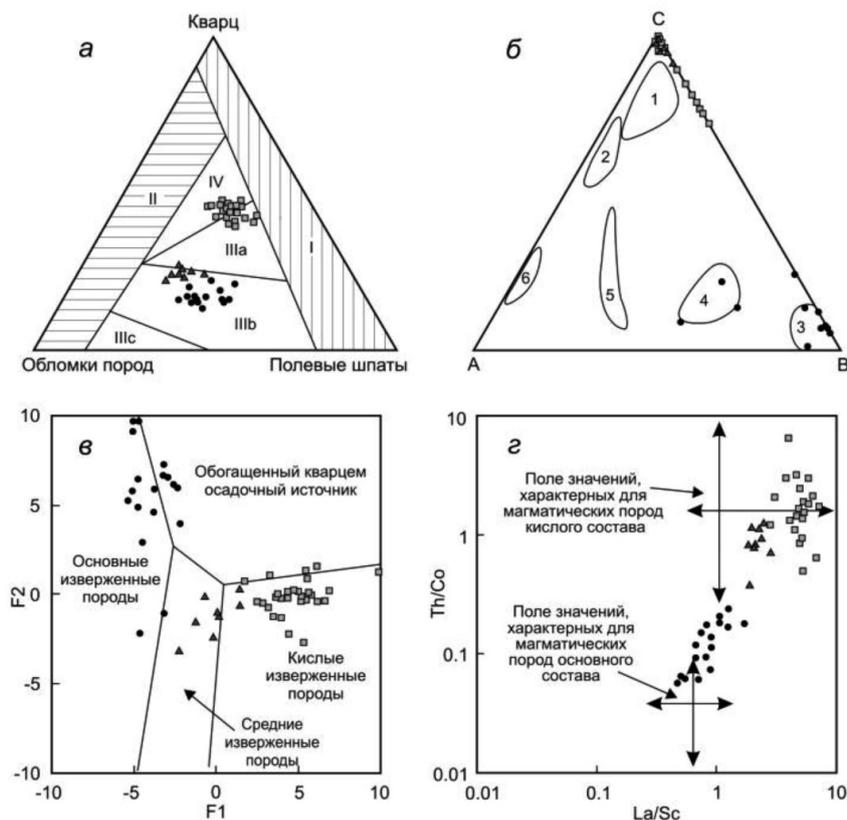


Рис. 3. Источники питания для отложений изученных свит террейна: а – по породообразующим компонентам [9]. Типы областей питания: I – устойчивые кратоны и блоки основания, II – ремобилизованные орогены, III – магматические дуги (IIIa – расчлененные, глубоко эродированные, IIIb – переходные, IIIc – нерасчлененные, слабо эродированные), IV – смешанные источники питания; б – по тяжелым обломочным минералам [8]. А – амфиболы; В – клино-, ортопироксены, оливины и хромиты; С – другие прозрачные минералы. Типы питающих провинций: 1 – континентальные блоки (кратоны и краевые части рифтов); 2 – коллизионные орогены; 3–6 – магматические дуги: 3 – незэродированные, 4 – переходные слабоэродированные, 5 – переходные эродированные, 6 – сильноэродированные; в–г – вероятные составы материнских пород по геохимическим данным на диаграммах: в – F1–F2 [10]:  $F1 = 30,638 \cdot TiO_2 / Al_2O_3 - 12,541 \cdot Fe_2O_3^* / Al_2O_3 + 7,329 \cdot MgO / Al_2O_3 + 12,031 \cdot Na_2O / Al_2O_3 + 35,402 \cdot K_2O / Al_2O_3 - 6,382$ ;  $F2 = 56,5 \cdot TiO_2 / Al_2O_3 - 10,879 \cdot Fe_2O_3^* / Al_2O_3 + 30,875 \cdot MgO / Al_2O_3 - 5,404 \cdot Na_2O / Al_2O_3 + 11,112 \cdot K_2O / Al_2O_3 - 3,89$ ; г –  $La/Sc - Th/Co$  [11]. Условные обозначения см. на рис. 2

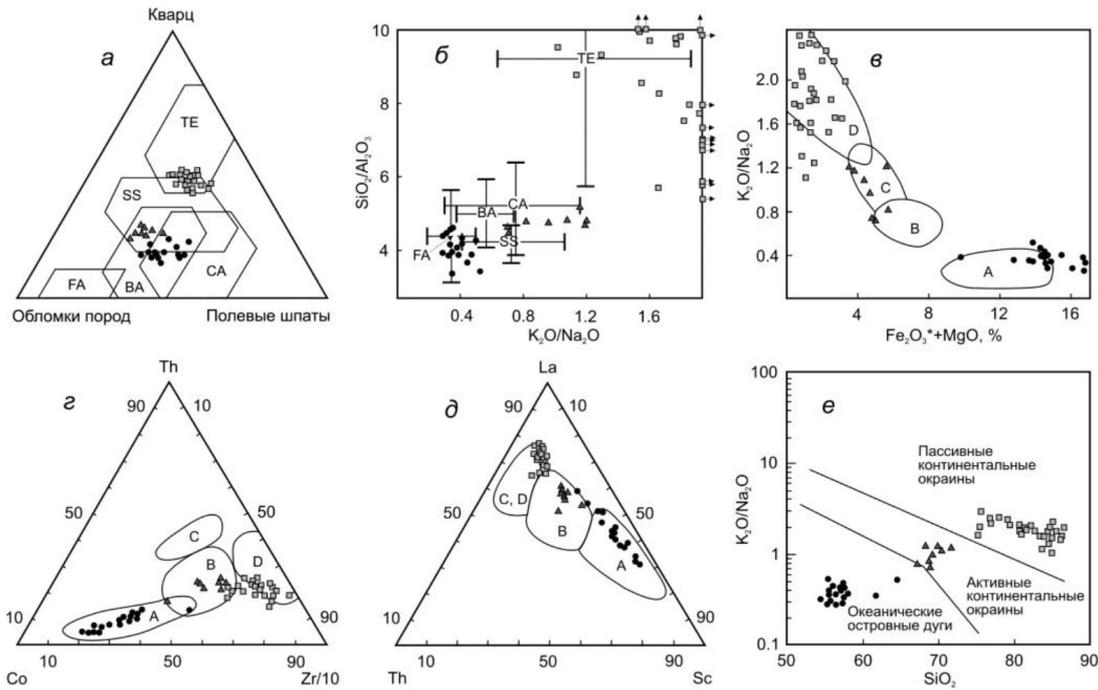


Рис. 4. Палеогеодинамические обстановки формирования отложений изученных свит: а, б – типы бассейновых обстановок [12]: а – по порообразующим компонентам песчаников, б – по их химическому составу. Бассейны: пассивных (ТЕ) и активных континентальных окраин, осложненных сдвиговыми дислокациями по трансформным разломам (SS); сопряженные: с окраинно-континентальной магматической дугой (СА), с океанической вулканической дугой (FA – преддуговые и ВА – задуговые бассейны), в-д – типы бассейнов по геохимическим данным [13, 14], сопряженные: А – с океаническими, В – с континентальными островными дугами, С – с активными, D – с пассивными континентальными окраинами. Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>\* – общее железо, е – бассейны различных тектонических обстановок [15]. Условные обозначения см. на рис. 2

Реконструкция типов источников питания для решетниковской свиты показывает, что на осадконакопление в основном влияли размывавшиеся блоки пассивной континентальной окраины: кратоны и краевые части рифтов, сложенные кислыми изверженными, метаморфическими и обогащенными кварцем осадочными породами (рис. 3). Интерпретация состава песчаников тальминской свиты неоднозначна. Источниками ее питания могли быть как переходная, частично эродированная энсиалическая островная дуга, так и краевые части рифтов, связанных с активной континентальной окраиной. Размывались кислые и средние изверженные породы, а также породы низких стадий метаморфизма (рис. 3).

Существование определенных типов и породного состава источников питания подразумевает и конкретные геодинамические обстановки образования связанных с ними осадочных бассейнов [2, 7]. Положение точек состава песчаников кордон-

кинской свиты на диаграммах, предложенных рядом авторов [12–14] для разделения песчаников из бассейнов различных геодинамических обстановок (рис. 4), позволяет говорить об их формировании в бассейне, сопряженном с внутриокеанической островной дугой [2]. Интерпретация состава решетниковских песчаников (рис. 4) свидетельствует об их накоплении в бассейнах (внутри- и межконтинентальных рифтах и авлакогенах), связанных с пассивной континентальной окраиной. Интерпретация состава тальминских песчаников неоднозначна. На части диаграмм (рис. 4, г, д) их точки попадают в поля бассейнов окраинно-континентальных дуг, но на большинстве же других (рис. 4, а, б, в, е) они ложатся в поля бассейнов активных континентальных окраин, в том числе осложненных дислокациями по трансформным разломам. Исходя из этого, а также учитывая вероятную принадлежность областей сноса к краевым частям рифтов, можно предположить нако-

пление отложений на активной континентальной окраине в бассейнах рифтогенного происхождения.

### Заключение

Рассмотрен вещественный состав палеозойских и раннемезозойских песчаных пород Лаоелин-Гродековского террейна Юго-Западного Приморья. Изучение и интерпретация полученных данных свидетельствуют, что породы существенно отличаются по составу и формировались в различных геодинамических обстановках. Формирование отложений кордонкинской свиты происходило в бассейне, связанном с внутриокеанической островной дугой. Источниками материала были основные и средние вулканы дуги, а также магматические и осадочные породы ее основания. Отложения решетниковской свиты накапливались в бассейнах пассивной континентальной окраины. Источниками питания были входящие в состав этой окраины кратоны и краевые части рифтов, сложенные кислыми изверженными, метаморфическими и осадочными породами. Тальминская свита формировалась на активной континентальной окраине в бассейнах рифтогенного происхождения. Источниками кластики выступали краевые части этих рифтов, сложенные кислыми и средними изверженными породами и метаморфитами. В целом полученные результаты позволяют рассматривать Лаоелин-Гродековский террейн как аккреционную призму, состоящую из палеозойских и раннемезозойских отложений, формировавшихся в различных геодинамических обстановках.

*Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ № 19-05-00037-а.*

### Список литературы / References

1. Геодинамика, магматизм и металлогения Востока России / Под ред. А.И. Ханчука. Кн. 1. Владивосток: Дальнаука, 2006. 572 с.  
Geodynamics, Magmatism and Metallogeny of the Russian / Pod red. A.I. Khanchuk. Kn. 1. Vladivostok: Dal'nauka, 2006. 572 p. (in Russian).
2. Малиновский А.И., Голозубов В.В., Касаткин С.А. Геохимия, источники питания и геодинамические обстанов-

ки накопления нижнесилурийских терригенных отложений Лаоелин-Гродековского террейна (Приморье) // Успехи современного естествознания. 2019. № 11. С. 121–127. DOI: 10.17513/use.37250.

Malinovskiy A.I., Golozubov V.V., Kasatkin S.A. Geochemistry, power sources and geodynamic settings of the formation of upper Silurian terrigenous deposits of the Laoling-Grodekovo terrane (Primorye) // Advancer in current natural sciences. 2019. № 11. P. 121–127 (in Russian).

3. The Central Asian Orogenic Belt: Geology, Evolution, Tectonics and Models. Ed. A. Kröner. Stuttgart: Borntraeger Science Publisher, 2015. 313 p.

4. Шутов В.Д. Классификация песчаников // Литология и полезные ископаемые. 1967. № 5. С. 86–102.

Shutov V.D. Classification of Sandstones // Litologiya i poleznyye iskopayemye. 1967. № 5. P. 86–102 (in Russian).

5. Pettijohn F.J., Potter P.E., Siever R., Sand and Sandstone. New York: Springer, 1972. 618 p.

6. Taylor S.R., McLennan S.M. Planetary crusts: Their composition, origin and evolution. Cambridge: Cambridge University Press, 2009. 378 p.

7. Малиновский А.И. Источники питания и обстановки формирования кайнозойских отложений Западно-Сахалинского террейна по результатам изучения тяжелых обломочных минералов // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2019. № 3 (43). С. 5–25. DOI: 10.31431/1816-5524-2019-3-43-5-25.

Malinovskiy A.I. Source areas and geodynamic settings of Cenozoic deposits of the West Sakhalin terrane by the results of studying of heavy detrital minerals // Vestnik KRAUNTs. Nauki o Zemle. 2019. № 3 (43). P. 5–25 (in Russian).

8. Garzanti E., Ando S. Plate tectonics and heavy mineral suites of modern sands. Heavy minerals in use. Developments in sedimentology. 2007. Amsterdam: Elsevier, 2007. V. 58. P. 741–764. DOI: 10.1016/S0070-4571(07)58029-5.

9. Dickinson W.R., Suczek C.A. Plate tectonics and sandstone composition. Amer. Assoc. Petrol. Geol. Bull. 1979. V. 63. № 12. P. 2164–2182.

10. Roser B.P., Korsch R.J. Provenance signatures of sandstone-mudstone suites determined using discriminant function analysis of major-element data. Chem. Geol. 1988. V. 67. P. 119–139. DOI: 10.1016/0009-2541(88)90010-1.

11. Cullers R.L. Implications of elemental concentrations for provenance, redox conditions, and metamorphic studies of shales and limestones near Pueblo, CO, USA. Chem. Geol. 2002. V. 191. P. 305–327. DOI: 10.1016/S0009-2541(02)00133-X.

12. Potter P.E., Maynard J.B., Pryor W.A. Sedimentology of shale: study guide and reference source. New York: Springer-Verlag, 2012. 303 p.

13. Bhatia M.R. Plate tectonics and geochemical compositions of sandstones. J. Geol. 1983. V. 91. № 6. P. 611–627. DOI: 10.1086/628815.

14. Bhatia M.R., Crook K.A.W. Trace element characteristics of graywackes and tectonic setting discrimination of sedimentary basins. Contrib. Mineral. Petrol. 1986. V. 92. P. 181–193. DOI: 10.1007/BF00375292.

15. Roser B.P., Korsch R.J. Determination of tectonic setting of sandstone-mudstone suites using SiO<sub>2</sub> content and K<sub>2</sub>O/Na<sub>2</sub>O ratio. J. Geol. 1986. V. 94. № 5. P. 635–650. DOI: 10.1086/629071.

УДК 552.321.1:549.621.9

**ГЕНЕЗИС ГРАНАТОВ ГРАНИТОИДОВ УСПЕНСКОГО МАССИВА  
(ЮЖНОЕ ПРИМОРЬЕ)****Москаленко Е.Ю.***Дальневосточный геологический институт ДВО РАН, Владивосток, e-mail: emoskalen@mail.ru*

Приведены результаты петрографических исследований и первые данные по химическому составу гранатов из гранитоидов Успенского массива (Приморье). Было установлено, что гранат в гранитах-лейкогранитах ранней ассоциации имеет магматический генезис, а гранат в гранодиоритах и мелагранитах поздней ассоциации – ксеногенный. Морфология зерен граната и их парагенетические взаимоотношения с минералами биотитовых и двуслюдяных гранитов и лейкогранитов указывают на кристаллизацию из расплава. Гранаты ранней ассоциации представлены зональными спессартин-альмандинами с низким содержанием пиропового и гроссулярового минералов, которые типичны для низкотемпературных гранитов, образованных из водонасыщенных высокоглиноземистых расплавов, а наиболее марганцовистые разности внешних зон зерен – из постмагматического водного флюида при P–T-условиях, близких к обстановке кристаллизации гранитных пегматитов ( $T = 750\text{--}400^\circ\text{C}$ ,  $P < 3$  кбар). Гранаты в гранитоидах поздней ассоциации встречаются только в эндоконтактных фациях, где представлены зернами, подобными таковым из раннемеловых слюдяных динамосланцев шайгинского комплекса. Ассимиляция гранитоидным расплавом проявлена в замещении граната агрегатом мелкочешуйчатого биотита и пиррофанита. Гранаты из мелагранитов также соответствуют гранатам спессартин-альмандинового ряда с низким содержанием пироповой и гроссуляровой компонент, но отличаются высоким содержанием MnO (более 13%) и повышенной кальциевостью (более 5% CaO) краевых зон. Их повышенная марганцовистость наследуется от гранатов слюдяных сланцев, которые соответствуют альмандин-спессартинам с низкими содержаниями пиропового и гроссулярового минералов. Метаморфогенный характер гранатов из пород поздней ассоциации Успенского массива не позволяет использовать их как минералогический критерий отличия от альб-сеноманских гранодиорит-гранитов татибинского комплекса Сихотэ-Алинского орогенного пояса.

**Ключевые слова:** Успенский массив, синорогенный магматизм, альб-сеноман, гранитоиды, гранат**THE GENESIS OF GARNETS FROM GRANITOIDS OF THE USPENSKY MASSIF  
(SOUTHERN PRIMORYE)****Moskalenko E. Yu.***Far Eastern Geological Institute, Vladivostok, e-mail: emoskalen@mail.ru*

New petrographic research results and the first data on the chemical composition of garnets from the Uspensky granitoid massif in Southern Primorye are presented. It was found that garnet in granite-leucogranites of early association ( $103 \pm 2$  Ma) has a magmatic origin and garnet in granodiorites and melanogranites of late association ( $99 \pm 2$  Ma) is xenogenic. The morphology of garnet grains and their paragenetic relationship with the minerals of biotite and muscovite-biotite granites and leucogranites indicate melt crystallization. Garnets of the early association are represented by zonal spessartine-almandines with a low content of pyrope and grossular minerals. They are typical of low-temperature granites formed from water-saturated peraluminous melts, while the most manganese outer zones of grains formed from postmagmatic water fluid under P-T conditions resembling those of granite pegmatite crystallization ( $T = 750 - 400^\circ\text{C}$ ,  $P < 3$  kbar). Garnets in the late association granitoids are found only in endocontact facies, where they are represented by grains similar to those of the early Cretaceous mica dynamoslates of the Shaiginsky complex. The granitoid melt assimilates garnet and is replaced by an aggregate of small-scaled biotite and pyrophanite. Garnets in melagranites also correspond to the spessartine-almandine series with a low content of pyrope and grossular components but are characterized by a high content of MnO (more than 13%) in general and CaO (more than 5%) in the outer zones. Their increased manganese content is inherited from garnets in mica schists, which correspond to almandine-spessartines with low contents of pyrope and grossular minerals. The metamorphic genesis of garnets from rocks of the late association of the Uspensky granitoid massif does not allow using them as a mineralogical criterion for distinguishing them from the Albion-Cenomanian Tatibinsky granodiorite-granite complex of the Sikhote-Alin orogenic belt.

**Keywords:** Uspensky massif, synorogenic magmatism, Alb-Cenoman, granitoids, garnet

Изучение образования континентальной литосферы остается одной из важнейших задач современной геологии. Пример данного явления – развитие Сихотэ-Алинского орогенного пояса восточной окраины Азии, синорогенный гранитоидный магматизм которого характеризуется этапами активности в готерив-барреме (130–123 млн лет) и альб-сеномане (110–98 млн лет). Гранитоиды раннего этапа представлены породами

высокоглиноземистого типа хунгарийского комплекса, расположенного локально на севере пояса, а позднего – известково-щелочного татибинского комплекса, массивы которого распространены по всему Сихотэ-Алинию [1–3]. Успенский массив располагается на самом юге орогенного пояса, а время его внедрения соответствует позднему этапу. Гранитоиды массива выделены в успенский комплекс, характеризующийся наличием

в главной интрузивной фазе гранатовых гранитов и лейкогранитов, которые связаны фациальными переходами с гранодиоритами и меланогранитами [4]. Контактные взаимоотношения этих пород не установлены в силу пространственного разобщения и плохой обнаженности района работ.

Гранат – аксессуарный минерал многих магматических пород, где может быть магматогенным либо реликтовым. Собственный гранат образуется из низкотемпературной водонасыщенной кислой магмы в биотитовых и двуслюдяных гранитах, а в более высокотемпературных расплавах, как гранодиоритовый, кристаллизуется из остаточного расплава либо является постмагматическим образованием [5].

Цель данной публикации: показать особенности химического состава гранатов из пород Успенского массива и определить их генетическую принадлежность.

#### **Материалы и методы исследования**

Основой исследования являются полевые наблюдения и микрозондовые исследования гранатов из отобранных в морских береговых обнажениях Успенского массива образцов. Породы, содержащие гранат, были выделены петрографическими методами. Особенности химического состава гранатов были изучены на микрозондовых анализаторах «Сameбах» в ИГМ СО РАН (аналитик Е.Н. Нигматулина) и «JXA-8100» в ДВГИ ДВО РАН (аналитик Н.И. Екимова). Железо анализировалось в виде суммарного FeO. Расчеты химического состава на формулы минералов произведены с помощью программы PetroExplorer v.3.2.

#### **Результаты исследования и их обсуждение**

Успенский массив находится в южной части Приморского края в зоне выхода Центрально-Сихотэ-Алинского разлома (ЦСАР) на побережье Японского моря (рис. 1). Гранитоиды массива прорывают либо имеют тектонические контакты со средне-позднеюрскими турбидитами и олистостромами, слагающими матрикс юрской аккреционной призмы Самаркинского и тектонических пластин раннемеловой аккреционной призмы Таухинского террейнов, а также с развитыми по ним в Самаркинском террейне динамометаморфитами раннемелового шайгинского комплекса. Последние образуют многочисленные провесы кровли совместно с метагабброидами сергеевского комплекса – наиболее распространенными

породами аллохтонной платины фрагмента раннепалеозойской континентальной окраины, залегающей к северу от массива и включенной в состав Самаркинского террейна [4–7].

Существенное различие в петрохимическом, редкоэлементном и изотопном составе гранитоидов массива позволило выделить две магматические ассоциации, внедрившиеся без существенного разрыва во времени. Ранняя ( $103 \pm 2$  млн лет) объединяет гранатовые биотитовые и двуслюдяные гранит-лейкограниты и их постгранитную жильную серию, поздняя ( $99 \pm 2$  млн лет) – биотитовые ( $\pm$  амфибол) гранодиориты, меланограниты и граниты, их аплиты и пегматиты, а также наиболее поздние дайковые породы спессартитового ряда. Гранитоиды ранней ассоциации соответствуют гранитоидам S-типа, а характеристики пород поздней ассоциации – переходному S-I типу гранитоидов. Гранитоиды обеих ассоциаций сформированы за счет частичного плавления субстратов верхней континентальной коры (вероятнее всего метаморфических аналогов осадков Самаркинской аккреционной призмы). Их различие обусловлено неоднородностью источников магмогенерации и взаимодействием анатектических выплавов с более щелочными и обогащенными несовместимыми элементами базитовыми расплавами мантийного генезиса [6].

Нерешенным оставался вопрос о широком распространении [4] граната в гранитоидах обеих ассоциаций. Гранат устойчив при выветривании, что сделало его индикаторным признаком при картировании. Полевыми наблюдениями и петрографическими исследованиями установлено, что собственный гранат содержится только в гранатовых гранитах и лейкогранитах, а в породах гранодиорит-гранитной ассоциации (точнее, в их эндоконтактных фациях) – ксеногенный, захваченный из динамосланцев шайгинского комплекса.

Гранатовые граниты и лейкограниты имеют незначительные по протяженности (около 5 км) выходы в береговых обнажениях юго-западной части массива (рис. 1). Это массивные равномерно крупно- либо среднезернистые породы с гипидиоморфнозернистой структурой. В зонах тектонических дислокаций имеются признаки хрупкопластических деформаций. По минеральному составу выделяются фациальные разновидности преобладающих биотитовых, реже двуслюдяных и наименее распространенных мусковитовых гранитов.

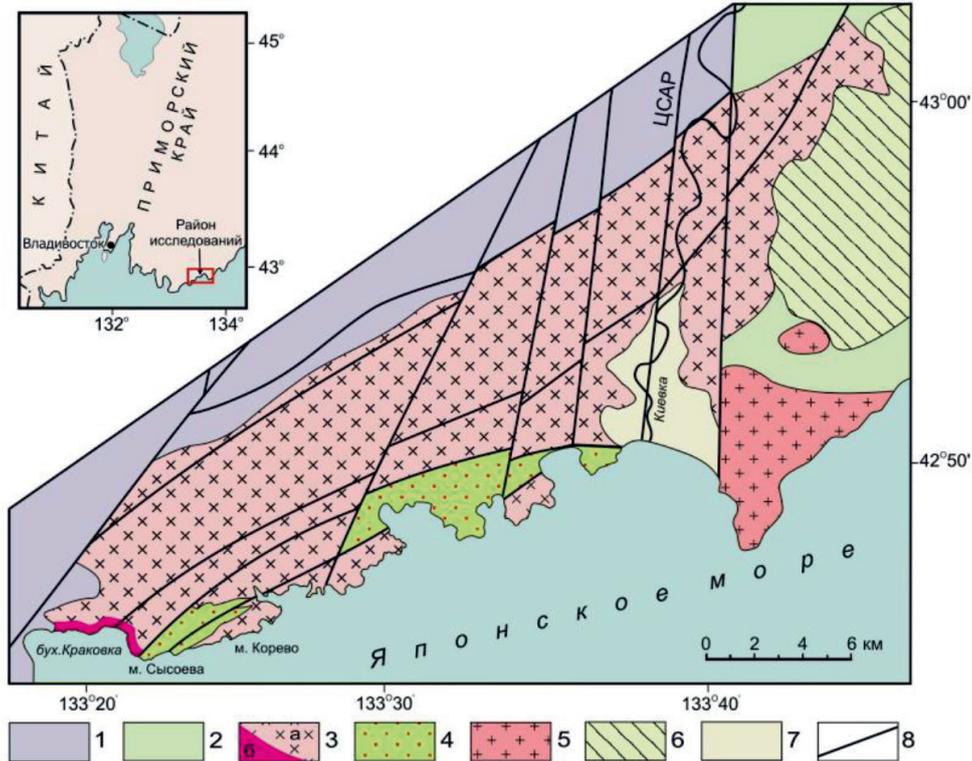


Рис. 1. Схематическая карта Успенского массива и прилегающей территории:  
 1 – Самаркинский террейн ( $J_{2,3}$ ); 2 – Таухинский террейн ( $K_1$ ); 3 – гранитоиды успешного комплекса ( $K_1$ ) (а – гранодиориты и граниты, б – ареал распространения гранатовых гранит-лейкогранитов); 4 – динамометаморфиты шайгинского комплекса ( $K_1$ ); 5 – гранитоиды ольгинского комплекса ( $K_2$ ) Восточно-Сихотэ-Алинского вулcano-плутонического пояса (ВСАВПП); 6 – вулканогенно-осадочные породы ВСАВПП ( $K_2$ -Ф); 7 – четвертичные отложения; 8 – разломы

Породы сложены решетчатым микроклином (около 50%), плагиоклазом и кварцем, находящимися в равных соотношениях, а также слюдами (менее 10%). Аксессуары представлены апатитом, цирконом, монацитом и магнетитом. Гранат содержится в количествах, близких к аксессуарным и редко до 7–10%. Гранат имеет бледную красно-розовую окраску, в шлифах – бесцветный, представлен идиоморфными кристаллами (0,3–0,5 мм, реже крупнее). Гранат в виде единичных зерен или их скоплений располагается между зернами кварца и микроклина либо включен в последний, также находится в жилноподобных агрегатах ксеноморфного кварца отдельно или совместно со слюдой, что указывает на совместную кристаллизацию из расплава. Гранат также входит в состав пород постгранитной жильной серии.

Иной характер имеют выделения граната в породах гранодиорит-гранитной ассоци-

ции, фациальные разновидности которой встречаются к востоку от мыса Корево. Породы гранодиорит-гранитной ассоциации характеризуются широким разнообразием, что связано с колебаниями соотношений породообразующих минералов (К-Na полевого шпата, плагиоклаза, кварца, биотита и роговой обманки) и текстурно-структурных особенностей, обусловленными кристаллизацией пород в апикальной части интрузива, взаимодействием с вмещающими породами (гибридизацией при ассимиляции шайгинских динамосланцев и сергеевских метагабброидов), воздействием стрессовых напряжений во время и после завершения кристаллизации пород, приведшим к развитию пластических, хрупко-пластических и хрупких деформаций, а также преобразованию в порфиробластовые динамогнейсы гранитоидов северо-восточной части массива. Наиболее распространены гранодиориты и меланограниты. Их акцессорные

минералы – титанит, апатит, ильменит, циркон, ортит. Гранат присутствует только в порфириновых и резкопорфировидных разностях меланогранитов на контакте с содержащими гранат слюдяными сланцами, при удалении от которого на первые метры количество зерен граната уменьшается, вплоть до полного исчезновения. Гранат представлен мелкими (до 0,1 мм) неправильной формы зернами или их скоплениями, такими же, как в сланцах. Взаимодействие с гранитоидным расплавом выражено в замещении граната по периферии и трещинам мелкочешуйчатый биотитом и зернами пиррофанита ( $MnTiO_3$ ). В шлифах из образцов, взятых непосредственно на контакте, в резкопорфировидных меланогранитах отмечены участки, обладающие составом и бластовой структурой, аналогичным таковым основной ткани сланцев, которые дезинтегрированы и подвергаются перекристаллизации.

Источником ксеногенного граната являются динамосланцы шайгинского комплекса, слагающие экзотактовые зоны массива и многочисленные различного размера останцы кровли на площади выходов пород гранодиорит-гранитной ассоциации, а также повсеместно распространенные в них ксенолиты (преимущественно 0,1–0,5 м в поперечнике). Преобразования терригенных пород под воздействием стрессового метаморфизма произошли на пике тектонических дислокаций на рубеже раннего и позднего мела [4] одновременно с внедрением пород гранодиорит-гранитной ассоциации [6], оказавшими, несомненно, температурно-химическое контактное воздействие. Среди пород шайгинского комплекса преобладают разнообразные метapelиты (кварц-серицитовые, кварц-альбит-эпидотовые, гранат-мусковит-альбитовые, гранат-мусковит-биотитовые, гранат-мусковит-биотит-кордиеритовые) и кварциты. Значительно реже встречаются зеленые сланцы (альбит-хлорит-эпидот-амфиболовые, глаукофан-хлоритовые, хлорит-магнетитовые), первичными для которых являются вулканы основного состава.

Гранаты изучены в тонкозернистых слюдяных сланцах, сложенных кварцем (30–40%), мусковитом (20–25%), гранатом (20–25%), биотитом (5–15%) и олигоклазом (до 5%). Гранат в виде мелких (менее 0,1 мм) неправильных зерен содержится в основной ткани, образует скопления в виде параллельных сланцеватости слой-

ков, а также секущие сланцеватость «прожилки». Макроскопически агрегаты зерен граната имеют красноватый оттенок, в шлифах бесцветны.

Особенности химического состава изученных гранатов демонстрируются на рис. 2. Гранаты из биотитовых гранитов и двуслюдяных лейкогранитов представлены спессартин-альмандинами с низкими содержаниями гроссулярового и пирропового минералов. Содержание MnO в гранатах из биотитовых гранитов колеблется в пределах 9,23–12,64%, а из двуслюдяных лейкогранитов – 10,01–12,67%, FeO – 25,90–30,53% и 28,36–30,35%, CaO – 0,88–3,76% и 0,69–2,27%, и MgO – 0,14–1,17% и 0,04–1,07% соответственно. При этом центральные зоны кристаллов имеют более высокие содержания FeO и MgO и низкие MnO и CaO. Гранаты гранит-лейкогранитов полностью соответствуют низкокальциевым гранатам спессартин-альмандинового ряда из низкотемпературных высокоглиноземистых гранитов, в которых гранат кристаллизуется из водонасыщенного гранитного расплава, а наиболее марганцовистые разности внешних зон зерен – из постмагматического водного флюида при P–T-условиях, близких к обстановке кристаллизации гранитных пегматитов ( $T = 750\text{--}400^\circ\text{C}$ ,  $P < 3$  кбар). Точки составов изученных гранатов лежат в поле мусковитовых пегматитов. В составе гранатов не обнаружено наличие примесей La, Ce, Pr, Nd, Sm, Gd и Th, что подтверждает отсутствие родства с редкометалльными гранитами и пегматитами [5]. Состав и форма выделений граната – идиоморфные хорошо ограненные кристаллы без признаков коррозии расплавом указывают на принадлежность изучаемого граната к субсолидусным фазам, а его наличие в аплитах и пегматитах гранит-лейкогранитной ассоциации подтверждает его формирование в постмагматический этап.

Гранаты из слюдяных сланцев представлены альмандин-спессартинами с низкими содержаниями гроссуляровой и пирроповой компонент. Гранат из сланца содержит MnO 18,50–23,30%, FeO 17,91–20,77%, CaO 1,06–2,55% и MgO 1,33–2,30%. Установлена зональность в распределении этих элементов, аналогичная таковой в гранатах из высокоглиноземистых гранитов. В условиях зеленосланцевой фации образуются гранаты с высокими содержаниями Mn и Ca [5]. Гранаты из шайгинских сланцев отличаются значительно более высокими содержаниями Mn и более низкими –

CaO. Последнее обусловлено спецификой химического состава родоначальных пород – низкокальциевых и относительно высококремнекислых терригенных осадков Самаркинского террейна [2].

Ксеногенные гранаты из меланогранитов характеризуются промежуточными составами ряда альмандин-спессартин. Содержание MnO в этих гранатах изменяется от 13,67% до 24,13%, FeO (15,08–28,44%), MgO (0,45–2,04%) и CaO (0–5,76%) (рис. 2). Наблюдающаяся зональность в распределении этих оксидов аналогична таковой в гранатах из гранит-лейкогранитов и сланцев и отличается максимальными среди определенных содержаниями CaO на краях зерен.

Таким образом, все три изученных группы гранатов относятся к спессартин-альмандиновому ряду с низкими содержаниями гроссуляровой и пироповой компонент. Гранаты из биотитовых гранитов и двуслюдяных лейкогранитов характеризуются преобладанием альмандинового минала при содержании MnO ниже 13%. В гранатах из сланцев преобладает спессартиновый,

при этом содержания MnO находятся в пределах 19–23%. В гранитоидах эндоконтактовой фации гранодиорит-гранитной ассоциации при ассимиляции сланцев в гранатах происходит снижение концентраций MnO, которые остаются превышающими рубеж в 13%. Полученные результаты исследования химического состав гранатов подтвердили, что собственные магматические гранаты присутствуют только в гранитоидах гранит-лейкогранитной ассоциации. В породах гранодиорит-гранитной ассоциации встречаются ксеногенные гранаты из вмещающих сланцев и считать эти гранитоиды гранатовыми неправомерно.

### Заключение

Для выяснения генезиса гранатов из пород Успенского массива и его обрамления были проведены петрографические исследования и изучен химический состав этих минералов из пород гранит-лейкогранитной и гранодиорит-гранитной ассоциаций, а также из метapelитов шайгинского динамометаморфического комплекса.

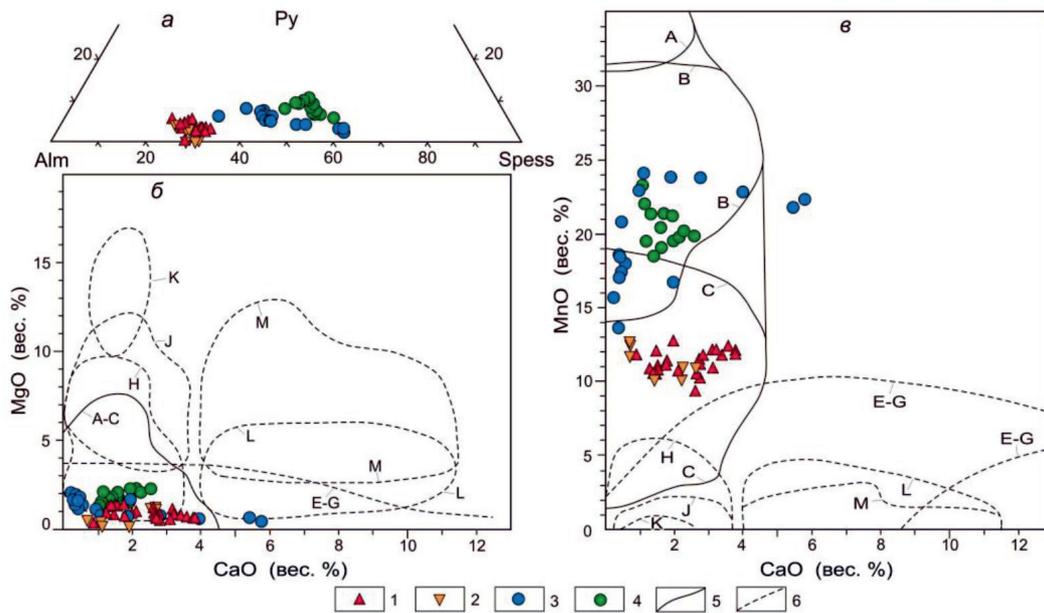


Рис. 2. Составы гранатов из пород Успенского массива и его обрамления: а – минальный состав; б, в – соотношения между содержаниями CaO, MgO и MnO [5]. 1–6 – гранаты из: 1–2 – гранитоидов гранит-лейкогранитной ассоциации (1 – биотитовых гранитов, 2 – двуслюдяных лейкогранитов); 3 – меланогранитов гранодиорит-гранитной ассоциации; 4 – слюдяных сланцев шайгинского комплекса; 5 – гранитных пегматитов (А – редкометалльных, В – редкометалльных-мусковитовых, С – мусковитовых); 6 – метаморфических пород (Е-Г – зеленых, хлоритовых, слюдяных сланцев и тавролитсодержащих пород, Н – биотитовых, биотит-силлиманитовых гнейсов и сланцев, J – гиперстеновых, биотит-гиперстеновых, полевошпатовых гранулитов, К – глубинных гранулитов, L – амфиболитов, амфиболовых гнейсов, альмандиновых эклогитов, М – двупироксеновых, гиперстен-амфиболовых гранулитов, диопсид-плагноклазовых пород)

Во всех породах гранат представлен разностями спессартин-альмандинового ряда с низкими долями гроссулярового и пиропового миналов. Отличием является содержание MnO и соответствующей ей доли спессартиновой компоненты. Собственные магматические гранаты альмандинового состава, кристаллизация которых происходила из гранитного расплава, свойственны только гранитоидам гранит-лейкогранитной ассоциации. В гранитоидах гранодиорит-гранитной ассоциации присутствуют метаморфогенные гранаты, соответствующие спессартинам из слюдяных сланцев, и их наличие не является отличительной чертой от гранодиоритов и гранитов татибинского комплекса. Выявленные особенности химического состава граната могут использоваться при картировании для уточнения распространения разновидностей гранитоидов Успенского массива.

#### Список литературы / References

1. Ханчук А.И., Гребенников А.В., Иванов В.В. Альб-сенноманские окраинно-континентальный орогенный пояс и магматическая провинция Тихоокеанской Азии // Тихоокеанская геология. 2019. Т. 38. № 3. С. 4–29. DOI: 10.30911/0207-4028-2019-38-3-4-29.
2. Kruk N.N., Grebennikov A.V., Ivanov V.V. Albian–Cenomanian orogenic belt and igneous province of Pacific Asia. *Russian Journal of Pacific Geology*. 2019. V. 38. № 3. P. 187–219. DOI: 10.1134/S1819714019030035.
3. Крук Н.Н., Симаненко В.П., Гвоздев В.И., Голозубов В.В., Ковач В.П., Серов П.А., Холоднов В.В., Москаленко Е.Ю., Куйбида М.Л. Геохимические особенности и источники расплавы раннемеловых гранитоидов Самаркинского террейна (Сихотэ-Алинь) // Геология и геофизика. 2014. Т. 55. № 2. С. 276–302. DOI: 10.15372/GiG201400206.
4. Kruk N.N., Simanenko V.P., Gvozdev V.I., Golozubov V.V., Kovach V.P., Serov P.A., Kholodnov V.V., Moskalenko E.Yu., Kuibida M.L. Early Cretaceous granitoids of the Samarka Terrane (Sikhote-Alin’): geochemistry and sources of melts. *Russian Geology and Geophysics*. 2014. V. 55. № 2. P. 216–236. DOI: 10.1016/j.rgg.2014.01.007.
5. Крук Н.Н., Гвоздев В.И., Орехов А.А., Крук Е.А., Касаткин С.А., Голозубов В.В., Руднев С.Н., Шого Аоки, Цуйоши Комия, Ковач В.П., Серов П.А. Раннемеловые гранитоиды и монзонитоиды южной части Журавлевского террейна (Сихотэ-Алинь): геохимические особенности и источники расплавы // Тихоокеанская геология. 2019. Т. 38. № 3. С. 30–49. DOI: 10.30911/0207-4028-2019-38-3-30-49.
6. Kruk N.N., Kruk E.A., Rudnev S.N., Gvozdev V.I., Orekhov A.A., Kasatkin S.A., Golozubov V.V., Aoki S., Komiya T.I., Kovach V.P., Serov P.A. Early Cretaceous granitic and monzonitic rocks of the southern part of the Zhuravlevka terrane (Sikhote-Alin): geochemical composition and melt sources. *Russian Journal of Pacific Geology*. 2019. V. 13. № 3. P. 220–238. DOI: 10.1134/S1819714019030047.
7. Неволин П.Л., Уткин В.П., Митрохин А.Н., Коваленко С.В., Кутуб-Заде Т.К. Меловые интрузивы Южного Приморья: тектоническая позиция и динамические условия формирования их структуры // Тихоокеанская геология. 2003. Т. 22. № 5. С. 73–86.
8. Nevolin P.L., Utkin V.P., Mitrokhin A.N., Kovalenko S.V., Kutub-Zade T.K. The Cretaceous intrusions of Southern Primorye: the tectonic position and dynamic conditions of their structure formation // *Tikhookeanskaya Geologiya*. 2003. V. 22. № 5. P. 73–86 (in Russian).
9. Попов В.С. Состав граната как показатель генезиса известково-щелочных изверженных пород // Известия АН СССР. Серия геологическая. 1982. № 3. С. 36–48.
10. Popov V.S. Garnet composition as an indicator of the Genesis of calcareous-alkaline igneous rocks // *Proceedings of the USSR Academy of Sciences. Geological series*. 1982. № 3. P. 36–48 (in Russian).
11. Москаленко Е.Ю., Крук Н.Н., Валуи Г.А. Новые данные по геологии и геохимии гранитоидов Успенского массива (Южное Приморье) // Тихоокеанская геология. 2011. Т. 30. № 5. С. 80–92.
12. Moskalenko E.Yu., Valui G.A., Kruk N.N. New geological and geochemical data on the granitoids of the Uspensky massif in Southern Primorye Russian // *Russian Journal of Pacific Geology*. 2011. V. 5. № 5. P. 446–457. DOI: 10.1134/S181971401105006X.
13. Крук Н.Н., Голозубов В.В., Ханчук А.И., Александров И.А., Чашчин А.А., Склярёв Е.В. Интрузивные комплексы Сергеевского террейна – древнейшего блока Южного Приморья. Владивосток: Дальнаука, 2018. 56 с.
14. Kruk N.N., Golozubov V.V., Khanchuk A.I., Aleksandrov I.A., Chashchin A.A., Sklyarov E.V. Intrusive complexes of Sergeevsky terrane – the oldest block of Southern Primorye. Vladivostok. Dalnauka. 2018. 56 p.

УДК 551.5:614.841.2

**АНАЛИЗ КАТАСТРОФИЧЕСКИХ СТЕПНЫХ ПОЖАРОВ И ПРИЧИНЫ ИХ ВОЗНИКНОВЕНИЯ В АПРЕЛЕ 2019 Г. (ЗАБАЙКАЛЬСКИЙ КРАЙ)****Носкова Е.В., Вахнина И.Л., Рахманова Н.В., Бронников В.В.***ФГБУН «Институт природных ресурсов, экологии и криологии Сибирского отделения Российской академии наук», Чита, e-mail: elena-noskova-2011@mail.ru*

Степные ландшафты занимают лишь седьмую часть от всей площади Забайкальского края, при этом более половины всех пожаров в крае и максимальные площади, пройденные ими, регистрируются именно здесь. Это связано с тем, что для данной территории характерны недостаточное увлажнение и избыточная теплообеспеченность наряду с наибольшей для Забайкальского края плотностью населения. Поэтому одной из главных причин возникновения пожаров в степной зоне чаще всего является проведение палов, а их распространение связано с погодными условиями. В апреле 2019 г. в степных юго-восточных районах Забайкальского края были зарегистрированы катастрофические пожары, которые привели к экономическому ущербу, составившему практически 1 миллиард рублей. В работе проведен подробный анализ количества очагов возгораний и площадей, пройденных пожарами, с 15 по 22 апреля 2019 г. на территории одиннадцати административных районов Забайкальского края и рассмотрен комплекс метеорологических факторов в эти дни по данным 12 близлежащих метеорологических станций. Рост максимальной температуры воздуха (до 20 °С и выше) и ветер с порывами до 27 м/с в условиях отсутствия осадков 19 и 20 апреля, когда были зафиксированы максимальное число возгораний (53 и 41 очаг соответственно) и большая площадь, пройденная пожарами (более 250 тыс. га 20 апреля), оказали существенное влияние на возникновение пожаров, скорость их распространения и разрастание площади возгорания. Выпавшие же 22 апреля на большей части исследуемой территории атмосферные осадки способствовали улучшению пожароопасной обстановки.

**Ключевые слова:** степные пожары, палы сухой травы, погодные условия, экономический ущерб, Забайкальский край

**ANALYSIS OF CATASTROPHIC STEPPE FIRES AND THE CAUSES OF THEIR OCCURRENCE IN APRIL 2019 (TRANS-BAIKAL TERRITORY)****Noskova E.V., Vakhnina I.L., Rakhmanova N.V., Bronnikov V.V.***Institute of Natural Resources, Ecology and Cryology SB RAS, Chita, e-mail: elena-noskova-2011@mail.ru*

Steppe landscapes occupy only a seventh of the total area of the Trans-Baikal territory, while more than half of all fires in the region and the maximum areas covered by them are registered here. This is due to the fact that this territory is characterized by insufficient moisture and excessive heat supply, along with the highest population density for the Trans-Baikal territory. Therefore, one of the main causes of fires in the steppe zone is most often the conduct of fires, and their spread is associated with weather conditions. In April 2019 in the steppe South-Eastern regions of the Trans-Baikal territory, catastrophic fires were registered, which led to economic damage amounting to almost 1 billion rubles. The paper provides a detailed analysis of the number of fire centers and areas covered by fires from 15 to 22 April 2019 on the territory of eleven administrative districts of the Trans-Baikal territory and considers a set of meteorological factors in these days according to 12 nearby weather stations. An increase in the maximum air temperature (to 20 °C and above) and wind gusts of up to 27 m/s in the absence of precipitation on April 19 and 20, when the maximum number of fires (53 and 41 foci respectively) and a large area covered by fires (more than 250 thousand. April 20), had a significant impact on the occurrence of fires, the speed of their spread and the growth of the fire area. Precipitation that fell on April 22 in most of the study area contributed to improving the fire situation.

**Keywords:** steppe fires, dry grass fires, weather conditions, economic damage, Trans-Baikal territory

В последние десятилетия в степных регионах России весенние палы сухой травы значительно участились [1]. Это обусловлено рядом причин, в числе которых отсутствие контроля и просветительской работы по соблюдению правил пожарной безопасности и ошибочные представления населения о благоприятном влиянии выжигания ветоши на последующий рост травы.

Если возникновение степных пожаров вызвано человеческим фактором, то их масштабы определяются комплексом погодноклиматических условий как косвенно через увеличение продуктивности степных фитоценозов за предшествующий год, приводя-

щее к накоплению горючих материалов, так и непосредственно вследствие усиления пожароопасных факторов, например штормовых ветров и высокой температуры воздуха при отсутствии атмосферных осадков [2–5].

Забайкальский край относится к числу регионов со сложной пожарной обстановкой. И хотя степные ландшафты занимают лишь седьмую часть от всей площади его территории, более половины всех пожаров в крае и максимальные площади, пройденные ими, регистрируются именно здесь, потому как для этой местности характерны недостаточное увлажнение и избыточная теплообеспеченность наряду с наиболь-

шей для Забайкальского края плотностью населения [6–8]. К тому же на территории юго-восточных степных районов края осуществляются животноводческая и сельскохозяйственная деятельности [9].

В апреле 2019 г. сложившиеся погодно-климатические условия привели к распространению площадей возгораний вследствие палов травы в юго-восточных районах Забайкальского края и возникновению катастрофических пожаров. Из-за массового перехода степных пожаров на населенные пункты 19 апреля в Забайкальском крае был введен режим чрезвычайной ситуации.

Степные пожары 19-20 апреля 2019 г. затронули 17 населенных пунктов в 11 районах Забайкальского края. Ущерб от пожаров составил порядка 1 миллиарда рублей, в том числе ущерб агропромышленному комплексу – около 600 миллионов рублей [10].

Цель исследования: изучение метеорологических условий развития пожаров в апреле 2019 г., повлекших значительный ущерб экономике, населению и экологии степных районов Забайкальского края.

#### Материалы и методы исследования

В качестве исходной информации в работе использованы данные Главного управления МЧС России по Забайкальскому краю о времени возникновения очагов возгораний и их количестве, а также о площадях природных пожаров в период с 15 по 22 апреля 2019 г. по 11 административным районам Забайкальского края. Анализ метеорологических условий произведен по репрезентативным данным 12 метеорологических

станций ФГБУ «Забайкальское УГМС» о температуре воздуха, скорости ветра, количестве атмосферных осадков (срочные за 15–22 апреля 2019 г. и суточные за апрель 2019 г., а также многолетние за 30-летний период (1989–2018 гг.)).

Визуализация по районам исследования данных о площади, пройденной пожарами, и количестве возгораний выполнена с использованием программного пакета «ArcGIS».

#### Результаты исследования и их обсуждение

Анализ сложившейся пожарной ситуации в апреле 2019 г. и погодно-климатических условий проведен для степных районов юго-востока Забайкальского края, наиболее пострадавших от природных пожаров в исследуемый период, а именно: Агинский, Александрово-Заводский, Балейский, Борзинский, Забайкальский, Краснокаменский, Оловянинский, Ононский, Нерчинский, Приаргунский и Шилкинский. Исследуемая территория занимает 6740 тыс. га, что составляет около 15% от общей площади Забайкальского края.

Погодные явления приводят к формированию наиболее пожароопасных условий на исследуемой территории именно в апреле, когда отмечается рост температуры воздуха до положительных значений (рис. 1). На фоне дефицита количества атмосферных осадков, а иногда и полного их отсутствия в апреле-мае и за предшествующий зимний сезон наряду с увеличением скоростей ветра до максимальных в году это приводит к усилению засухливости.

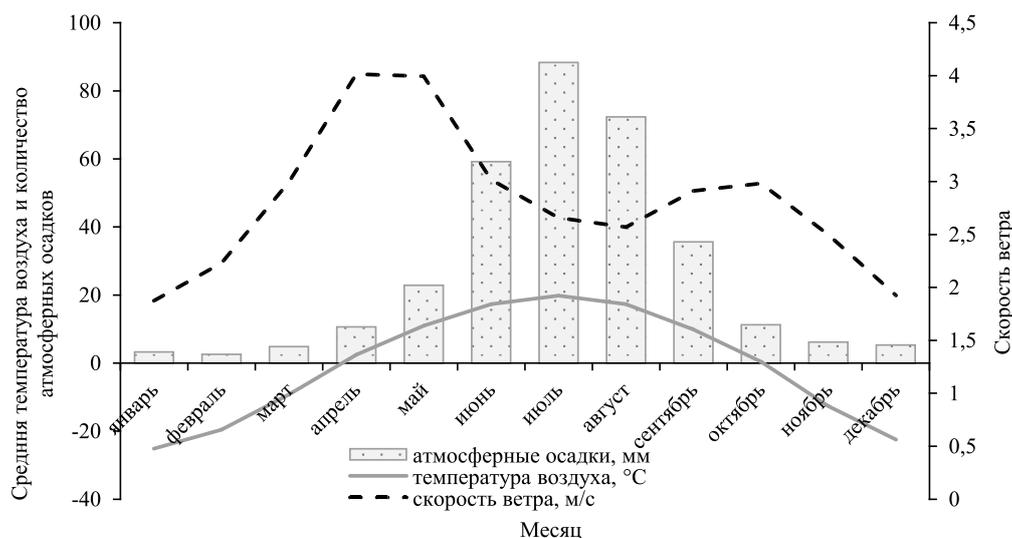


Рис. 1. Годовой ход метеорологических параметров в степных районах Забайкальского края в среднем за 1989–2018 гг.

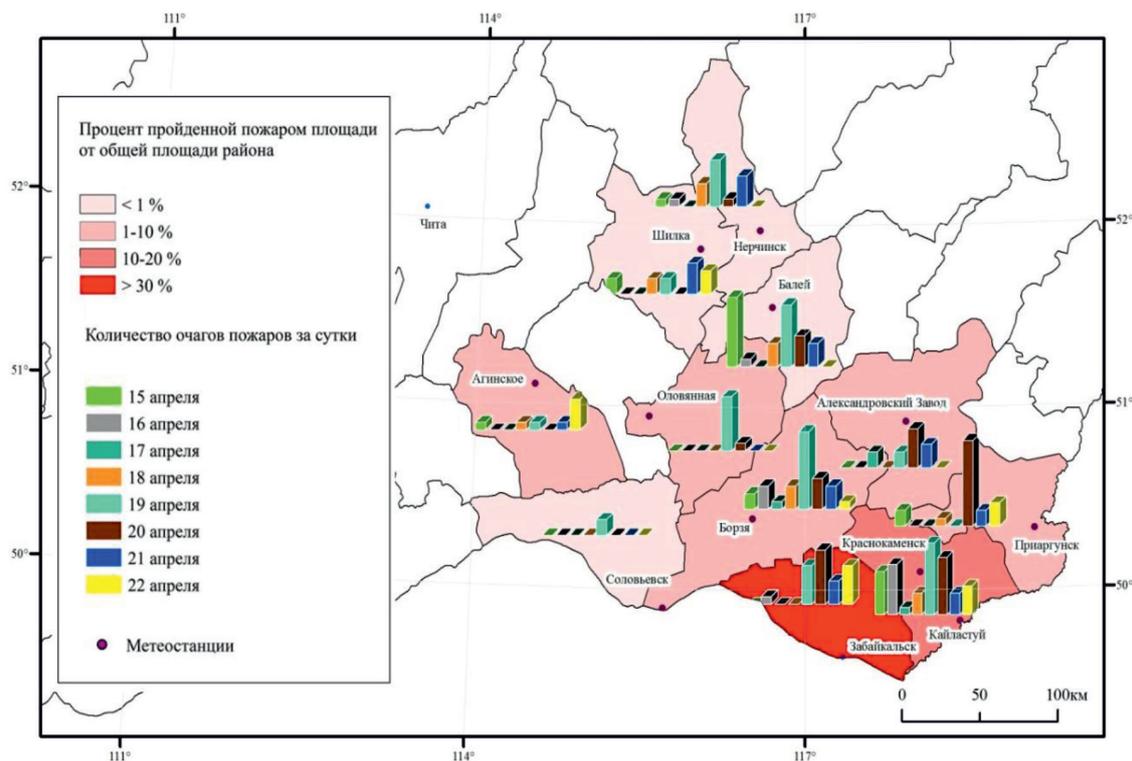


Рис. 2. Распределение очагов возгораний и пройденной пожаром площади за 15–22 апреля 2019 г. по степным районам Забайкальского края

В апреле 2019 г. на территории юго-восточных районов Забайкальского края сложившаяся метеорологическая обстановка привела к катастрофическим степным пожарам. По данным Главного управления МЧС России по Забайкальскому краю, за 15–22 апреля 2019 г. в сумме наблюдалось 180 очагов возгораний, при этом площадь этих пожаров в отдельные дни изменялась от 1 до 252 тыс. га. По отдельным административным районам региона площадь возгораний за 15–22 апреля 2019 г. варьировала от 0,02 (Шилкинский район) до 24 тыс. га (Забайкальский район) (рис. 2).

Наиболее пострадал от пожаров Забайкальский район, где максимальная площадь пожаров в сутки 20 апреля превысила 160 тыс. га (таблица). Значительные площади возгораний в этот же день зафиксированы на территории Борзинского, Оловянинского и Приаргунского районов, а 19 апреля – Краснокаменского и Агинского.

Всего за анализируемые даты апреля 2019 г. (7 дней) на территории исследуемых районов края степными пожарами было пройдено около 400 тыс. га., в то время как, по данным дистанционного зондирования,

наибольшие площади, пройденные степными пожарами в Забайкальском крае за период 2000–2016 гг., отмечались в 2003 г. и составляли в целом за весь год 2191,3 тыс. га [8].

Наибольшее количество возгораний за 15–22 апреля 2019 г. было отмечено в Краснокаменском, Балеysком, Борзинском и Забайкальском районах, где их число превысило 20 очагов (рис. 2), наименьшее – в Ононском, Агинском и Оловянинском районах (менее 10 возгораний). При этом максимальное число очагов в целом по территории исследования было зафиксировано 19 и 20 апреля (53 и 41 соответственно).

Пространственный анализ распределения пожаров за 15–22 апреля 2019 г. показывает, что наибольшие площади пожаров отмечены в районах, расположенных в южной части исследуемой территории, которые характеризуются более высокой температурой воздуха, меньшим количеством атмосферных осадков и большими скоростями ветра. В то же время при характеристике очагов возгораний по административным районам такой зависимости не выявляется. Вероятнее всего, в большинстве своем они обусловлены антропогенными причинами.

Метеорологические характеристики в среднем за 15–22 апреля 2019 г., по данным метеостанций, и максимальная площадь пожаров в районах Забайкальского края

№ п/п	Станция / административный район	Температура воздуха, °С	Скорость ветра, м/с	Порывы ветра, м/с	Сумма атмосферных осадков, мм	Максимальная площадь пожара за день, тыс. га	Дата фиксации максимальной площади пожара
1	Агинское / Агинский	2,5	3,7	24	5,1	12	19 апреля
2	Александровский Завод / Александрово-Заводский	0,7	4,1	22	1,9	8,0	20 апреля
3	Балей / Балейский	2,0	3,7	24	4,4	0,33	20 апреля
4	Борзя / Борзинский	3,1	4,5	23	0,8	38	20 апреля
5	Забайкальск / Забайкальский	3,0	5,8	26	0,0	164	20 апреля
6	Кайластуй / Краснокаменский	4,5	6,1	27	0,5	19	19 апреля
7	Краснокаменск / Краснокаменский	4,0	2,9	20	0,0		
8	Нерчинск / Нерчинский	2,0	3,8	20	8,7	0,05	21 апреля
9	Оловянная / Оловянинский	3,3	5,0	27	5,3	18	20 апреля
10	Приаргунск / Приаргунский	3,0	5,7	22	0,9	20	20 апреля
11	Соловьёвск / Ононский	4,3	5,0	24	0,0	0,72	19 апреля
12	Шилка / Шилкинский	2,6	4,4	23	4,7	0,06	19 апреля



Рис. 3. Количество очагов возгораний и их площадь на территории юго-восточных районов Забайкальского края и метеорологические условия

Наибольшее число очагов возгораний было отмечено в тех районах, где наиболее активна животноводческая и сельскохозяйственная деятельность – Балейский, Борзинский, Забайкальский, Краснокаменский, Приаргунский [9].

В период катастрофических пожаров в рассматриваемые даты максимальные значения температуры воздуха варьировали

по территории исследования от 15,2 в Александровском Заводе до 22,5 °С в Оловянной. Наименьшие значения максимальной температуры воздуха были отмечены 17 и 18 апреля, когда они не превышали 10 °С, наибольшие – 15 и 19 апреля, когда на некоторых метеостанциях они превысили 20 °С (рис. 3). Атмосферных осадков в апреле 2019 г. выпало гораздо меньше

среднегодовое значение (в среднем на 27%), при этом наибольшая их среднемесячная сумма (5–9 мм) отмечалась в Агинском, Балее, Нерчинске, Оловянной и Шилке, большая часть которой была зафиксирована 22 апреля. В апреле 2019 г. на всех метеорологических станциях были зафиксированы порывы ветра со скоростью более 20 м/с. В отдельные дни на метеостанциях Забайкальск (16, 20 и 30 апреля), Кайластуй (19 апреля) и Оловянная (19 апреля) был отмечен очень сильный ветер со скоростью 25–27 м/с (рис. 3), что соответствует опасному гидрометеорологическому явлению.

Анализ сложившейся метеорологической обстановки во время катастрофических степных пожаров в Забайкальском крае 15–22 апреля 2019 г. показал, что рост максимальной температуры воздуха и очень сильный ветер в условиях отсутствия значительных осадков 19 и 20 апреля оказали существенное влияние на скорость распространения пожаров и увеличение площади их возгорания. Выпавшие же 22 апреля на большей части исследуемой территории атмосферные осадки способствовали снижению пожароопасной обстановки.

### Выводы

Исследование степных пожаров в современных антропогенно-климатических условиях и экономических ущербов, наносимых ими, имеет как теоретическую, так и практическую значимость и акцентирует внимание на данной проблеме, в частности на факторах, обуславливающих распространение степных пожаров.

Анализ количества очагов возгораний, вызванных антропогенными факторами, и площадей, пройденных огнем, на территории юго-восточных районов Забайкальского края с 15 по 22 апреля 2019 г. и погодных условий в эти дни показал, что сложившаяся метеорологическая обстановка способствовала усугублению пожарной ситуации, приведшей к серьезным экономическим и социальным последствиям для региона. Рост максимальной температуры воздуха и очень сильный ветер с порывами до 27 м/с в условиях отсутствия значительных осадков 19 и 20 апреля, когда были зафиксированы максимальное число очагов возгораний и большая площадь, пройденная пожарами, оказали значительное влияние на скорость распространения возгораний, что привело к катастрофическому увеличению площади пожаров.

Выполненный в работе анализ показал, что погодные условия оказывают определяющее действие на распространение очагов пожаров, однако прогнозы гидрометеорологических служб могут позволить лишь в короткие сроки объявить режим повышенной готовности, поскольку наибольшей точностью обладают краткосрочные прогнозы погоды. С целью прогнозирования примерных сроков начала пожароопасного периода необходимо учитывать метеорологические условия предшествующих периодов (месяцев, сезонов, лет).

Особое внимание следует обратить на принятие предупредительных мер по возникновению степных пожаров, включающих проведение профилактических бесед с населением, скашивание травы в летне-осенний период, осуществление контролируемых палов, проведение противопожарной опашки, готовность спецслужб по борьбе с пожарами к началу прогнозируемых сроков каждого пожароопасного периода, с учетом в том числе погодных-климатических условий конкретных территорий и т.п.

### Список литературы / References

1. Анализ отечественного и зарубежного опыта управления пожарами в степях и связанных с ними экосистемах, в частности в условиях ООПТ / Отв. ред. Ю.А. Буйволов. [Электронный ресурс]. URL: [http://savesteppe.org/project/docs/fires-in-steppe\\_review21012012.pdf](http://savesteppe.org/project/docs/fires-in-steppe_review21012012.pdf) (дата обращения: 27.06.2020).
2. Analysis of domestic and foreign experience in fire management in the steppes and related ecosystems, in particular in the conditions of protected areas / Отв. ed. Yu.A. Buyvolov. [Электронный ресурс]. URL: [http://savesteppe.org/project/docs/fires-in-steppe\\_review21012012.pdf](http://savesteppe.org/project/docs/fires-in-steppe_review21012012.pdf) (дата обращения: 27.6.2020) (in Russian).
3. Rabin S.S., Magi B.I., Shevliakova E., Pacala S.W. Quantifying regional, time-varying effects of cropland and pasture on vegetation fire. *Biogeosciences Discuss.* 2015. Vol. 12. P. 10817–10855. DOI: 10.5194/bg-12-6591-2015.
4. Ткачук Т.Е. Разногодичная динамика степных пожаров в Даурии // *Фундаментальные исследования.* 2015. № 2–10. С. 2185–2189.
5. Tkachuk T.E. Multi-year dynamics of steppe fires in Dauria // *Fundamental research.* 2015. № 2–10. P. 2185–2189 (in Russian).
6. Kuzyk A., Tovaryanskyi V., Drach K. Experimental research of fires in grassy ecosystems. *Fire Safety.* 2020. Vol. 35. P. 35–40. DOI: 10.32447/20786662.35.2019.06.
7. McColl-Gausden S., Bennett L., Duff T., Cawson J., Penman T. Climatic and edaphic gradients predict variation in wildland fuel hazard in south-eastern Australia. *Ecography.* 2019. DOI: 10.1111/ecog.04714.
8. Оязов В.А. Влияние изменений метеорологических условий на лесопожарную обстановку в Забайкальском крае // *Метеорология и гидрология.* 2012. № 6. С. 27–35.
9. Obyazov V.A. The effect of changes in meteorological conditions on the forest fire situation in the Trans-Baikal Territory // *Meteorologiya i gidrologiya.* 2012. № 6. P. 27–35 (in Russian).
10. Голятина М.А., Вахнина И.Л., Носкова Е.В. Оценка динамики площадей, пройденных пожарами, на территории Забайкальского края в условиях изменения климата по дан-

ным ДЗЗ // Географический вестник. 2018. № 3 (46). С. 126–135. DOI: 10.17072/2079-7877-2018-3-126-135.

Golyatina M.A., Vahnina I.L., Noskova E.V. The dynamics of fire-damaged areas in the Transbaikal Territory in the context of climate change based on remote sensing data // Geographical bulletin. 2018. № 3 (46). P. 126–135. DOI: 10.17072/2079-7877-2018-3-126-135 (in Russian).

8. Посевные площади, валовые сборы и урожайность сельскохозяйственных культур в Забайкальском крае. Стат. сб. Чита: Забайкалкрайстат, 2020. 82 с.

Sown areas, gross harvests and crop yields in the Transbaikal Territory. Stat. sb. Chita: Zabaykalkraystat. 2020. 82 p. (in Russian).

9. Носкова Е.В., Вахнина И.Л., Курганович К.А. Характеристика условий увлаженности территории бессточных озер Торийской равнины с использованием метеорологиче-

ских данных // Вестник Забайкальского государственного университета. 2019. Т. 25. № 3. С. 22–30. DOI: 10.21209/2227-9245-2019-25-3-22-30.

Noskova E.V., Vakhnina I.L., Kurganovich K.A. Humidity characteristics of the territory of the drainless lakes of the Torey Plain using meteorological data // Vestnik Zabaykal'skogo gosudarstvennogo universiteta. 2019. T. 25. № 3. P. 22–30 (in Russian).

10. В районах края работает 14 комиссий по обследованию пострадавших от пожаров хозяйств. [Электронный ресурс]. URL: <https://mcx.75.ru/novosti/59763> (дата обращения 08.07.2020).

In the regions of the region there are 14 commissions for the examination of farms affected by fires. [Электронный ресурс]. URL: <https://mcx.75.ru/novosti/59763> (дата обращения: 08.07.2020) (in Russian).

УДК 502:553.982

**КОНТРОЛЬ И ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СОСТАВА НЕФТИ  
КАК ЗАГРЯЗНИТЕЛЯ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СРЕДЫ****Степанова Н.Е.***ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный аграрный университет», Волгоград,  
e-mail: nat\_stepanova@mail.ru*

В работе дана обзорная характеристика нефти как загрязнителя окружающей среды, а также представлены данные компонентного состава нефти месторождений Волгоградской области с наиболее влияющими факторами. В качестве материала для оценки характеристик нефти как загрязнителя окружающей среды были использованы инженерные изыскания углеводородных месторождений Волгоградской области. Подробно рассмотрены характеристики лёгкой фракции нефти, которые выкипают до 200 °С, включающие наиболее простые по строению низкомолекулярные метановые (алканы), нафтеновые (циклопарафиновые) и ароматические углеводороды (подвижная часть нефти). Выделены составные части нефти, которые по данным исследований многих ученых являются первостепенными компонентами негативного воздействия на геологическую среду. Даны показатели нефти Волгоградской области: вязкость составляет от 4 до 6%, плотность изменяется от 0,819 до 831 г/см<sup>3</sup> при 20 °С, содержание парафинов от 2 до 3%, смола от 3 до 7%, асфальтены – от 2 до 4,5% (средние значения по региону на примере четырех месторождений добычи углеводородов). В геологическом отношении тип почв нефтегазовых районов области каштановый и светло-каштановый, со среднеглинистым механическим составом (содержание физической глины составляет 29,16–36,39% по всему профилю), реакция почвенного раствора верхних горизонтов слабощелочная (рН 7,57) и щелочная – в нижних горизонтах (рН 8,23). Показана методика оценки характеристик нефти в баллах, которая основывается на оценивании величины фактора, по значениям которой можно судить о степени опасности нефти для геологической среды. В результате получена оценка нефти Волгоградской области как соответствующая «незначительному» уровню воздействия, с низкими значениями плотности (850–870 кг/м<sup>3</sup>), со средним содержанием парафина (1,5–6%) и смолисто-асфальтеновых веществ (10–20%) и не содержащая сероводород.

**Ключевые слова:** нефть, плотность, вязкость, смола, контроль, характеристика, сера, компонент**CONTROL AND MAIN CHARACTERISTICS OF OIL COMPOSITION  
AS A POLLUTANT OF THE GEOLOGICAL ENVIRONMENT****Stepanova N.E.***Volgograd State Agrarian University, Volgograd, e-mail: nat\_stepanova@mail.ru*

The paper gives an overview of oil as an environmental pollutant, and also presents data on the composition of oil from the Volgograd region with the most influencing factors. Engineering surveys of hydrocarbon fields in the Volgograd region were used as a material for assessing the characteristics of oil as an environmental pollutant. The characteristics of the light oil fraction, which boil up to 200 °C, including the simplest in structure low-molecular methane (alkanes), naphthenic (cycloparaffinic) and aromatic hydrocarbons (mobile part of oil), are considered in detail. The components of oil have been identified, which, according to research by many scientists, are the primary components of the negative impact on the geological environment. Indicators of oil in the Volgograd region are given: viscosity ranges from 4 to 6%, density varies from 0.819 to 831 g / cm<sup>3</sup> at 20 °C, paraffin content from 2 to 3%, resin from 3 to 7%, asphaltenes – from 2 to 4, 5% (average values for the region on the example of four hydrocarbon production fields). In geological terms, the type of soils of the oil and gas regions of the region is chestnut and light chestnut, with a medium clay texture (the content of physical clay is 29.16-36.39% throughout the profile), the reaction of the soil solution of the upper horizons is slightly alkaline (pH 7.57) and alkaline. in the lower horizons (pH 8.23). A method for assessing the characteristics of oil in points is shown, which is based on evaluating the value of a factor, by the values of which one can judge the degree of danger of oil to the geological environment. As a result, the oil of the Volgograd region was assessed as corresponding to the «insignificant» level of impact, with low density values (850-870 kg / m<sup>3</sup>), with an average content of paraffin (1.5-6%) and resinous-asphaltene substances (10-20%) and does not contain hydrogen sulfide.

**Keywords:** oil, density, viscosity, resin, control, characteristic, sulfur, component

Если рассматривать нефтяную промышленность с точки зрения экологии и ее воздействия на окружающую среду, то можно утверждать, что данная отрасль занимает одно из первых мест по отрицательному воздействию на нее на всех этапах производства. Самым опасным видом антропогенного воздействия являются внештатные, аварийные ситуации, то есть когда происходит разлив нефти, как на самих месторож-

дениях, так и на нефтеперерабатывающих предприятиях. Причинами возникновения аварийных ситуаций могут быть как стихийные бедствия, так и человеческий фактор, а именно неудовлетворительная оценка всей проектной документации и, в частности, изыскательских, строительных работ, нарушение правил эксплуатации.

Все вещества, входящие в состав нефти, имеют высокую токсичность и очень опас-

ны для природной среды. На сегодняшний день наблюдаются большие проблемы у нефтедобывающих компаний, но все же идет постоянный рост добычи и переработки нефти, который влечет за собой загрязнение окружающей среды высокотоксичными веществами. Для оценки техногенного воздействия нефти на природную среду для различных климатических зон существуют многочисленные методики. В основном целью данных методик является анализ воздействия нефтяных загрязняющих веществ на компоненты окружающей среды с целью рекультивации нарушенных территорий.

В работах Ю.И. Пиковского рассматривается геоэкологическое районирование территории добычи углеводородов, в которых представлен прогноз изменений геологической среды при воздействии нефти и нефтепродуктов (засоление, оценка скорости самоочищения, период восстановления), а также дан анализ природных условий территории России с учетом процессов рассеяния, разложения нефтяных концентраций в различных формах рельефа. Границы районов добычи углеводородов проведены по границам водосборных бассейнов. Волгоградская область относится к Прикаспийской ландшафтно-геохимической области с составом нефти – легкие среднепарафинистые (Д19 на рис. 1) [1, 2].

В своей статье мы поставили перед собой цель проанализировать основные характеристики нефти как загрязнителя окружающей среды, а также, используя данные компонентного состава нефти месторождений Волгоградской области, выделить наиболее влияющие на окружающую среду факторы.

Тема работы актуальна, так как на сегодняшний день изучение вопроса восстановления природной среды в результате разлива нефтепродуктов при добыче, транспортировке, в аварийных ситуациях является важным в поиске эффективных методов восстановления компонентов среды, с учетом контроля характеристик нефти.

### Материалы и методы исследования

Материалами для оценки характеристик нефти как загрязнителя окружающей среды являются инженерные изыскания углеводородных месторождений Волгоградской области (Чухонастовское, Кудиновское, Ключевское, Дудаченское). При написании статьи использованы такие методы, как анализ научной литературы, фондовых и картографических материалов полевых исследований, инженерных изысканий проектной документации строительства поисковых скважин.

### Результаты исследования и их обсуждение

На сегодняшний день мировые потери нефти составляют более 107 т в год, из которых 80 % попадает в почву, пресную воду. Основными загрязняющими веществами при добыче нефти и транспортировке является как сама нефть, так и ее продукты. Значительную часть техногенных потоков составляет сырая нефть (пластовые жидкости) и товарная. На протяжении многих лет мы очень много слышали о проблемах загрязнения нефтью и нефтепродуктами вод океанов и морей, а о последствиях влияния нефтедобычи, транспортировки нефтепродуктов на почвы внимания уделялось мало.



Рис. 1. Прогнозное ландшафтно-геохимическое районирование по типам изменений природной среды при добыче и транспортировке нефти

В настоящее время многие ученые занимаются вопросами загрязнения почв углеводородами, в своих исследованиях они освещают изменение ее свойств под воздействием загрязнителя [3].

Для нефтедобывающей промышленности характерное воздействие загрязнителей на почву будет зависеть от количества и состава поллютантов, их геохимической активности, а также от свойств самой почвенной среды. В различных геохимических условиях одни те же вещества ведут себя по-разному, иногда они поддаются быстрому преобразованию и активно взаимодействуют с почвой, а иногда и очень устойчивы.

Всем известно, что нефть представляет собой маслянистую горючую жидкость со специфическим запахом, в ее составе в основном присутствуют углеводороды и другие химические соединения. Нефть и нефтепродукты по фракционному составу делятся на: легкие, которые выходят при температуре до 200 °С; средние – от 200 до 350 °С; тяжелые – при вакуумной переработке и температурах более 350 °С.

Легкими называют те фракции нефти, которые выкипают до 200 °С, состоящие из наиболее подвижных частей нефти: простых по строению низкомолекулярных алканов, циклопарафиновых и ароматических углеводородов. Метановые углеводороды (алканы) с числом углеродных атомов  $C_5$ - $C_{11}$  составляют большую часть легкой фракции, поступая в окружающую среду на живые организмы, оказывают не только токсичное воздействие, но и свободно могут перемещаться по почвенному профилю и водоносным горизонтам. Особенно быстро действуют нормальные алканы с короткой углеродной цепью. Эти углеводороды лучше растворимы в воде, легко проникают в клетки организмов через мембраны, дезорганизуют цитоплазматические мембраны организма. Бутан и пентан являются высокотоксичными соединениями, они имеют высокую летучесть, поэтому их действие недолговременно [4].

В легких фракциях самыми опасными для окружающей среды являются ароматические углеводороды, даже при небольшой концентрации, попадая в компоненты среды, они наносят непоправимый вред всему живому. Экспериментально доказано, что все полиароматические углеводороды плохо поддаются разрушению, в том числе бензапирен, который не всегда обнаруживается в нефти, не подвергшейся значительному термическому воздействию.

Плотность нефти является очень важным ее свойством, так как она указывает на содержание в ней смол, углеводородов. Высокая плотность нефти показывает, что в ней содержится большое количество ароматических углеводородов, низкое количество – парафиновых углеводородов, в аварийных ситуациях, зная плотность нефти, можно дать предварительную оценку степени загрязнения геологической среды.

Такое свойство нефти, как вязкость, характеризует подвижность ее в пластах, от величины вязкости зависят водно-физические свойства почв и грунтов при ее розливе и скорость распространения нефтяного загрязнения.

Для изучения нефтяных разливов на почве большое значение имеет содержание в ней твердых метановых углеводородов (парафинов), сам парафин в твердом виде не токсичен, но при нагревании растворяется в нефти и, попадая на геологическую среду, застывает, мешая влагообмену и дыханию почв, что в итоге приводит к деградации биогеоценозов. В нефти в зависимости от процентного содержания парафинов выделяются несколько групп: малое содержание парафина – до 1,5%, среднее – от 1,5 до 6%, высокое – более 6%.

Одной из негативных составляющих нефти является сера и ее соединения (элементарная, сероводородная, сульфидная, меркаптановая). Для окружающей среды соединения серы являются одними из опасных веществ. Всем известно, что при соединении данных веществ с водой образуются кислоты, которые оказывают воздействие на все живое, а также происходит закисление почвенной среды и водоемов и в дальнейшем деградация экосистемы.

Высокомолекулярными гетероатомными компонентами нефти являются смолы и асфальтены, которые относятся к углеводородным компонентам и определяют физические свойства и химическую активность нефти. В составе нефти содержание смол и асфальтенов варьируется в пределах от 1–2 до 6–40%. Если нефть просачивается сверху, ее смолисто-асфальтеновые компоненты сорбируются в основном в верхнем, гумусовом горизонте, иногда прочно уплотняя его.

Общеизвестно, что при попадании в ландшафты нефти и нефтепродуктов очень сложным и продолжительным периодом является процесс миграции и преобразования ее в почве. В настоящее время уделяется большое внимание изучению скорости раз-

ложения нефти в почве, с течением времени происходит внутрпочвенная деструкция поступившего загрязнителя, физико-химическое разрушение, растворение и для различных почвенно-климатических условий и характеристик нефти скорость восстановления геологической среды будет составлять в одних случаях 5 лет, в других 20 лет.

Обобщая вышеизложенное, можно выделить основные характеристики нефти, которые по данным исследований многих ученых являются первостепенными компонентами негативного воздействия на геологическую среду: плотность нефти, содержание легких фракций, выкипающих до 200 °С, массовая доля парафина, содержание смолисто-асфальтеновых веществ, массовая доля серы, массовая доля сероводорода [5].

По данным отбора проб и инженерных изысканий показатели нефти Волгоградской области следующие: вязкость составляет от 4 до 6%, плотность изменяется от 0,819 до 831 г/см<sup>3</sup> при 20 °С, содержание парафинов от 2 до 3%, смолы от 3 до 7%, асфальтены – от 2 до 4,5% (средние показатели по региону на примере четырех месторождений). Нефть Волгоградского региона по данным исследований не содержит сероводород (рис. 2) [6–8].

Преобладающий тип почв нефтегазовых районов Волгоградской области каштановый и светло-каштановый, со среднеглинистым механическим составом (содержание физической глины составляет 29,16–36,39% по всему профилю). Реакция почвенного раствора верхних горизонтов слабощелочная (рН 7,57) и щелочная в нижних горизонтах (рН 8,23). В геологическом строении осадочного чехла принимают участие породы палеозойского, мезозойского и кайно-

зойского возраста, на глубину до 10,0 м принимают участие отложения верхнемеловой и четвертичной системы. Отложения верхнемеловой системы представлены мелким песком, отложения четвертичной системы – современными пролювиально-делювиальными и верхнечетвертично-современными делювиальными отложениями [9].

Если воспользоваться методикой оценки характеристик нефти в баллах, которая основывается на оценивании величины фактора, независимо от единиц измерения, то степень опасности нефти и нефтепродуктов для геологической среды можно спрогнозировать.

Данная методика выявления наиболее уязвимых геологических участков, основанная на контроле характеристик нефти конкретного региона, будет полезна при ликвидации возможных аварийных ситуаций. На основе представленных граничных значений представлено распределение баллов по предложенным компонентам. В зависимости от значений каждому параметру присваивается определенное количество баллов, которые в итоге суммируются. На основании суммарного количества баллов можно судить о степени потенциальной опасности нефти для геологической среды.

О.В. Крайневой проведены исследования месторождений нефти юго-восточной части Баренцева моря и предложена методика оценки характера воздействия разливов нефти на геологическую среду, основанная на характеристиках добываемой нефти данного региона. Характеристика нефти оценивается баллами:

– 0 баллов: плотность, кг/м<sup>3</sup> – до 850; легкие фракции, парафин, смола отсутствуют, сера до 0,6%;

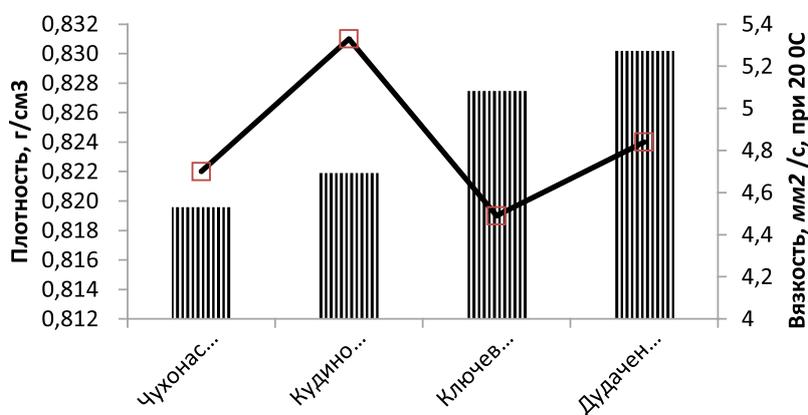


Рис. 2. Физико-химические характеристики месторождений нефти Волгоградской области (Остроухов С.Б., 2016 г.)

– 1 балл: плотность, кг/м<sup>3</sup> – 851–870; легкие фракции до 21%, парафин до 1,5%, сера от 0,61 до 1,8%, смола до 10%;

– 2 балла: плотность, кг/м<sup>3</sup> – 870–895; легкие фракции от 21 до 27%, парафин от 1,5 до 6%, сера от 1,8 до 3,5%, смола от 10 до 20%;

– 3 балла: плотность, кг/м<sup>3</sup> – более 895; легкие фракции более 27%, парафин более 6%, сера более 3,5%, смола более 20%.

По данным Комитета природных ресурсов, лесного хозяйства и экологии Волгоградской области на территории региона размещено более 93 месторождений углеводородного сырья, из которых более 68 находятся в разработке. Ежегодно в Волгоградском регионе добывается более 3,5 млн т нефти и 700 млн м<sup>3</sup> природного газа [10]. Нефть, добываемая в Волгоградской области, в основном малосмолистая, с содержанием углеводородов не более 5%.

Используя разработанную учеными методику (О.В. Крайнева, М.Г. Губайдулин, 2014 г.), в которой были определены основные влияющие факторы на геологическую среду, и прогнозную карту ландшафтно-геохимического районирования (Ю.И. Пиковский), установили, что период восстановления растительности с учетом характеристик нефти Волгоградской области составит 10–20 лет.

Оценивая нефть Волгоградской области по данной методике: плотность 0 баллов, парафин от 1 до 3% – 2 балла, смола – 2 балла, сера – 0 баллов, в итоге количество баллов равно 4, со значениями плотности от 850 до 870 кг/м<sup>3</sup>, парафина – от 1,5 до 6%, смолисто-асфальтеновых веществ – от 10 до 20%, не содержит сероводород. Согласно критериям оценки уровень негативного воздействия на геологическую среду соответствует «незначительному». Полученные результаты при детальном исследовании каждого нефтегазового месторождения Волгоградской области с учетом геоэкологических условий могут быть полезны для разработки мероприятий по охране окружающей среды при освоении нефтяных месторождений.

### Заключение

В результате проведенного анализа основных характеристик нефти, оказывающих негативное воздействие на геологическую среду, можно сделать вывод, что контроль над технологическими процессами при добыче и переработке не-

фтепродуктов, с учетом особенностей состава нефти для конкретного региона дает возможность иметь механизм ликвидации загрязнений. Контроль и изучение характеристик нефти необходим не только для оценки углеводородного сырья, но и для изучения превращения ее в геологической среде. Зная состав нефти и имея представление об опасности некоторых компонентов в ее составе, возможно установить предполагаемую опасность для геологической среды в аварийных ситуациях и заранее иметь механизм устранения последствий воздействия.

### Список литературы / References

1. Губайдуллин М.Г., Крайнева О.В. Экспертная оценка потенциального воздействия нефти на геологическую среду прибрежной зоны юго-восточной части Баренцева моря // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. 2014. № 4. С. 9–14.

Gubaydullin M.G., Krayneva O.V. Expert assessment of the potential impact of oil on the geological environment of the coastal zone of the South-Eastern part of the Barents sea // Zashchita okruzhayushchey sredy v neftegazovom komplekse. 2014. № 4. P. 9–14 (in Russian).

2. Пиковский Ю.И., Исмаилов Н.М., Дорохова М.Ф. Основы нефтегазовой геозкологии: учебное пособие. М.: НИЦ ИНФРА-М, 2015. 400 с.

Pikovskiy Yu.I., Ismailov N.M., Dorokhova M.F. Fundamentals of oil and gas Geoecology: textbook. M.: NITs INFRA-M, 2015. 400 p. (in Russian).

3. Шейнфельд С.А., Василевский В.Л., Касьянов П.В. О сборнике инновационных решений по сохранению биоразнообразия для нефтедобывающего комплекса // Экологический вестник России. 2015. № 7. С. 20–24.

Sheinfeld S.A., Vasilevskiy V.L., Kasyanov P.V. Collection of innovative solutions for biodiversity conservation for the oil-producing complex // Ekologicheskiy vestnik Rossii. 2015. № 7. P. 20–24 (in Russian).

4. Соболева Е.В., Гусева А.Н. Химия горючих ископаемых: учебное пособие. М.: Изд. Московского университета, 2010. 312 с.

Soboleva E.V., Guseva A.N. Chemistry of combustible fossils: textbook. M.: Izd. Moskovskogo universiteta, 2010. 312 p. (in Russian).

5. Ященко И.Г. Физико-химические свойства трудноизвлекаемых нефтей в зависимости от содержания парафинов // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. 2010. № 6. С. 39–48.

Yaschenko I.G. Physical and chemical properties of hard-to-recover oils depending on the paraffin content // Geologiya, geofizika i razrabotka neftyanykh i gazovykh mestorozhdeniy. 2010. № 6. P. 39–48 (in Russian).

6. Остроухов С.Б., Бочкарев В.А., Соболева Н.Д. Состав углеводородов нефти Терсинского месторождения Волгоградского Поволжья // Химия и технология топлив и масел. 2012. № 6. С. 29–33.

Ostroukhov S.B., Bochkarev V.A., Soboleva N.D. Composition of petroleum hydrocarbons of the Tersinskoye field of the Volgograd Volga region // Khimiya i tekhnologiya topliv i masel. 2012. № 6. P. 29–33 (in Russian).

7. Остроухов С.Б., Соболева Е.Ф., Соболева Н.Д. Особенности состава нефтей Волгоградского Поволжья // Нефтяное хозяйство. 2016. № 3. С. 64–67.

Ostroukhov S.B., Soboleva E.F., Soboleva N.D. Peculiarities of Crude Oil Composition of the Volgograd Volga Region // Neftyanoye khozyaystvo. 2016. № 3. P. 64–67 (in Russian).

8. Пряхин С.И. Нефтепромыслы Волгоградской области: состояние и перспективы // Нефтепромысловое дело. 2014. № 5. С. 38–52.

Pryakhin S.I. Oil Fields of the Volgograd region: state and prospects // Neftepromyslovoye delo. 2014. № 5. P. 38–52 (in Russian).

9. Степанова Н.Е. Экологическая экспертиза почв Волгоградской области // Материалы Национальной научно-практической конференции «Инновационное развитие регионов: потенциал науки и современного образования» (9 февраля 2018 г.). Астрахань: Изд. ГАОУ АО ВО «АГАСУ», 2018. С. 257–260.

Stepanova N.E. Environmental assessment of soils of the Volgograd region // Materials of the National scientific and practical conference «Innovative development of regions: the potential of science and modern education» (February 9, 2018). Astrakhan': Izd. GAOU AO VO «AGASU», 2018. P. 257–260 (in Russian).

10. Степанова Н.Е. Контроль, экологическая оценка и восстановление нарушенных земель Волгоградской области // Успехи современного естествознания. 2018. № 4. С. 155–159.

Stepanova N.E. Control, environmental assessment and restoration of disturbed lands of the Volgograd region // Advances in modern natural science. 2018. № 4. P. 155–159 (in Russian).

УДК 551.4:631.445.4

**ДИНАМИКА ИЗМЕНЕНИЯ УРОВНЯ ГРУНТОВЫХ ВОД  
ЗА ПЕРИОД С 2010 ПО 2014 ГОД НА ПОЛИГОНЕ КАМЕННАЯ СТЕПЬ****Турусов В.И., Крячкова М.П.***Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Центрально-Черноземной полосы  
им. В.В. Докучаева, Каменная Степь, e-mail: niishlc@mail.ru*

В статье изложены результаты наблюдений за уровнем грунтовых вод с 2010 по 2014 г. на полигоне Каменная Степь в Таловском районе Воронежской области. В результате проведенных исследований установлено, что сезонный ход уровня грунтовых вод по полигону согласуется с климатическими особенностями и зависит как от количества атмосферных осадков, так и от внутригодового их распределения. Этот период отличается целым рядом выраженных аномалий как по срокам наступления отдельных фаз водного режима, так и по метеорологическим и гидрологическим параметрам от среднесезонных показателей. Период с 2010 по 2014 г. по температурному режиму оценивается как очень теплый. По атмосферным осадкам его можно разделить на 3 части. В 2012–2013 гг. количество атмосферных осадков было избыточным – соответственно 546 и 602 мм, в 2011 г. равнялось среднесезонной норме – 483 мм, а в 2010 и 2014 гг. было существенно ниже нормы – 455 и 441 мм. Кроме того, распределение осадков было крайне неравномерно как по сезонам года, так и по отдельным месяцам. По обеспеченности осадками дефицитны начало и конец периода, умеренно влажными можно назвать только 2012 и 2013 гг. Особенности метеорологического и гидрологического характера предопределили динамику изменения уровня грунтовых вод в этом периоде. В 2010 г. продолжалось снижение уровня грунтовых вод, начавшееся в предыдущее пятилетие, в 2013 г. уровень грунтовых вод достиг минимальных отметок, а в 2014 г. наметилось небольшое повышение. Три первых года этого периода расположены на нисходящей ветви ритмического цикла колебаний уровня грунтовых вод, низших своих отметок он достиг в 2013 г., а в 2014 г. наметилось небольшое повышение. Последующие годы будут расположены предположительно на восходящей ветви цикла колебаний уровня грунтовых вод.

**Ключевые слова:** уровень грунтовых вод, атмосферные осадки, Каменная Степь**DYNAMICS OF CHANGES IN THE GROUND WATER LEVEL  
FOR THE PERIOD 2010-2014 AT THE KAMENNAYA STEPPE LANDFILL****Turusov V.I., Kryachkova M.P.***Research Institute of agriculture of the Central Chernozem zone named after V.V. Dokuchaev,  
Kamennaya Steppe, e-mail: niishlc@mail.ru*

The article presents the results of observations of the ground water level from 2010 to 2014 at the Kamennaya Steppe landfill in the Talovsky district of the Voronezh region. As a result of the conducted research, it was found that the seasonal course of the ground water level in the landfill is consistent with climatic features and depends on both the amount of precipitation and their intra-annual distribution. This period differs in a number of pronounced anomalies both in terms of the timing of the onset of certain phases of the water regime, and in meteorological and hydrological parameters from the average long-term indicators. The period from 2010 to 2014 is estimated as very warm according to the temperature regime. According to atmospheric precipitation, it can be divided into 3 parts. In 2012-13, the amount of precipitation was excessive-546mm and 602mm respectively, in 2011 it was equal to the average annual norm – 483mm, and in 2010 and 2014 it was significantly lower than the norm-455 and 441mm. In addition, the distribution of precipitation was extremely uneven both by season and by individual months. In terms of precipitation availability, the beginning and end of the period are deficient; only 2012 and 2013 can be distinguished as moderately wet. meteorological and hydrological Features determined the dynamics of changes in the ground water level in this period. In 2010, the ground water level continued to decline, which began in the previous five years, in 2013, the ground water level reached minimum levels, and in 2014, there was a slight increase. The first three years of this period are located on the descending branch of the rhythmic cycle of fluctuations in the ground water level, which reached its lowest levels in 2013, and in 2014 there was a slight increase. The following years will be located presumably on the ascending branch of the cycle of fluctuations in the water table.

**Keyword:** ground water level, precipitation, Stone Steppe

На современном этапе человеческое общество значительно изменило внешний облик Земли. Воздействие его становится все более интенсивным как по масштабам, так и по глубине изменения отдельных компонентов ландшафтов. Наиболее сильному воздействию подвергается растительный и животный мир, почвы, водный режим. Чрезвычайная важность изучения изменения режима грунтовых вод обусловлена усилением их влияния на почвообразовательные процессы, часто ведущие к дегра-

дации свойств черноземов, необходимостью корректировки традиционных технологий земледелия [1].

Проблема глобальных изменений климата является одной из актуальных проблем современности. Множество работ посвящено исследованию различных аспектов данной проблемы. Важным направлением считается оценка экологических, экономических и социальных последствий климатических изменений, которые влияют и на режим грунтовых вод [2].

2010 год был в Северном полушарии самым теплым за всю историю метеорологических наблюдений (120 лет). Аномальная жара, продержавшаяся летом 2010 г. в России более 50 суток, стала одной из самых крупных в мире климатических аномалий. Сочетание жаркой погоды с большим дефицитом осадков (менее 40% нормы) привело к атмосферной, почвенной, а затем и гидрологической засухе. Лето 2010 г. в целом для России попадает в число восьми самых сухих, а для региона европейской части России оно оказалось третьим по рангу сухих лет. По многим территориям наблюдалось значительное понижение уровня грунтовых вод [3].

В административном отношении территория опорного полигона «Каменная Степь» расположена в Таловском районе Воронежской области на северных склонах Калачской возвышенности на водоразделе б. Таловой и р. Чигла. Отличительными чертами поверхности являются ее сильная расчлененность долинами рек и оврагов и значительные колебания высот на водоразделах и в долинах. Максимальные абсолютные отметки водоразделов достигают 200 м, минимальные приурочены к пойме р. Чигла в северо-западной части территории и имеют отметки 102–110 м.

Климат района континентальный с относительно холодной зимой и жарким, нередко засушливым летом. Среднегодовая температура равна +6,0°C. Самый теплый месяц – июль, его средняя температура равна +20,3°C, самый холодный – январь, –8,9°C.

Каменная Степь расположена на границе лесостепной и степной части России, но в результате искусственного лесонасаждения в настоящее время представляет собой лесостепной оазис. Здесь, в условиях искусственно созданного ландшафта, сложился своеобразный микроклимат. По сравнению с открытой степью здесь происходит большее снегонакопление, выше влажность воздуха и почвы, слабее действие ветра и суховеев. Экстремальные проявления климатообразующих факторов сглаживаются, что сказывается на общих климатических условиях территории.

Основная часть населения Таловского района занята в сельскохозяйственном производстве. На полях района возделываются в основном зерновые культуры, из технических – подсолнечник и сахарная свекла.

Территория Каменной Степи находится в пределах центральной части Воронежской антеклизы. В геологическом строении района принимают участие два структурных

этажа: кристаллический фундамент архей-протерозойского возраста и залегающий несогласно на нем осадочный чехол, представленный породами девонской, меловой, палеогеновой и четвертичной систем.

Полигон «Каменная Степь» расположен в пределах Приволжско-Хоперского артезианского бассейна. Наибольший интерес для изучения условий формирования, режима и баланса грунтовых вод в многолетнем разрезе, в том числе в лесных полосах и массивах, представляют воды, связанные с надморенными отложениями и верхами морены.

Основным целевым назначением работ является:

– изучение условий формирования режима грунтовых вод и элементов водного баланса на территориях искусственно созданных агролесоландшафтов;

– ведение стационарных режимных наблюдений за грунтовыми и подземными водами в условиях искусственного полезащитного лесоразведения и адаптивного ландшафтного землеустройства на основе сети наблюдательных пунктов с целью накопления непрерывной и долгосрочной информации для составления заблаговременных прогнозов состояния геологической среды; определения и подтверждения выявленных закономерностей формирования режима и баланса подземных вод на изучаемой территории и возможности их экстраполяции на аналогичные территории Центральных районов России.

Основным объектом изучения является первый от поверхности водоносный горизонт, который образует единый слабо-водоносный комплекс лессоидных и делювиально-солифлюкционных и ледниковых (моренных) отложений.

Режим грунтовых вод обусловлен расположением территории полигона в зоне умеренного увлажнения на слабо дренируемом водоразделе. Главное воздействие на режим грунтовых вод оказывают геолого-геоморфологические и метеорологические факторы, сельскохозяйственное производство и другие виды хозяйственной деятельности человека [4].

#### **Материалы и методы исследования**

Система наблюдений и методика исследований хорошо отработана. Замеры уровня подземных вод осуществляются при помощи хлопущек. При изучении естественного режима частота наблюдений за уровнем грунтовых вод составляет 5 раз в месяц, а в весенний период – 10 раз в месяц.

**Таблица 1**

Среднемесячные и годовые метеорологические характеристики полигона Каменная Степь (многолетняя норма, 2010–2014 гг.), данные предоставлены метеостанцией Каменная Степь

Период набл.	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
Температура воздуха, °С													
1929–2009	-8,9	-8,7	-3,1	7,2	14,7	18,3	20,3	19,3	13,4	6,2	-0,9	-6,2	6,0
2010	-14,0	-7,2	-1,7	9,1	17,7	23,4	26,8	26,1	16,2	4,9	6,1	-2,6	8,7
2011	-9,7	-13,2	-4,5	7,0	17,1	19,6	23,8	20,6	14,3	6,7	-2,2	-0,7	6,6
2012	-8,1	-13,5	-3,5	13,0	18,6	20,4	22,1	21,0	14,9	10,2	2,3	-6,2	7,6
2013	-5,9	-3,9	-3,1	10,1	19,9	20,4	20,2	20,9	11,8	6,7	4,3	-3,1	8,2
2014	-9,5	-5,0	2,0	8,4	18,5	17,9	22,0	22,1	14,7	5,6	-1,9	-4,1	7,6
Атмосферные осадки, мм													
1929–2009	30,4	25,3	24,5	33,4	44,4	57,3	59,0	46,0	44,8	42,6	39,4	35,5	483
2010	45,7	42,7	33,6	9,5	30,2	2,5	19,8	26,1	23,6	79,5	74,0	67,7	455
2011	53,6	35,0	9,4	24,6	34,0	80,9	37,8	51,4	23,6	51,5	29,3	51,9	483
2012	44,7	36,7	31,0	47,9	39,9	38,8	80,5	62,8	29,0	65,4	26,6	43,0	546
2013	26,6	14,9	51,8	5,4	84,6	50,0	58,7	85,1	151	45	17,4	11,2	602
2014	62,1	16,1	27,5	27,8	29,1	133	4,1	49,1	6,6	16,9	6,1	62,8	441

**Результаты исследования  
и их обсуждение**

Глубина залегания грунтовых вод может быть различной, но в течение года можно выделить четыре характерных периода, которые, независимо от среднегодового положения уровня, прослеживаются по всем наблюдательным пунктам. В течение годового цикла отличаются: зимний период, или период наименьшего инфильтрационного питания; весенний, или паводковый период; летний период спада уровня грунтовых вод и осенний, межлетний период.

Характерный для зимнего периода предпаводковый подъем уровня грунтовых вод в 2010 г. отсутствовал практически на всей территории полигона. Несмотря на относительно большое количество атмосферных осадков (в 1,5 раза выше нормы) в зимние месяцы и в марте, а также наличие оттепелей, условия для инфильтрационного питания грунтовых вод были неблагоприятными в связи с большой величиной промерзания и цементацией почво-грунтов верхней части зоны аэрации. В 2011–2014 гг. предпаводковый подъем уровня грунтовых вод наблюдался практически по всем наблюдательным пунктам полигона. Особенно интенсивным он был в 2014 г. в связи с активным пополнением запасов влаги в зоне аэрации за счет атмосферных осадков осенних месяцев 2013 г. (сентябрь – 151 мм, октябрь – 45 мм) (табл. 1).

На величину весеннего подъема уровня грунтовых вод влияет большое количе-

ство разнообразных факторов: запасы влаги в снежном покрове, количество атмосферных осадков в период снеготаяния, характер снеготаяния, температура воздуха зимы и весны, степень и размеры промерзания верхней части зоны аэрации, влажность воздуха и др. [5].

Первые признаки паводкового подъема грунтовых вод отмечаются по наблюдательным пунктам, расположенным в балочных понижениях, где глубина залегания грунтовых вод менее 1,5 м. В 2014 г. начало паводкового подъема отмечено в последней декаде марта, в 2011–2013 гг. – в I–II декадах апреля, а в 2014 г. интенсивный препаводковый подъем уровня грунтовых вод очень плавно переходит в паводковый подъем в начале марта. На участках с более глубоким залеганием грунтовых вод начало паводкового подъема наступает позже на 10–15 дней, и чем больше глубина до уровня грунтовых вод, тем меньше он проявляется как по темпу подъема, так и по величине.

Пик паводкового стояния уровня грунтовых вод по большинству наблюдательных пунктов в 2010–2011 гг. и в 2013 г. приходится на конец мая, в 2012 г. – на середину мая, а в 2014 г. – на конец апреля (табл. 2). Динамика изменения уровня грунтовых вод I полугодия в 2010–2011 гг. очень близка как по темпу, так и по величине подъема, а в 2012 г. темп паводкового подъема был наиболее интенсивным за последнее пятилетие благодаря высоким запасам воды в снеге перед паводком (до 90 мм) и двойной нор-

ме атмосферных осадков в апреле (52,0 мм). Динамика паводкового подъема уровня грунтовых вод в 2013–2014 гг. характеризуется очень плавным переходом от предпаводкового зимнего подъема в паводковый.

Амплитуда паводкового подъема уровня грунтовых вод за 2010–2014 гг. колеблется от 1,0 до 2,5 м, достигая 3,2 м по скважине № 706 в 2012 г. Увеличение амплитуды наблюдается с 2010 по 2012 г. в среднем на 0,5 м в год. В 2013 г. амплитуда паводкового подъема снизилась в среднем на 1,0 м по сравнению с 2012 г. в связи с малыми запасами воды в снеге перед паводком (40 мм) и аномально малым количеством атмосферных осадков в апреле (5,4 мм). В 2014 г. амплитуда паводкового подъема была в среднем на 1,0 м выше, чем в предыдущем году, притом что запасы воды в снеге были сравнимы с 2013 г. Это объясняется тем, что запасы влаги в грунтах зоны аэрации были значительно выше за счет обильных атмосферных осадков осенних месяцев предыдущего года (август – 85,1 мм, сентябрь –

151,2 мм) и неоднократных оттепелей зимних месяцев 2014 г., что существенно повысило абсолютную величину паводкового подъема уровня грунтовых вод.

Снижение уровня грунтовых вод, начавшееся с апреля-мая, характеризуется различным темпом в зависимости от климатических особенностей летних месяцев. В 2010 г. в связи с малым количеством атмосферных осадков в летние месяцы (особенно июнь – 2,5 мм) и повышенным температурным фоном (на 2–5 °С выше нормы) темп снижения уровня грунтовых вод был очень высоким. В 2011 г., за счет относительно высокого количества атмосферных осадков в июне и августе, темп снижения уровня грунтовых вод значительно ниже по сравнению с аналогичным периодом предыдущего года. В 2012 г. длительный период отсутствия эффективных осадков, начавшийся с середины апреля и продолжавшийся почти до конца мая при повышенном температурном фоне, объяснил условия для снижения уровня грунтовых вод в повышенном темпе.

Таблица 2

Среднегодовые уровни грунтовых вод от поверхности земли 2010–2014 гг.

Год	Среднегодовой	max	Дата	min	Дата	Амплитуда
Докучаевский колодец 1 (лесной массив)						
Координаты 51°01'30.2" северной широты 40°41'51.9" восточной долготы						
2010	6,84	5,55	29,05	7,62	05,12	2,07
2011	6,78	5,71	17,06	7,53	05,01	1,82
2012	6,86	5,73	11,06	7,47	29,10	1,74
2013	7,12	6,35	17,05	7,63	11,09	1,28
2014	6,69	5,59	29,05	7,74	29,12	2,15
Скважина 40 (залежь)						
Координаты 51°02'40.7" северной широты 40°43'44.9" восточной долготы						
2010	5,40	4,17	29,04	6,07	29,12	1,90
2011	5,09	3,95	29,05	6,32	27,02	2,37
2012	4,89	3,80	29,05	5,52	05,04	1,72
2013	5,05	4,31	17,05	5,42	23,02	1,11
2014	4,20	3,08	05,05	5,02	05,01	1,94
Скважина 56 (Лесная полоса)						
Координаты 51°01'05.4" северной широты 40°43'32.0" восточной долготы						
2010	5,28	4,37	24,05	5,81	30,09	1,44
2011	4,92	4,06	30,05	5,55	06,01	1,49
2012	4,77	3,72	12,05	5,25	30,09	1,53
2013	4,96	4,43	24,05	5,44	30,08	1,01
2014	4,66	3,65	30,04	5,44	30,09	1,79
Скважина 400 (культурная поляна)						
Координаты 51°01'34.9" северной широты 40°43'15.3" восточной долготы						
2010	4,26	3,27	29,04	4,98	29,12	1,71
2011	3,98	3,33	23,06	5,16	17,02	1,83
2012	3,55	2,72	29,04	4,19	29,03	1,47
2013	3,87	3,70	05,06	4,40	27,02	0,70
2014	3,16	2,77	29,05	3,77	29,12	1,00

Высокий температурный фон летних месяцев, превышающий среднемноголетние значения на 2 °С, обеспечил высокий темп снижения УГВ, несмотря на то, что в июле и августе количество атмосферных осадков на треть превышало среднемноголетнюю норму. Ливневые дожди с суточным расходом до 30 мм не повлияли на динамику уровня грунтовых вод даже на участках с близким от поверхности их залеганием.

Динамика снижения уровня грунтовых вод в 2013–2014 гг. соответствовала 2012 г. Повышенному темпу снижения уровня грунтовых вод способствовал высокий температурный фон летних месяцев. Обильные атмосферные осадки июня 2014 г. (133 мм за месяц) обеспечили снижение темпа спада, относительную его стабилизацию и даже небольшой его подъем по отдельным наблюдательным пунктам, но начиная со II декады июля снижение активно продолжалось. В осенние месяцы в связи с окончанием вегетационного периода и уменьшением транспирации, а также с понижением температурного фона темп снижения уровня грунтовых вод значительно снижается, и обычно в октябре–ноябре уровень грунтовых вод достигает низшего стояния в течение годового цикла.

Таким образом, сезонный ход уровня грунтовых вод по полигону согласуется с климатическими особенностями и зависит как от количества атмосферных осадков, так и от внутригодового их распределения. Экстремальные значения уровней по глубоким скважинам достигают на 1,5–2,0 месяца позднее паводка и максимума влагозапасов в грунтах зоны аэрации.

### Заключение

Рассматриваемое пятилетие отличается целым рядом выраженных аномалий как по срокам наступления отдельных фаз водного режима, так и по метеорологическим и гидрологическим параметрам от среднемноголетних показателей. По температурному режиму пятилетие было самым теплым за весь период наблюдений.

Установлено, что на положение уровня грунтовых вод оказывают влияние в основном атмосферные осадки – зимние, весенние и осенние. Летние осадки практически не влияют на колебания уровня, так как они испаряются, не доходя до зеркала грунтовых вод.

Характер внутригодового распределения уровня грунтовых вод хорошо прослеживается по данным вековых наблюдений на полигоне Каменная Степь. Для годового графика характерно формирование двух экстремальных уровней – весеннего максимального и зимне-предвесеннего минимального. Сроки наступления уровня – максимальный весенний наблюдается в апреле – мае, предвесенний минимальный уровень формируется в основном в январе. Судя по внутригодовому распределению уровня грунтовых вод, их питание происходит весной и осенью. Расходование грунтовых вод, превышающее питание, наблюдается в летний и осенне-зимний сезоны года.

### Список литературы / References

1. Исаев В.А., Гребенников А.М. Современные тенденции изменения факторов почвообразования на территории Каменной степи // Почвоведение – продовольственной и экологической безопасности страны: материалы докладов 7 съезда Общества почвоведов им. В.В. Докучаева. Ч. 2. Белгород, 2016. С. 367–368.

Isaev V.A., Grebennikov A.M. Modern trends in factors of soil formation on the territory of the Kamennaya steppe // Soil science – food and environmental security of the country: materials of reports 7 Congress of the society of soil scientists named after V.V. Dokuchaev. Part 2. Belgorod, 2016. P. 367–368 (in Russian).

2. Назаренко О.В. Оценка региональных изменений метеорологических показателей и их влияния на уровень грунтовых вод (на примере г. Ростова-на-Дону) // Современные проблемы науки и образования. 2013. № 5. [Электронный ресурс]. URL: <http://science-education.ru/ru/article/view?id=10547> (дата обращения: 05.07.2020).

Nazarenko O.V. Assessment of regional changes in meteorological indicators and their impact on the ground water level (on the example of Rostov-on-Don) // Modern problems of science and education. 2013. № 5. [Electronic resource]. URL: <http://science-education.ru/ru/article/view?id=10547> (date access: 05.07.2020) (in Russian).

3. Гуревич Е.В., Марков М.Л. Маловодья на Европейской части России // Ученые записки Российского государственного гидрометеорологического университета. 2017. № 49. С. 99–107.

Gurevich E.V., Markov M.L. Shortage of Water in the European Part of Russia // Uchenyye zapiski Rossiyskogo gosudarstvennogo gidrometeorologicheskogo universiteta. 2017. № 49. P. 99–107 (in Russian).

4. Середин Е.А., Кожухарь Н.С., Крячкова М.П., Горб Е.А. Аналитический обзор состояния недр на опорном полигоне «Каменная Степь» – Воронежская область за период 2005–2009 годов. Вып. 1. Воронеж, 2010. 34 с.

Seredin E.A., Kozhukhar N.S., Kryachkova M.P., Gorb E.A. Analytical review of the state of the subsoil at the reference polygon «Kamennaya Steppe» – Voronezh region for the period 2005–2009. Issue 1. Voronezh, 2010. 34 p. (in Russian).

5. Прогноз сезонных положений уровней грунтовых вод на территории Российской Федерации на 2014 год. Вып. 123. М.: Гидроспецгеология, 2014. 14 с.

Forecast of seasonal positions of ground water levels on the territory of the Russian Federation for 2014. Issue 123. M.: hydrospegeologiya, 2014. 14 p. (in Russian).

УДК 551.435.8(479)

## НОВЫЕ СВЕДЕНИЯ О КАРСТОВОМ ПРОВАЛЕ КЕЛЬ-КЕТЧХЕН НА ЦЕНТРАЛЬНОМ КАВКАЗЕ

Хатухов А.М., Шагин С.И., Емузова Л.З., Барагунова Е.А., Татаренко Н.В.

ФГБОУ ВО «Кабардино-Балкарский государственный университет им. Х.М. Бербекова»,  
Нальчик, e-mail: bsk@kbsu.ru

В статье приведены новые сведения о грандиозном (площадь – 46000 м<sup>2</sup>, глубина – 177 м) карстовом провале Кель-Кетчхен, который входит в группу карстовых озер Центрального Кавказа под общим названием «Голубые озера». В результате впервые осуществленного с научной целью спуска в провал составлена общая картина ландшафтного покрова его днища. Даны характеристики рельефа и растительного покрова. Рельеф отличается сильной расчлененностью, так как сформирован падающим с отвесных стен провала обломочным материалом. За исключением немногих мест свежего отложения такого материала дно провала покрыто типичной растительностью, сливающейся с окружающим лесным ландшафтом. Проведено гидрологическое и гидробиологическое описание небольшого водоема на дне провала, сохранившегося как вырожденный остаток бывшего озера. Определена истинная глубина (11,8 м) и составлена схема профиля его котловины. В нем обнаружена скрытая от глаз подземная проточность, свидетельствующая о сохраняющейся гидрологической связи провала Кель-Кетчхен с единой системой карстового дренажа комплекса Голубых озер. Найденное в этом водоеме биоразнообразие характеризует его как полноценную экосистему. С учетом прямой связи происхождения провала Кель-Кетчхен и сопутствующих ему озер с лесным ландшафтом подчеркнута важность сохранения лесного покрова территории для поддержания естественного состояния этих уникальных памятников природы и объектов рекреации. Обращено внимание на присущие карстовым территориям опасности и необходимость их учета при вовлечении Кель-Кетчхен в рекреационную сферу. Актуальность исследования связана со значением Кель-Кетчхен в контексте проблем карстологии региона и перспективой его туристско-рекреационного использования.

**Ключевые слова:** Центральный Кавказ, карстовые озера, провал, днище, рельеф, растительность, остаточный водоем, экосистема

## NEW INFORMATION ON THE KEL-KETCHKHEN KARST HOLE IN THE CENTRAL CAUCASUS

Khatukhov A.M., Shagin S.I., Emuzova L.Z., Baragunova E.A., Tatarenko N.V.

Kabardino-Balkarian State University named after Kh.M. Berbekov, Nalchik, e-mail: bsk@kbsu.ru

The article provides new information about the grand (area – 46000 m<sup>2</sup>, depth – 177 m) Kel-Ketchkhen karst hole, which is part of a group of karst lakes in the Central Caucasus under the general name «Blue Lakes». As a result of the descent into the hole, which was carried out for the first time for scientific purposes, a general picture of the landscape cover of its bottom has been compiled. The characteristics of the relief and vegetation are given in the article. The relief is highly dissected, as it is formed by fragmentary material falling from the sheer walls of the hole. With the exception of a few places of fresh deposition of such material, the bottom of the hole is covered with typical vegetation, merging with the surrounding forest landscape. A hydrological and hydrobiological description of a small reservoir at the bottom of the hole, preserved as a degenerate remnant of a former lake, has been made. The true depth (11.8 m) was determined and a profile diagram of its basin was compiled. An underground water flow hidden from the eyes has been discovered in it, indicating a continuing hydrological connection between the Kel-Ketchkhen hole and the unified karst drainage system of the Blue Lakes complex. The biodiversity found in the reservoir characterizes it as a full-fledged ecosystem. Given the direct connection between the origin of the Kel-Ketchkhen hole and its accompanying lakes with a forest landscape, the importance of preserving the forest cover of the territory to maintain the natural state of these unique natural monuments and recreation objects is underlined. Attention is drawn to the need to take into account the dangers emanating from the karst landscape when they are used for recreational purposes. Attention is drawn to the dangers inherent in karst territories and the need to take them into account when Kel-Ketchkhen is involved in the recreational sphere. The relevance of the study is connected with the significance of Kel-Ketchkhen in the context of the problems of karstology in the region and the prospect of its tourist and recreational use.

**Keywords:** Central Caucasus, karst lakes, hole, bottom, relief, vegetation, residual reservoir, ecosystem

Провал Кель-Кетчхен входит в каскад из пяти карстовых озер под общим названием «Голубые озера», расположенный на северных склонах Скалистого хребта Центрального Кавказа в пределах Кабардино-Балкарской Республики (КБР). Другое название «Сухое озеро» провал получил из-за безводности, не считая небольшого водоема на его дне. К данному геоморфо-

логическому объекту применимы такие определения, как карстовая воронка, провальная, или гравитационная, воронка, а с учетом большой глубины – провальная, или гравитационная, шахта.

Голубые озера, размещенные в горно-лесном поясе в интервале высот 809–996 м, составляют одни из наиболее примечательных объектов рекреационного комплек-

са КБР. Среди них Нижнее Голубое озеро привлекает отечественных и зарубежных дайверов своей до сих пор окончательно не установленной рекордной глубиной. Провал Кель-Кетчхен, скрытый под пологом мощного букowego леса в стороне от туристических маршрутов, гораздо менее известен. На фоне генетически родственных соседних озер его практически сухая котловина со своей особой геологической историей выглядит как необычное природное явление. С другой стороны, тот факт, что в последние годы Кель-Кетчхен сделался открытием для самостоятельных джемперов, устраивающих свои прыжки в его бездну, свидетельствует о его перспективности как туристско-рекреационного объекта.

Несмотря на научную привлекательность, Кель-Кетчхен не стал объектом специального исследования: небезопасность зияющей пропасти и невозможность спуска на его дно без специальной подготовки выступают почти неодолимым препятствием. Поэтому лишь размерные параметры провала (длина – 405 м, ширина 213 м, глубина 177 м) и факт наличия на его дне небольшого водоема, обнаруженные еще 90 лет назад в работе геолога И.Г. Кузнецова [1], остаются до сих пор главной информацией о нем.

Цель работы: составить комплексную эколого-географическую характеристику днища карстового провала Кель-Кетчхен. Дополняя ранее опубликованные материалы [2], она должна дать более полное представление о данном геоморфологическом объекте.

Актуальность исследования обусловлена значением Кель-Кетчхен в контексте проблем карстования региона и перспективой его туристско-рекреационного использования как части природного комплекса карстовых Голубых озер КБР.

#### **Материалы и методы исследования**

Материалом послужили результаты натуральных съемок и наблюдений, проведенных на дне провала Кель-Кетчхен во время спуска на его дно 27 июля 2018 г. Использованы общепринятые географические, гидрологические и гидробиологические методы и оборудование [3, 4]. Промеры глубин донного водоема и взятие гидробиологических проб осуществлены с двухместной надувной лодки. Пробы зоопланктона отобраны на трех станциях (в центре и у противоположных берегов) конической планктонной сетью (газ № 64)

путем процеживания 100 л поверхностной воды. Пробы зоо- и пелагобентоса брались вручную с помощью гидробиологического сачка и драги, а также в ходе просмотра поднятого с доступной глубины обломочного материала. Соскобы грунта промывались через бентосное сито (газ № 23). Разбор проб частью осуществлен на месте. Камеральная обработка фиксированного полевого материала проведена в лабораторных условиях с использованием оптических приборов – бинокля МБС-1 и микроскопа Биомед-5. Подсчет планктонтов проведен в камере Богорова. Снимок водоема с близкого расстояния (вид сверху) сделан с вертолета. Обработка полученного снимка выполнена в графическом редакторе, профиль котловины водоема построен по компьютерной программе MS Excel. Весь материал, включая гербарий собранных растений, хранится в Музее живой природы Кабардино-Балкарского госуниверситета.

#### **Результаты исследования и их обсуждение**

*Рельеф и растительный покров днища провала.* Денудационные процессы, идущие с разной интенсивностью на разных участках отвесных стен провала, и отложение продуктов обрушения обломочного материала создали сложно пересеченный рельеф его днища. Обломки горных пород сконцентрированы в основном по периметру днища, но и по центру они образовали завалы, и выровненных участков мало. В северо-западной части имеется несоразмерный с площадью самого провала (4,6 га по верхней кромке) небольшой округлой формы водоем. Следуя направлению падения горного склона, днище понижается с севера на юг и достигает низшей точки в донном водоеме.

За исключением отдельных мест принятия падающего сверху «свежего» обломочного материала днище в целом покрыто растительностью, сливающей его с окружающим лесным ландшафтом. К буку восточному (*Fagus orientalis*) примешивается липа сердцевидная (*Tilia cordata*). В подлеске встречаются бересклет европейский (*Euonymus europaea*), бересклет бородавчатый (*Euonymus verrucosa*), бузина черная (*Sambucus nigra*). В составе травянистого покрова выявлены очиток кавказский (*Sedum caucasicum*), вербейник обыкновенный (*Lysimachia vulgaris*), волжанка обыкновенная (*Arunco vulgaris*), подмаренник душистый (*Galium*

*odoratum*), подмаренник вайантиевый (*Galium valantioides*), паслен сладко-горький (*Solanum dulcamara*), кирказон обыкновенный (*Aristolochia clematitis*), папоротники листовник сколопендровый (*Phyllitis scolopendrium*) и щитовник мужской (*Dryopteris filix-mas*). Последний вид на относительно ровном понижении восточной половины днища образует сплошные заросли в человеческий рост (рис. 1).



Рис. 1. Заросли папоротника в северо-восточной части днища Кель-Кетчхен (фото участника экспедиции М. Балагова)

Приведенный перечень видов растений показывает, что днище провала занято типичной неморальной флорой, характерной для данной местности. При этом наблюдается преобладание травянистых многолетников, что также отмечено и другими авторами [5] для карстовых форм рельефа лесного ландшафта.

**Морфометрия водоема.** Размерные параметры водоема, рассчитанные по космическому снимку [2], были следующие: периметр – 225 м, диаметр – 51 м, площадь водного зеркала – 2418 м<sup>2</sup>. Непосредственный промер диаметра по протянутому шнуру в том же направлении (юг – север) дал сходный результат – 51,4 м. Перпендику-

лярный диаметр оказался на несколько метров больше.

По центру, со стороны собственно днища, водоем имеет четкий конусовидный русловой врез с горлом в 1,5 и длиной в несколько метров. Поверхностный сток по нему с днища провала «оживляется», судя по всему, во время частых здесь летних ливневых дождей и весеннего таяния скопившегося за зиму снега. Крупнообломочный материал, выкладываемый русловой врез, свидетельствует о мощности ливневых потоков. Зыбкий грунт дна водоема в непосредственной близости от него состоит из того же обломочного материала с заилением.

Котловина водоема, очевидно, имела конусовидную форму. Сейчас она, скорее, чашевидна, с асимметричным профилем (рис. 2). От вертикальной стены провала, окаймляющей водоем полуовалом, дно круто уходит до глубины 7 м. В 12–13 м от стены нарастание глубины водоема нарушено несколько возвышающейся со дна неровностью, связанной, очевидно, с отложением скальных пород, обрушившихся с нависающей под отрицательным углом стены. Со стороны пологого берега (от руслового вреза) дно относительно плавно опускается, достигая 7-метровой глубины на удалении 8 м от берега. При этом выраженного мелководья нет. Максимальная глубина (11,8 м) зафиксирована ближе к центру водоема. Указание на глубину в 5 м некоторых источниках в сравнении с нашим результатом можно было бы трактовать как следствие периодического колебания уровня воды, если в них же не приводилась сходная с нашими расчетами площадь водоема (2500 м<sup>2</sup>).

Достаточно большая глубина обусловила температурную стратификацию водоема: 22 °С на поверхности и 19 °С на глубине 6 м при температуре воздуха 25 °С. Прозрачность воды составила 40 см.

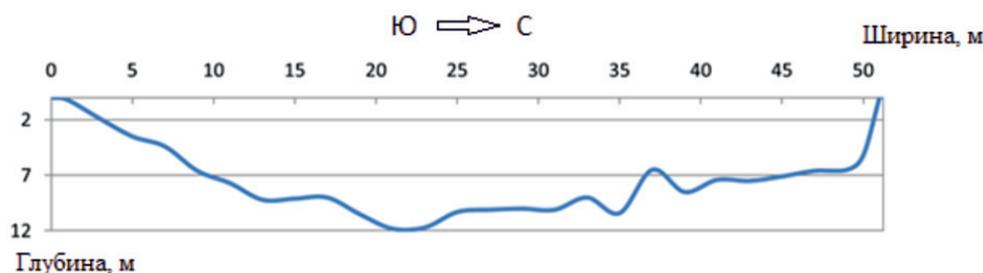


Рис. 2. Профиль котловины водоема на дне Кель-Кетчхен

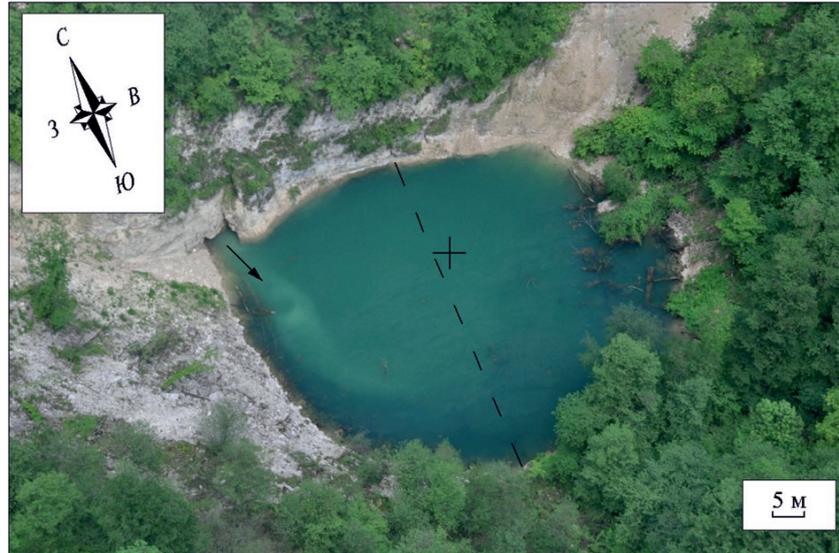


Рис. 3. Схема скрытого водообмена в остаточном водоеме на дне провала Кель-Кетчхен

→ – выход потока из подводного грота;  
 + – предполагаемое местоположение понора;  
 ---- линия профиля

О водном балансе водоема. Постоянство уровня воды, судя по сходству площади водоема в разных источниках, свидетельствует о равновесии в нем приходной и расходной частей водного баланса. Видимого притока и стока водоем не имеет. В связи с этим приходную часть можно было ограничить атмосферными осадками и инфильтрацией поглощающихся трещиноватыми породами вод небольшого родника, выбивающегося из восточной стены провала, а расходную – уравнивающим испарением. Однако признаков испарительного концентрирования воды не обнаружено. К тому же в водоеме представлена типичная и достаточно разнообразная пресноводная фауна.

Существование скрытого от глаз притока выявил снимок с вертолета, который зафиксировал водный поток из грота в северо-западном углу водоема. На фоне темной стоячей воды он просматривается как светлый шлейф вследствие различий показателей преломления световых лучей покоящейся и движущейся воды (рис. 3). Переменяющаяся смена теплой и холодной воды, которая ощущалась в ходе пересечения водоема при промере глубин, особенно ближе к центру водоема, подтверждала поступление холодного потока из грота в прогретую воду. Протянутый через водоем направляющий шнур, по которому проводился промер глубин, выгибался, указывая

на существование напора воды. Более того, чуть далее середины водоема нагруженную (два человека) резиновую лодку крутило и тянуло невидимым течением в сторону от шнура; каждый раз приходилось возвращать лодку к нему для промера глубины.

Все эти факты еще раз подтверждают проточность водоема и существование в нем скрытого притока, а равно – и понора (возможно, на месте кручения лодки), по которому вода уходит. Высказанное ранее утверждение о его разгрузке через дно [6], можно сказать, не лишено оснований. Эта вода, судя по всему, поступает из соседнего Секретного озера ( $h = 902$  м) и стекает в ниже расположенное Нижнее Голубое озеро ( $h = 809$  м), сбрасывающее ее, в свою очередь, в реку Черек.

Биота водоема. Водоем несет на себе выраженные признаки эвтрофикации, проявляющиеся в «цветении» прогретой и небольшой прозрачности воды, плавающих на поверхности нитчатых водорослей. Биота водоема включает, кроме рыб и макрофитов, практически все обычные компоненты пресноводных экосистем. В планктоне присутствовали коловратки (*Rotatoria*), веслоногие (*Copepoda*), ветвистоусые (*Cladocera*) и ракушковые (*Ostracoda*) рачки. Четвертый рачок – бокоплав (*Gammarus pulex*) отмечен среди бентонтов прибрежья. Здесь же, в донном субстрате из мелкозема с неболь-

шим заилением и разлагающейся листвой, обнаружены червь семейства трубочниковых (*Limnodrilus sp.*), малая ложноконская пиявка (*Herpobdella octoculata*), два вида моллюсков – аплекса (*Aplexa hipnorum*) и малый прудовик (*Lymnaea truncatula*), фрагменты личинок нескольких мелких насекомых, личинка стрекозы коромысло (*Aeschna cyanea*). Редкие имаго этого вида летали над водоемом. Повсеместно в поверхностной толще воды просматривался хищный водяной жук (*Hydaticus schelkoni-kovi*). Здесь же довольно часто встречался тритон Ланца (*Tritus vulgaris lantzi*).

В целом биота водоема состоит из обычных для данной местности видов со своеобразным их количественным сочетанием (возможно, в связи с отсутствием рыб). Так, необычно высокой была численность водяного жука (до 8 экз. в поле зрения), тритона (1–2 экз. в поле зрения), а также ракушкового рачка в планктоне (151,0 тыс. экз / м<sup>3</sup>). Представленность всех трофических уровней от детритофагов до хищников свидетельствует о функциональной полноценности и стабильности экосистемы водоема. Судя по обитателям, водоем характеризуется как мезосапробный.

*К генезису водоема.* О происхождении водоема на дне провала, очевидно, следует судить в контексте такового всего комплекса Голубых озер. Специфика карста данного региона, отраженная в эпитетах «кавказский» и «задернованный» и заключающаяся в скрытости подверженных карсту пород под мощным почвенным слоем, обусловила особый характер сформировавшегося здесь карстового ландшафта. Спускающаяся в долину реки Черек на протяжении всего нескольких километров цепь геоморфологических структур (Секретное озеро – Кель-Кетчхен – Нижнее Голубое озеро) – это результат подземного выщелачивания известняка и обрушения кровли над образовавшимися пустотами. Среди них современное практически безводное состояние Кель-Кетчхен можно объяснить вмешательством тектонических процессов, нарушивших нормальный ход развития гидрографии карста данной территории.

Взброс известнякового массива на месте Кель-Кетчхен (наиболее вероятная версия), сместивший его на наивысшую точку (996 м) в каскаде озер, привел к утрате им воды. Однако, судя по факту обнаружения подземной проточности водоема на дне Кель-Кетчхен, это не привело к его полному отрыву от единой системы карстового дре-

нажа озер. Отсюда можно заключить, что водоем на дне провала – это остаточное явление озерного этапа Кель-Кетчхен и поверхностное проявление, как и сопутствующие озера, единой подземной водоносной галереи.

Для развития карста в рассматриваемом районе среди сложившейся комбинации благоприятных факторов велика роль лесной растительности, способствующей переводу поверхностного стока в подземный сток, а равно пополнению подземных водоносных горизонтов. Обезлесение, как свидетельствуют исторические факты, приводит к высыханию водоносного горизонта и деградации карстового ландшафта. Поэтому в сохранении естественного облика и рекреационной привлекательности комплекса Голубых озер первостепенное значение имеет защита лесного покрова. С другой стороны, при наметившемся форсировании рекреационного использования данного комплекса необходимо учитывать риски, связанные с особенностями карстового ландшафта. Хозяйственное освоение такого ландшафта чревато образованием провалов и проседаний грунта, что порождает дополнительные технические проблемы [7]. Скрытость, внезапность, катастрофичность последствий и трудности прогнозирования обуславливают особую опасность карстовых территорий [8, 9]. При этом едва ли не самую большую опасность представляет именно «покрытый» карст [10], характерный для данного региона и проявившийся в виде грандиозного провала Кель-Кетчхен и сопутствующих озер.

### Выводы

1. Впервые проведенное эколого-географическое исследование днища карстового провала Кель-Кетчхен дало дополнительные аргументы в пользу его озерного прошлого.

2. Современный сложно пересеченный рельеф днища провала сформирован непрерывно идущими денудационными процессами и поступлением обломочного материала с его разрушающихся отвесных стен. В целом днище занято типичной неморальной растительностью, сливающейся с окружающим лесным ландшафтом.

3. Небольшой водоем на дне Кель-Кетчхен, представляющий собой полноценную экосистему, является остаточным явлением озерного этапа в его геологической истории. Обнаруженная в нем скрытая (подземная) проточность – объективное свидетельство гидрологической связи Кель-

Кетчхен с единой дренажной системой карстовых Голубых озер.

4. Провал Кель-Кетчхен и сопутствующие озера в своем генезисе непосредственно связаны с лесным ландшафтом, поэтому усилия по их сохранению как уникальных памятников природы и важных рекреационных объектов должны быть направлены, прежде всего, на охрану лесного покрова. Наметившееся вовлечение провала Кель-Кетчхен в сферу рекреационной деятельности и форсирование этой деятельности в традиционном туристическом комплексе «Голубые озера» Кабардино-Балкарии должны сопровождаться тщательным учетом уровня карстовой опасности.

Авторы выражают благодарность команде профессионалов-спасателей Эльбрусского отряда МЧС КБР, обеспечившей спуск научной группы на дно провала Кель-Кетчхен.

#### Список литературы / References

1. Кузнецов И.Г. Озеро Церик-Кель и другие формы карста в известняках Скалистого хребта на Северном Кавказе // Известия Русского географического общества. 1928. Т. 60. № 2. С. 277–288.

Kuznetsov I.G. Lake Tserik-Kel and Other Forms of Karst in the Limestone of the Rocky Range in the North Caucasus // *Izvestiya russkogo geograficheskogo obshchestva*. 1928. Vol. 60. № 2. P. 277–288 (in Russian).

2. Емузова Л.З., Хатухов А.М. Результаты комплексного исследования Кель-Кетчхен – карстового провала на Центральном Кавказе // Современные проблемы науки и образования. 2015. № 3. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=20139> (дата обращения: 18.06.2020).

Emuzova L.Z., Khatukhov A.M. Results of a Comprehensive Study of Kel-Ketchkhen, a Karst Collapse in the Central Caucasus // *Modern problems of science and education*. 2015. № 3. [Electronic resource]. URL: <http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=20139> (date of access: 18.06.2020) (in Russian).

3. Жучкова В.К., Раковская Э.М. Методы комплексных физико-географических исследований. М.: Издательский центр «Академия», 2004. 368 с.

Zhuchkova V.K., Rakovskaya E.M. *Methods of Comprehensive Physical and Geographical Research*. M.: Izdatelskiy tsentr «Akademiya», 2004. 368 p. (in Russian).

4. Методика изучения биогеоценозов внутренних водоемов / Под ред. Ф.Д. Мордухай-Болтовского. М.: Наука, 1975. 240 с.

*Methodology for Study of Biogeocenoses of Inland Waters* / Edited by F.D. Mordukhay-Boltovskiy. M.: Nauka, 1975. 240 p. (in Russian).

5. Кулешова Н.А., Митрошенкова А.Е. Эколого-биологическая характеристика флоры карстовых форм рельефа пригородных лесов города Самары // Успехи современного естествознания. 2012. № 6. С. 208–209.

Kuleshova N.A., Mitroshenkova A.Ye. Ecological and biological characteristics of karst landforms flora of the suburban forests of the city of Samara // *Advances in current natural sciences*. 2012. № 6 P. 208–209 (in Russian).

6. Максимович Н.Г., Мещерякова О.Ю., Деменив А.Д. Результаты комплексной экспедиции по исследованию Голубого озера (Церик-Кель) // Пещеры: сборник научных трудов. Пермь, 2017. Вып. 40. С. 23–36.

Maksimovich N.G., Meshcheryakova O.Yu., Demenev A.D. Results of a Comprehensive Expedition to Study the Blue Lake (Tserik-Kel) // *Peshchery: sbornik nauchnykh trudov*. Perm', 2017. Vyp. 40. P. 23–36 (in Russian).

7. Щербаков С.В. Интегральная оценка карстоопасности районов развития карбонатно-сульфатного карста на примере Среднего Предуралья: дис. ... канд. геол.-минер. наук. Екатеринбург, 2013. 272 с.

Scherbakov S.V. Integral assessment of karst hazard of carbonate-sulfate karst development areas on the example of the Middle Cis-Ural region: dis. ... kand. geol.- miner. nauk. Ekaterinburg, 2013. 272 p. (in Russian).

8. Мельник В.В. Обоснование геомеханических факторов для диагностики опасности карстопоявлений при недрапользовании: дис. ... канд. тех. наук. Екатеринбург, 2010. 189 с.

Melnik V.V. Substantiation of geomechanical factors for diagnosing the danger of karst occurrences during subsoil use: dis. ... kand. tekhn. nauk. Ekaterinburg, 2010. 189 p. (in Russian).

9. Ковалева Т.Г. Основные проблемы карстологического прогноза на урбанизированных территориях // Современные проблемы науки и образования. 2014. № 6. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=16143> (дата обращения: 06.06.2020).

Kovaleva T.G. Main problems of the karstological forecast in urban areas // *Modern problems of science and education*. 2014. № 6. [Electronic resource]. URL: <http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=16143> (date of access: 06.06.2020) (in Russian).

10. Аникеев А.В. Провалы и воронки оседания в карстовых районах: механизмы образования, прогноз и оценка риска. М.: РУДН, 2017. 328 с.

Anikeyev A.V. Holes and subsidence craters in karst areas: formation mechanisms, forecast and risk assessment. M.: RUDN, 2017. 328 p. (in Russian).

УДК 553.411(571.6)

## ПОТЕНЦИАЛЬНАЯ ПЕРСПЕКТИВНОСТЬ ОБНАРУЖЕНИЯ БЛАГОРОДНОМЕТАЛЛЬНОГО ОРУДЕНЕНИЯ КАРЛИНСКОГО ТИПА В ГОНЖИНСКОМ РАЙОНЕ ПРИАМУРЬЯ

**Хомич В.Г., Борискина Н.Г.**

*ФГБУН «Дальневосточный геологический институт» ДВО РАН, Владивосток,  
e-mail: khomich79@mail.ru*

Гонжинский район (Амурская область), благодаря открытиям Покровского, Пионерного, Боргуликанского, Буриндинского рудных месторождений и обилию россыпей золота, обладает значительными не полностью оцененными ресурсами Au. Особенности экономико-географического положения района (близость Зейской ГЭС, относительная развитость транспортной сети, обилие водоисточников, низкогорно-увалистый рельеф местности и др.) являются весьма привлекательными для крупных компаний, специализирующихся на добыче полезных ископаемых и в первую очередь благородных металлов, в том числе и нового для района типа – карлинского. Этот тип оруденения характеризуется размещенностью в терригенно-карбонатных породах повышенной углеродистости, контактирующих с позднемезозойскими интрузивными, субвулканическими телами, дайками переменного состава и вмещающих (часто среди джаспероидов) руды с мелко- и тонкодисперсным золотом. Из многих критериев перспективности района на карлинский тип оруденения авторами в первую очередь учитываются: геофизические (крупная гравиметрическая аномалия мантийного заложения, центр которой находится на пересечении глобальных Монголо-Охотской и Хингано-Охотской ступеней, а также присутствие нескольких менее масштабных градиентных зон поля силы тяжести), геохимические (спектро-золотометрические пробы Au и его значимые содержания, до 5 г/т, а также знаковые и весовые его количества в донных пробах и шлихах) и геологические (взаимодействие позднеюрско-раннемеловых интрузивов и субвулканических тел с девонскими терригенно-известковистыми толщами, характерными для многих месторождений карлинского типа). Наличие известковистых толщ и известняков – характерный признак металлогенических зон, где выявлены месторождения Au карлинского (невадийского) типа, составляющие основу современной сырьевой базы золота США. Такие месторождения весьма часто залегают на глубинах 150–200 м от современной поверхности и группируются в линейные золотоносные узлы и районы, получившие собирательное название «тренд».

**Ключевые слова:** терригенно-карбонатные углеродистые толщи, мелко- и тонкодисперсное золото, субвулканические тела

## POTENTIAL PROSPECTIVITY OF REVEALING A CARLIN-TYPE NOBLE METAL MINERALIZATION IN THE GONZHINSKY DISTRICT OF PRIAMURYE

**Khomich V.G., Boriskina N.G.**

*Far East Geological Institute FEB RAS, Vladivostok, e-mail: khomich79@mail.ru*

Because of the discovery of the Pokrovsky, Pionerny, Borgulikansky, and Burindinsky ore deposits and abundance of gold placers, the Gonzhinsky district (Amur region) possesses significant potential resources of Au. The specifics of the economical and geographical location of the district (proximity to the Zeya hydroelectric power station, relative development of the transport network, abundance of water sources, low-mountainous hilly relief of the region etc.) are highly sought-after by the large companies specializing in the extraction of mineral resources, primarily, of noble metals including the Carlin-type, which is new for the region. This type of mineralization is characterized by higher contents of carbon in terrigenous-carbonate rocks contacting with the late Mesozoic intrusive subvolcanic bodies, dikes of alternating composition and hosting (often among jasperoids) ores with fine- and finely-dispersed gold. Out of the many criteria for the region's prospectivity for the Carlin-type mineralization the authors considered first of all the following: geophysical (large gravimetric anomaly at the mantle depth, the center of which is located at the intersection of global Mongol-Okhotsk and Khingano-Okhotsk steps, as well as the presence of several smaller gradient zones of the gravity field), geochemical (spectral assay samples of Au and its significant contents, up to 5 ppm, and also small particles of gold and its weight quantity in the bottom samples and black sands), and geological (interaction of the late Jurassic-early Cretaceous intrusives and subvolcanic bodies with the Devonian terrigenous-calcareous strata, which are typical for many Carlin-type deposits). The presence of calcareous strata and limestones is a distinctive feature of metallogenic zones, where the Carlin (Nevada)-type Au deposits, which constitute the modern raw gold base of the USA, were revealed. Such deposits very often occur at depths between 150 and 200 m from the modern surface and are grouped in linear gold-bearing clusters and districts that are collectively known as «trend».

**Keywords:** terrigenous-carbonate carbon-bearing strata, fine- and finely-dispersed gold, subvolcanic bodies

Для большеобъемных месторождений мелко- и тонкодисперсного золота карлинского типа (Невада, США) характерна размещенность среди протерозой-фанерозойских терригенно-карбонатных толщ. Полувековой период изучения геолого-генетических особенностей месторождений

типа Карлин привел ученых к разной трактовке природы золотого оруденения. Одни учитывают сульфидно-карбонатный состав и повышенную углеродистость рудовмещающих пород, предопределенных, по их мнению, спецификой седиментационных бассейнов, формировавшихся в зонах глу-

бинных разломов [1, 2]. Предполагается, что последние обеспечивали питание известковистых и алевропелитовых толщ углеродом и такими компонентами флюидных фаз, как Au, Ag, Cu, Ni, Fe, As и т.п. Другие развивают представления о первичной (догипергенной) природе (порфировой, магматогенной, метаморфогенной) подобных благороднометалльных месторождений, но существенно преобразованных в зонах окисления [3–5].

Из минералогических признаков чаще других указывают на присутствие в рудах пирита (особенно мышьяковистого), марказита, арсенопирита, антимонита, киновари, дисперсного золота, реальгара, аурипигмента, самородных As и S, иногда блеклых руд, барита и флюорита. Руды обычно размещены среди джаспероидов, метасоматических ореолов окремнения, скарнирования, а также кальцитизации и аргиллизации, в пластовых, субпластовых, реже жилообразных гидротермокастообразных, штокверкоподобных телах.

Довольно часто рудоносными являются контактовые (со скарнами) участки смены известковистых алевролитов, песчано-алевритисто-карбонатных углеродистых пород доломитового состава и терригенно-кремнисто-вулканомиктовых отложений. Они характерны для карбонатно-плитного комплекса краевых и перикратонных прогибов древних платформ, подвергшихся тектоно-магматической активизации (ТМА). С процессами ТМА сопряжены разнотипные магматические комплексы. Многие из перечисленных признаков проявлены в разных частях Гонжинского рудного района, расположенного в Приамурье.

Целью настоящей публикации является изложение результатов анализа геолого-геофизических и геохимических материалов разной детальности для выделения в Гонжинском районе участков, обладающих признаками возможного присутствия благороднометалльной минерализации карлинского типа.

#### **Материалы и методы исследования**

Авторами анализировались фондовые материалы геологических съемок (1:200 000 – 1:50 000) и учитывались данные поисково-оценочных и разведочных работ на отдельных рудоносных объектах района, проводившихся при нашем участии.

Основная геологическая особенность Гонжинского района – присутствие на его площади одноименного выступа докембрия

(рис. 1). Выступ принадлежит северной окраине Буреинского массива, выделяемого тектонистами в качестве восточного фрагмента Аргунского супертеррейна или Хумахэ-Гонжинско-Мамынского мегаблока. Гонжинский выступ докембрия (ГВД) из интрузивно-метаморфических пород одноименной серии (AR<sub>2</sub>gn) сложен различными гнейсами, амфиболитами и кварцитами, а также зеленокаменными толщами нижнего протерозоя (сланцы, метадиабазы, филлиты чаловской серии), содержащими тела гипербазитов. Деформированный чехол ГВД состоит из рифейско-нижнекембрийских неравномерно метаморфизованных (до эпидот-амфиболитовой фации) песчаников, алевролитов, углисто-кремнистых, слюдяных сланцев и силур-девон-каменноугольных терригенно-карбонатных отложений преимущественно верхнеамурской (уркинской) серии (D<sub>1</sub>, D<sub>2</sub>, D<sub>3</sub>), прорванных последевонскими интрузиями урушинского и пиканского габбро-диорит-плагиогранитных комплексов.

Выступ расположен в зоне сопряжения двух глобальных гравитационных ступеней мантийного заложения: субширотной Монголо-Охотской и субмеридиональной Хингано-Охотской [1]. Последняя считается главным структурным элементом региона. Она совмещается с Большехинганским вулканоплутоническим поясом, на юго-западном продолжении которого, в провинциях так называемого «золотого треугольника» КНР, известно большое число месторождений карлинского типа, возникших под воздействием мантийного плюма Эмейшань [4].

В обрамлении ГВД и на его денудированной поверхности закартированы толщи позднемезозойских (I<sub>2</sub>–I<sub>3</sub>) терригенных отложений и эффузивно-пирокластические накопления Умлеканской вулканоплутонической зоны (рис. 1). По периферии ГВД распространены слабо литифицированные неоген-четвертичные отложения Амуро-Зейской депрессии.

#### **Результаты исследования и их обсуждение**

Основная часть известных месторождений благородных и цветных металлов размещена в интрузивно-вулканогенных образованиях и сопряжена с некками, штоками, силлами, палеоожерловинами краевых мондонитоидных частей Арбинского, Ольгинского, Сергеевского и других раннемиловых гранитоидных массивов. Для них

свойственны полифациальность и полихронность, что подтверждается существованием серии магматических комплексов: от пиканского ( $\gamma\text{-}\nu\text{P}_1\text{p}$ ) и верхнеамурского ( $\gamma\delta\text{K}_1\text{v}$ ) до буриндинского, талданского, кераского и галькинского. Если учесть, что к западу и востоку от ГВД по его обрамлению расположены крупные рудно-россыпные узлы, на площади которых, в местах сопряжения интрузивных массивов с полями эффузивно-пирокластических накоплений, экстрезивных и субвулканических тел

переменного состава выявлено несколько слабо изученных рудопоявлений Au и Ag (Ильинское, Тупарковское, Игак, Орел, Стакан и др. (рис. 1)), то очевидной становится необходимость проведения в районе дополнительных поисково-ревизионных работ для переоценки известных и поисков новых проявлений Au. Авторы полагают, учитывая забайкальский опыт [6], что более предпочтительными для постановки детальных работ являются участки Адамовский (рис. 1, 2), Игакский, Орел и Стакан.

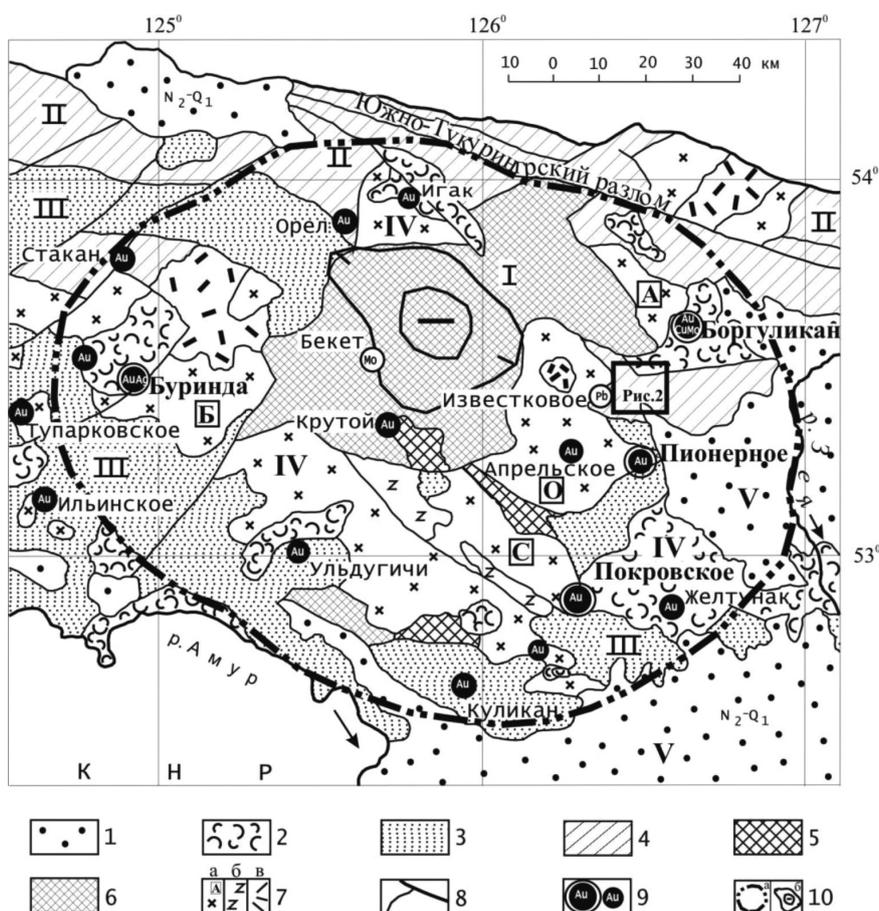


Рис. 1. Структурно-металлогенетическая схема Гонжинского рудного района. 1–7 – геологические комплексы: 1–4 – стратифицированные: 1 – неоген-четвертичный терригенный, 2 – меловой эффузивно-пирокластический, 3 – юрский терригенный; 4 – нижне-среднепалеозойский вулканогенно-осадочный метаморфизованный; 5–6 – интрузивно-метаморфические: 5 – нижнепалеозойско-верхнепротерозойский, 6 – нижнепротерозойско-среднеархейский; 7 – поздне-мезозойские интрузивные: а – монцодиоритовый, гранодиорит-гранитный ( $K_1$ ), б – граносиенит-порфировый ( $I_3-K_1$ ), в – гранит-порфировый (субвулканический,  $K_2$ ); 8 – крупные разломы; 9 – месторождения и крупные рудопоявления Au, Си, Мо, Рб; 10 – внутренняя часть ОКС (а), изоаномалы в центре отрицательных значений поля силы тяжести (б). I–V – Главные тектонические сооружения: I – Гонжинский выступ; II – Монголо-Охотская система; III – Осежинский прогиб, IV – вулкано-плутоническое обрамление (депрессии и гранитоидные массивы: А – Арбинский, Б – Буриндинский, О – Ольгинский, С – Сергеевский); V – Амуро-Зейская депрессия

На Адамовской площади, названной по ручью, расположенному между Вяземским и Известковым (рис. 2) крупными правыми притоками р. Уркан, находится контакт интрузивного массива пород верхнеамурского комплекса ( $\gamma\delta K_1 v$ ) с девонскими известковисто-терригенными отложениями большеверской ( $D_{1bn}$ ), имачинской ( $D_{1-2im}$ ), ольдойской ( $D_{2,3ol}$ ) свит и расположенных восточнее позднепалеозойских гранитоидов иканского (?) комплекса и алевропесчаников типаринской ( $C_{1tp}$ ) толщи.

Судя по морфологии контакта в правом борту р. Уркан меловых гранитоидов и палеозойских стратифицированных отложений, здесь расположен выступ интрузивного массива и позитивная структура инъеक्टивного происхождения, ось которой вытянута в широтном направлении. В ядерной части, крыльях и на восточном продолжении оси структуры закартированы крупные дайкообразные тела диоритовых порфиритов ( $\delta l, K, tl$ ), чередующиеся (в плане) с дайками гранодиорит-порфиров ( $\gamma\delta l, K, kr$ ).

Вблизи зоны экзоконтакта верхнеамурских гранитоидов с палеозойскими известковисто-терригенными отложениями (левый борт руч. Известковый) известны лито-геохимические пробы, содержащие 0,01–0,06 ‰ Au. В бортах этого ручья и ниже его устья (правый борт р. Уркан) штUFFы содержат до 0,5 ‰ Au. Более значительные его содержания (1–5 ‰) выявлены в образцах, отобранных на сопряжении левых бортов р. Уркан и руч. Попковского (среди позднепалеозойских гранитоидов), в левом борту р. Тында (среди талданских эффузивно-пирокластических накоплений).

Примечательно, что золотоносный пласт в россыпи руч. Адамовский «появляется» ниже контакта гранитоидов с терригенно-известковистыми отложениями. В россыпи распространено мелкое золото (с содержаниями до 500 мг/м<sup>3</sup>) и значительные количества киновари (со средним содержанием 120 мг/м<sup>3</sup>), что даже послужило поводом к поискам (в 1960 г.) коренного проявления ртути. К тому же в зоне контакта девонских терригенно-карбонатных отложений с меловыми гранитоидами (шириной более 1 км) осадочные породы превращены в роговики, мрамора и скарны. Зона скарнирования пород на правом берегу руч. Адамовский (скарны гранатовые, гранат-пироксеновые, реже гранат-эпидотовые) содержит шеелит, халькопирит, магнетит, золото, пирит, пирротин, а также гипергенные минералы Pb, Mo, Bi. В зонах дробления встречаются

малахит и азурит. Шеелит, золото, киноварь и висмутит выявлены в делювии у зоны контакта гранитоидов с терригенно-известковистыми породами. Золото находится в нижней части аллювиальных отложений и в верхней части разрушенных коренных пород. «Проседание» золота в плотик достигает 0,2–0,6 м. Сходная с Адамовской площадью геологическая обстановка (наличие контакта меловых гранитоидов с известково-терригенными породами) свойственна Игакскому рудно-россыпному узлу, где нашими предшественниками намечены два потенциальных поля (Игакское и Орловское), перспективных на выявление медно-молибден-порфирового, золото-кварцевого и золотого в скарнах оруденения. Для названных полей характерны крупные геохимические аномалии, включающие высококонтрастные ореолы рассеяния Au, Ag, Cu, Mo, Pb и Zn. Здесь расположены пункты золоторудной, медно-молибденовой минерализации, рудопроявления Au и россыпные месторождения золота. Источником золота Игакской россыпи (в ней мелкого золота – 87%) предположительно считается оруденение золото-кварцевой и золото-скарновой формаций. На рудопроявлении Орел, локализованном в мегаксенолите девонских терригенно-карбонатных отложений, возможно наличие линзовидных рудных тел, приуроченных к прослоям скарнированных известняков и известковистых пород ольдойской и имачинской свит. В россыпи р. Орел установлены шеелит, киноварь, галенит, пирит, пирротин, ильменит и др. минералы. Морфология золота весьма разнообразна. Встречается пластинчатое, угловатое, нитевидное, дендритовидное слабоокатанное в сростках с кварцем, полуокатанное и хорошо окатанное золото. Оно преимущественно (59,3%) мелкое. В плотике отработанной россыпи выявлены рудные тела, представленные окварцованными скарнами. В начале россыпи вскрыты рудоносные скарны с малахитом, азуритом, пиритом и видимым золотом. В единичных штUFFных и бороздовых пробах содержится до 3–5 г/т Au, до 300–500 г/т Ag, до 3–5 % Cu и до 0,3–0,5 % Bi. В верхнеамурских гранодиоритах выявлены мощные зоны окварцевания и сульфидизации, содержащие до 3–5 г/т Au, до 100 г/т Ag, до 0,5 % Cu, до 1 % As, и до 0,02 % Sb. Рудопроявление Стакан находится в нижнем течении р. Талдан севернее проявления Алунитовый также в зоне контакта верхнеамурских гранитоидов с девонскими терригенно-известковистыми отложениями.

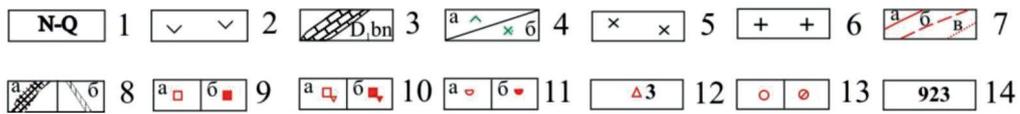
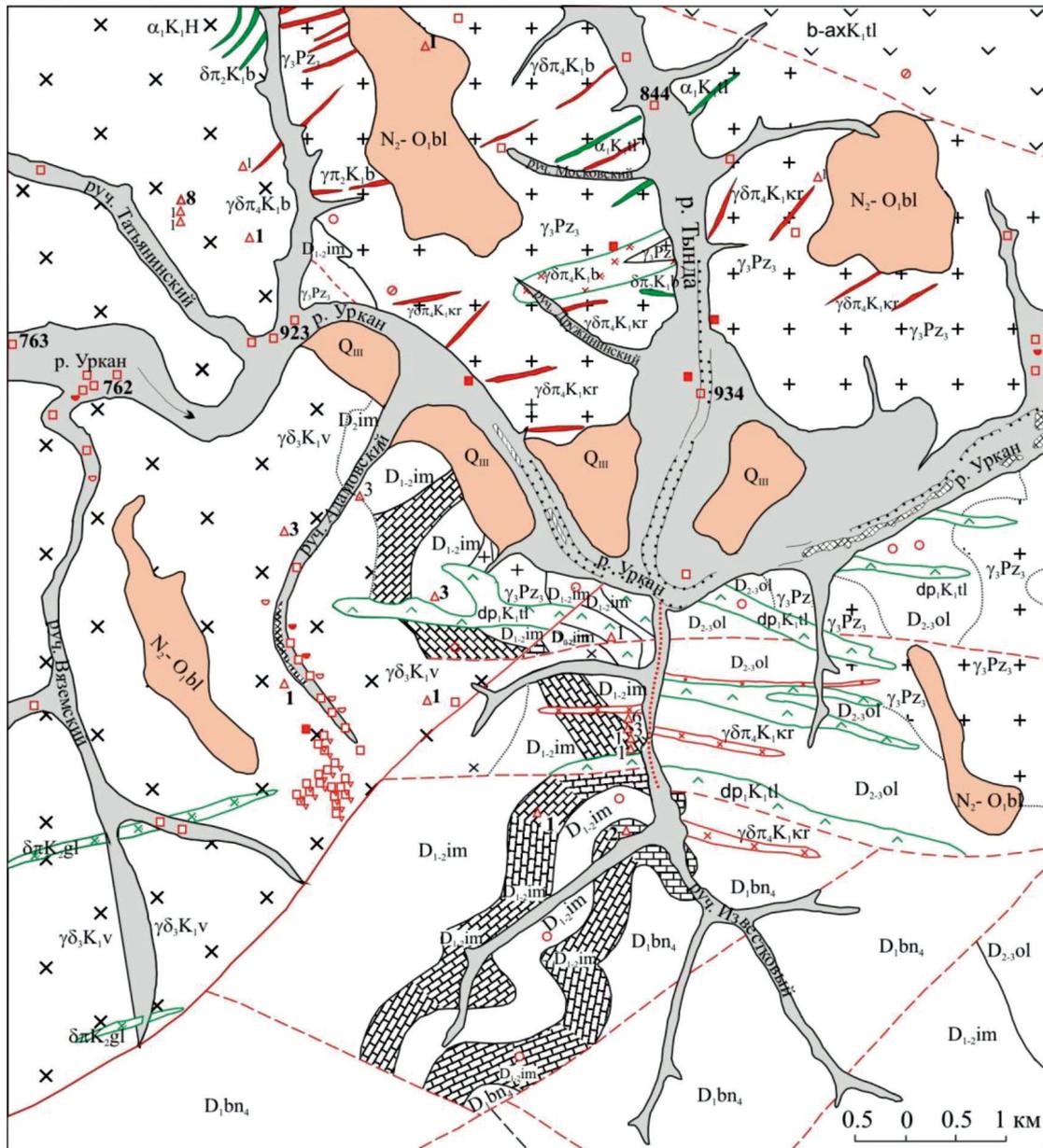


Рис. 2. Геологическая карта Адамовской площади (по материалам геологической службы ОАО «Покровский рудник»). 1 – неоген-четвертичные отложения; 2 – меловые эффузивно-пирокластические накопления талданской ( $K_{tl}$ ) свиты; 3 – девонские известковистые отложения;  $D_{1bn}$  – известняки большеверской,  $D_{1-im}$  – имачинской,  $D_{2-ol}$  – ольдойской свит; 4 – меловые субвулканические тела, дайки, силлы галькинской ( $K_{gl}$ ), керакской ( $K_{kr}$ ), талданской ( $K_{tl}$ ) серий и буриндинского ( $K_b$ ) комплекса; 5 – раннемеловые гранитоиды верхнеамурского ( $K_v$ ) комплекса; 6 – позднепалеозойские тиканские ( $P_r$ ) гранитоиды; 7 – разломы: достоярные (а), предпологаемые (б), перекрытые (в); 8 – отработанные россыпи: дражным (а) и старательским (б) способом; 9 – шихи: знаковые (а), весовые (б); 10 – шихи из делювия: знаковые (а), весовые (б); 11 – донные пробы с содержанием: знаковым (а), весовым (б); 12 – литогеохимические пробы с сотыми долями ( $g/m$ )  $Au$ ; 13 – рудопроявления и точки минерализации  $Au < 0,5$  и 1–5  $g/m$ ; 14 – пробность золота

Амурские геологи связывают основные перспективы перечисленных потенциальных рудных полей с возможностью выявления промышленного оруденения золото-кварцевого, отчасти золото-скарноидного типов. Мы же полагаем, что здесь велика вероятность обнаружения и благороднометалльного оруденения карлинского (невадидского) типа, что открывает возможности существенного увеличения масштабов этих объектов.

### Заключение

Изложенные материалы свидетельствуют о сопоставимости не только тектоно-стратиграфических факторов, повлиявших на формирование месторождений и рудопроявлений карлинского типа в Неваде (США), юго-западных провинциях Китая и Приамурье (РФ), но также и о сходстве геодинамических позиций названных провинций [1, 4, 7] вследствие их размещения у глобальных гравиметрических ступеней мантийного заложения.

### Список литературы / References

1. Бакулин Ю.И., Буряк В.А., Пересторонин А.Е. Карлинский тип золотого оруденения (закономерности размещения, генезис, геологические основы прогнозирования и оценки). Хабаровск: ДВИМС МПР РФ, 2001. 160 с.
2. Arehart G.B., Ressel M., Carne R., Muntean J. A Comparison of Carlin-type Deposits in Nevada and Yukon. Society of Economic Geologists. 2013. Special Publication. Vol. 17. Ch. 13. P. 389–401.
3. Эйриш Л.В. К перспективам выявления на Дальнем Востоке России месторождений карлинского типа // Тихоокеанская геология. 1998. № 4. С. 72–79.
4. Eirish L.V. To the prospects of identifying deposits of the Carlin type in the Russian Far East // Tikhookeanskaya geologiya. 1998. № 4. P. 72–79 (in Russian).
5. Jiang Zhu, Zhaochong Zhang, M. Santosh, Ziliang Jin. Carlin-style gold province linked to the extinct Emeishan plume. Earth and Planetary Science Letters. 2019. Vol. 530. Art. 115940. DOI: 10.1016/j.epsl.2019.115940.
6. Berger V.I., Mosier D.L., Bliss J.D., Moring B.C. Sediment-hosted gold deposits of the world. Database and grade and tonnage models (ver. 1.1, June 2014): U.S. Geological Survey Open-File Report 2014–1074, 2014. 46 p. DOI: 10.3133/ofr20141074.
7. Хомич В.Г., Борискина Н.Г. Совершенствование минерагенического районирования Восточного Забайкалья на основе геофизических исследований // Геология и геофизика. 2017. Т. 58. № 7. С. 1029–1046. DOI: 10.15372/GiG20170706.
8. Khomich, V.G., Boriskina, N.G. Advancement of mineralogical regionalization of eastern Transbaikalia based on geophysical studies. Russian Geology and Geophysics. 2017. Vol. 58. № 7. P. 822–835. DOI: 10.1016/j.rgg.2017.06.005.
9. Khomich, V.G., Boriskina, N.G., Santosh M.P. A geodynamic perspective of world-class gold deposits in East Asia. Gondwana Research. 2014. Vol. 26. Is. 3–4. P. 816–833. DOI: 10.1016/j.gr.2014.05.007.